

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## ANALÝZA ÚČINKU DUSÍTEK NA BARVU POZOUNU A TRUBKY

THE ANALYSIS OF MUTES ON TROMBONE AND TRUMPET TIMBRE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Košař

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**  
specializace Zvuková produkce a nahrávání  
Ústav telekomunikací

**Student:** Vojtěch Košar

**ID:** 203734

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### Analýza účinku dusítek na barvu pozounu a trubky

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Změřte spektrum a směrovost u reprezentativních tónů hraných v různé dynamice na pozoun a trubku. Poté změřte tytéž tóny, ale hrané s různými dusítky z různých materiálů (kovovými, z umělé hmoty, ze dřeva ad.) a různých tvarů. Proveďte analýzy, jak se netlumené tóny proti tónům s dusítky barevně změnily. Které složky ve spektru byly potlačeny a které naopak mohly přibýt. Totéž vyhodnoťte u směrovosti. Získaná akustická data dejte do souvislosti s mechanickými vlastnostmi dusítek a jejich tvary.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Geist, B.: Akustika - jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi. Praha: MUZIKUS s.r.o., 2005. ISBN 978-8086253312.
- [2] Syrový, V.: Hudební akustika. Praha: AMU, 2003. ISBN 978-80-7331-127-8.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou účinku dusítek na barvu pozounu a trubky, konkrétně jejich vlivem na frekvenční spektrum, úroveň jednotlivých harmonických složek, výskyt formantů a vyzářovací směrovost jednotlivých tónů zahranych v různých dynamikách těchto nástrojů. V práci se zaměříme také na teoretickou část o trombonu a trubce, jejich stručnou historii, řazení mezi jinými nástroji, části, ze kterých se skládají a barvu zvuku. Dále se teoretická část zabývá popisem matematických funkcí, jako je FFT nebo LPC analýza, které byly naimplementovány v prostředí MATLAB při vytváření grafických závislostí pro toto téma.

## KLÍČOVÁ SLOVA

FFT, formant, frekvence, intenzita zvuku, LPC, směrovost, spektrogram, trombon, trubka, zvukové spektrum

## ABSTRACT

This work deals with the sound mute issues, specifically how they affect the timbre of a trombone and a trumpet, their sound spectrum, levels of individual harmonic tones, the presence of formants and the directional characteristics of individual tones played in various dynamics. A part of this work is also focused on the theoretical description of a trombone and a trumpet, including their brief history, their classification, the parts they are consisting of and the timbre. The theoretical part is further dealing with the description of mathematic functions like FFT or LPC analysis, which have been implemented in the MATLAB environment when creating the graphic dependents for this theme.

## KEYWORDS

FFT, formant, frequency, sound intensity, LPC, directional characteristic, spectrogram, trombone, trumpet, sound spectrum

KOŠAŘ, Vojtěch. *Analýza účinku dusítek na barvu pozounu a trubky*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125884>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ondřej Jirásek.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení studenta:** Vojtěch Košář  
**VUT ID studenta:** 203734  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2019/20  
**Téma závěrečné práce:** Analýza účinku dusítek na barvu pozounu a trubky

*Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.*

V Brně dne:

.....

Podpis autora

# Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu MgA. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při měření a rady ke zpracování práce. Také bych rád poděkoval všem, kdo pro tuto práci zapůjčili svá dusítka a hráčům Pavlu Naušovi a Oldřichu Engelhartovi za ochotu a trpělivost při měření.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Žest'ové nástroje</b> .....	<b>10</b>
1.1 Trombon.....	10
1.1.1 Historie.....	10
1.1.2 Konstrukce.....	10
1.2 Trubka.....	11
1.2.1 Historie.....	11
1.2.2 Konstrukce.....	11
1.3 Princip vzniku tónu.....	12
<b>2 Barva zvuku</b> .....	<b>14</b>
2.1 Vyšší harmonické.....	14
2.2 Formanty.....	14
<b>3 Zvukové spektrum</b> .....	<b>15</b>
3.1 Analýza spektra.....	15
3.2 Lineární predikce.....	16
<b>4 Průběh měření</b> .....	<b>17</b>
4.1 Mikrofonní pole.....	17
4.2 Požadavky na hráče.....	18
4.3 Použitá dusítka.....	18
4.3.1 Trombonová dusítka.....	18
4.3.2 Trumpetová dusítka.....	19
<b>5 Analýza v prostředí MATLAB</b> .....	<b>24</b>
5.1 Spektrogram.....	24
5.2 Porovnání FFT.....	24
5.3 Porovnání LPC.....	24
5.4 Směrová charakteristika.....	24
<b>6 Naměřené hodnoty</b> .....	<b>25</b>
6.1 Výběr vzorků.....	25
6.2 Naměřené hodnoty trombonu.....	26

6.2.1	Bez dusítka .....	26
6.2.2	Ostré dusítko <i>Jo-Ral</i> .....	27
6.2.3	Cup dusítko <i>Humes&amp;Berg New-Stone-Lined-Cup</i> .....	31
6.2.4	Clamp dusítko <i>Humes&amp;Berg New-Stone-Lined-Velvet Tone</i> .....	34
6.2.5	Silent dusítko <i>Best Brass warm up</i> .....	38
6.2.6	Wah dusítko .....	42
6.3	Naměřené hodnoty trubky .....	49
6.3.1	Bez dusítka .....	49
6.3.2	Ostré dusítko <i>Triumf</i> .....	50
6.3.3	Ostré dusítko <i>Denis Wick adjustable cup 5531 (bez cup)</i> .....	54
6.3.4	Cup dusítko <i>Denis Wick adjustable cup 5531 (s cup)</i> .....	57
6.3.5	Cup dusítko <i>Humes&amp;Berg New-Stone-Lined-Cup</i> .....	61
6.3.6	Clamp dusítko <i>Humes&amp;Berg New-Stone-Lined-Velvet</i> .....	64
6.3.7	Cvičné dusítko <i>Yamaha PM-7X</i> .....	68
6.3.8	Wah dusítko <i>Humes&amp;Berg New-Stone-Lined-Wah</i> .....	71
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>79</b>
	Použitá literatura .....	80
	Seznam zkratk, použitých veličin a symbolů.....	81
	Seznam příloh .....	82
A	Obsah příloženého CD.....	82



# Úvod

Tato práce se zabývá analýzou vlivu dusítek na barvu zvuku trombonu a trubky. Na základě teoretických poznatků z oblasti hudební akustiky těchto nástrojů se pokusí srovnat frekvenční spektrum tónů zahraných bez dusítka a s dusítkem, dále vyšší harmonické složky a formantové oblasti tónů a na závěr i jejich směrovou vyzařovací charakteristiku.

V první kapitole bude pojednáno o žesťových nástrojích obecně, jejich principu vyvážení tónu a historii a konstrukci námi měřených nástrojů. V dalších kapitolách bude práce pojednávat o barvě zvuku jako takové, stručně objasní problematiku zvukového spektra a popíše postup měření a program pro analýzu změřených dat.

V kapitole 6 se práce věnuje samotnému hodnocení naměřených vzorků a bude vybrané tóny v různých dynamikách porovnávat se stejnými tóny zahranými s jednotlivými dusítky, především v grafické a tabulkové podobě.

Na závěr každého hodnocení jednotlivých dusítek bude sepsáno stručné shrnutí vystihující zásadní vlivy daného dusítka na barvu zvuku nástroje. Získané informace zde budou popsány také v souvislosti s tvarem dusítka.

# 1 Žest'ové nástroje

Žest'ové nástroje jsou dechové hudební nástroje, vyráběné z mosazného, pakfongového nebo i stříbrného, tence válcovaného plechu, na nichž se vyluzují tóny použitím takzvaného nátrubku. Jmenovaných kovů se k výrobě žest'ových nástrojů užívá hlavně proto, že jejich pružnost i utěsnění nejlépe vyhovují nárokům kladeným na zvučnost a barvu jejich tónů. Slovo „žest'ové“ pochází z ruského slova žest' – plech. Tvar těchto nástrojů je v podstatě u všech druhů stejný. Je to delší nebo kratší kuželovitě se rozšiřující trubice, která byla původně přímá, později jednoduše nebo dvojnásobně stočena ve tvar buď oválně podlouhlý (trubka), elipsovité (tubový roh), nebo kruhový (lesní roh).

Tón vzniká náraznými hráčovými výdechy, jejichž tlakem se uvede vnitřní vzduchový sloupec v periodicky stejnoměrný rozchvěv. Dech je tedy hlavní zvukotvornou silou. Vzduch je rozkmitán pevně staženými rty, na jejichž pružnosti, tvaru a tloušťce závisí jakost vylouděného tónu. Jejich funkce se podobá funkci hlasivek při zpěvu. Rovněž pomáhá i náraz jazyka.

Nátrubek usnadňuje tvorbu zvukových impulzů, může být podle potřeby hlubší nebo mělký, který má tvar buď kotlíkovitý, nebo nálevkový. Velikost nátrubku je v souladu s velikostí nástroje. Malý nátrubek ohraničuje pouze malou část rtů a umožňuje tedy rozchvěv jen jejich malé plochy, postačující pro znění vysokých tónů. Naopak, velký nátrubek dovoluje vibrovat širší retné ploše a umožňuje tóny hluboké. [1]

## 1.1 Trombon

### 1.1.1 Historie

Trombon, jinak také pozoun, vznikl již v 15. století zvětšením tvaru trubky jako výsledek snahy o rozvětvení trubkových nástrojů a o rozšíření jejich tónového rozsahu do hloubky. Svým zvukem se velmi podobal zvuku mužského sboru, doplněného alty hochů. V 16. – 17. století byl sbor trombonů oblíbeným souborem chrámové hudby, užívaným na kůrech i chrámových věžích. Starší typ trombonu je tzv. snížcový, čili tahový, po vynalezení ventilů známe také trombon ventilový. [1]

### 1.1.2 Konstrukce

Snižcový trombon má v podstatě tvar úzkého písmene S. Skládá se ze tří dílů, a to z dílu hlavního čili středního, dále z dílu zvaného *snižec* (táhlo), jenž má podobu protáhlého písmene U, a z horního dílu, rozšiřujícího se kuželovitě v široký kalich. Do snížce jsou vsunuty obě trubice středního dílu. Při hře hráč snížcem pohybuje blíže či dále od vrchního konce hlavního dílu, a tak prodlužuje či zkracuje délku nástroje. Tím získává 7 různých poloh, jejichž

jednotlivé vzdálenosti odpovídají intervalu jednoho půltónu, takže je možno každý tón, vyjma nejhlubšího, šestkrát snížit, celkem tedy o zmenšenou kvintu. Na tomto principu funguje veškerá technika tohoto nástroje. Od základního tónu vzhůru chybí v rozsahu trombonu pět půltónů, zato základním tónem je možno dosáhnout ještě několika tónů tzv. pedálových, které jsou základními harmonickými tóny ostatních řad.

Na spodu snižce je *vodní klapka* nebo též „sifon“ k vypouštění vody, která se během hraní nahromadí v důsledku srážení par výdechového proudu. Na trombon, stejně jako na všechny žesťové nástroje, se hraje pomocí nátrubku (viz kapitola 1.3).

Rozsah tenorového trombonu v B ladění je od E/B po  $es^2$ , navíc pedálové B<sup>1</sup>. Celková délka takového trombonu je 2 m 69 cm, basového v F ladění asi 3 m 68 cm. T[1]

## 1.2 Trubka

### 1.2.1 Historie

Trubka je nástroj, který se ve svém původním primitivním tvaru vyskytoval již ve starověku. O tom svědčí časté zmínky ve Starém zákoně, podle nichž bylo trub používáno při náboženských obřadech, ve vojenství a jinde. Podobné druhy primitivních trubek, které byly tvarem i zvukem odlišné, používali již Egypťané, Řekové, Římané. Hráči trub, na rozdíl od jiných hudebníků starých dob, měli zvláštní výsady a vyšší postavení.

Od 17. století má trubka své místo i v orchestru a je jí i dále hojně používáno. Nejlépe a nejvýznamněji je uplatněna v mistrných dílech J. S. Bacha a G. F. Händela. Důležitost a obliba v používání trubky nastala v 19. století, kdy byly vynalezeny ventily (strojivo), a od té doby zastává trubka velmi důležité místo v moderním orchestru.

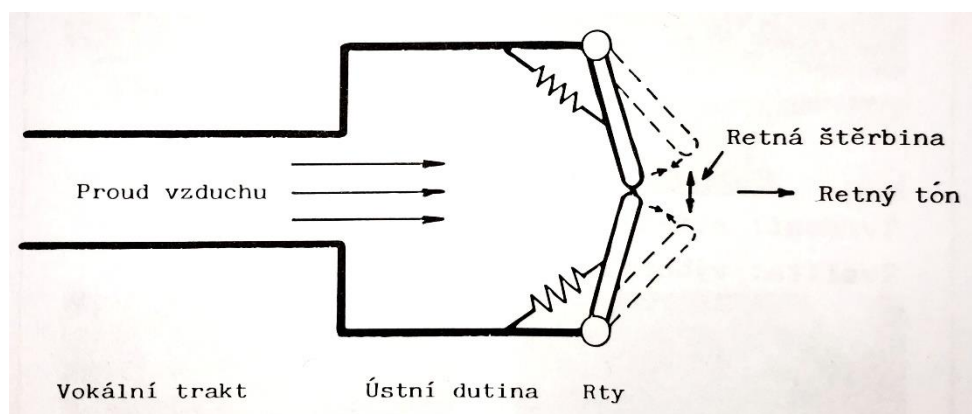
Původním tvarem trubky byla rovná trubice, na jednom konci kuželovitě rozšířena. Tento přirozený tvar poskytovaly ve starých dobách duté zvířecí kosti, volské rohy apod. Když pak byla trubka vyráběna z mědi, stříbra, nebo též dřeva, dosahovala často délky i několika metrů. Rovná trubice, jejíž přílišná délka byla nepohodlná, se časem ohýbáním zkrátila, a tak vznikla její dnešní podoba. [1]

### 1.2.2 Konstrukce

Dnešní podoba trubky v B ladění má 1 m 30 cm dlouhou trubici bez přípojek, jednoduše vinutou a je opatřena třemi ventily. Jazzová trubka bývá o 2 cm delší. Nátrubek je zde o něco menší, než je nátrubek trombonu. Jasný a zvukově vydatný tón trubky ve spojení s ostatními žesťovými nástroji zná slavnostně a leskuplně. Rozsah trubky v ladění B je od fis po  $c^3$ . [1]

## 1.3 Princip vzniku tónu

Základním kmitajícím elementem - *oscilátorem* u žesťových nástrojů je dvojitý membranózní jazýček, který tvoří rty hráče rozrážené proudem vzduchu obdobně jako hlasivky zpěváka. Proud vzduchu je v tomto případě *excitátorem*. Rty schematicky zobrazené na obrázku 1.1 vydávají retný tón, jehož frekvence je přímo úměrná napětí rtů a tlaku vzduchu v ústní dutině a nepřímo úměrná délce rtů vymezené velikostí a typem nátrubku.



Obr. 1.1: Funkční princip dvojitého membranózního jazýčku [2]

Při hře na nátrubek se tlakem v ústní dutině otevře mezera mezi rty a trubicí se šíří přetlak, který se vrací jako podtlak a musí synchronně zavřít mezeru. Na synchronizaci otvírání či uzavírání mezery má velký vliv tlak vzduchu resp. rychlost proudění vzduchu a tlumení jednoduchého či dvojitého jazýčku.

*Rezonátor* tvoří korpus nástroje, vzdušná dutina a vzduchový sloupec vymezený trubicí – zvukovodem, který by měl mít co nejvýraznější rezonanční vlastnosti podmíněné existencí stojatého vlnění vzdušného sloupce.

Trombon nebo trubka jsou vlastně polouzavřené trubice. Při hře proudí nástrojem proud vzduchu a tedy i tlaková vlna, která se šíří k otevřenému konci trubice, kde je ovšem v důsledku náhlé změny akustické impedance prostředí odražena zpět do nástroje. Tímto způsobem vzniká v trubicí stojaté vlnění, jehož vznik je také podmíněn *okrajovými podmínkami* – na otevřeném konci nabývá akustická rychlost resp. výchylka maximálních hodnot, akustický tlak zde naopak vykazuje minimum. Uzavřený konec zamezuje pohybu částic vzduchu, akustická rychlost resp. výchylka je zde nulová nebo minimální, kdežto akustický tlak nabývá maximálních hodnot. U válcové trubice na jednom konci uzavřené splňují tyto okrajové podmínky pouze stojaté vlny o frekvenci dané vztahem:

$$f_n = (2n - 1) \frac{c}{4l}, \quad (1.1)$$

kde  $c$  je rychlost zvuku,  $l$  je délka trubice.

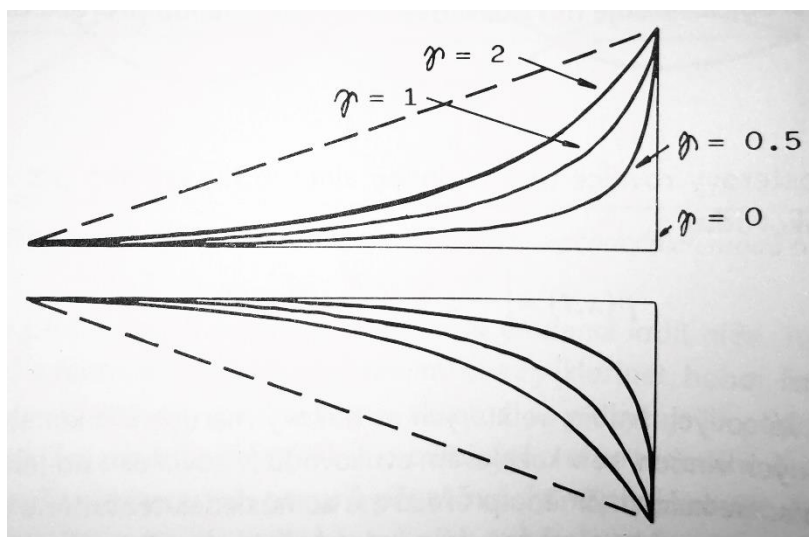
Zvukovod žesťových nástrojů je ve většině případů zakončen rozšiřujícím se ústím – *ozvučnicí*. Jeden důvod tohoto použití je potřeba dostatečného vyzářeného akustického

výkonu. V další řadě má ozvučník vliv také na ladění přirozených tónů nástroje. Tvar ozvučníku se s žádnou exaktně zadanou křivkou neztotožňuje, je označován za kónický. Jeho nejbližší aproximaci představují tzv. *Besselovy zvukovody* (obrázek 1.2), u kterých se průřez  $S$  resp. poloměr vrtání  $r$  mění podle vztahů:

$$S = \frac{B}{(x+x_0)^{2\gamma}} \qquad r = \frac{b}{(x+x_0)^\gamma} \qquad (1.2)$$

kde  $B$ ,  $b$  jsou konstanty zohledňující počáteční a konečný průměr zvukovodu,  $x_0$  je počáteční délková souřadnice (vrchol zvukovodu),  $x$  je proměnná délková souřadnice a  $\gamma$  je poměr rozšiřování zvukovodu dle obrázku 1.2.

Při  $\gamma = 0$  je tvar zvukovodu válcový, při  $\gamma = -1$  je tvar kuželový. Pro trubku a trombon je  $\gamma = 0,5$  až  $0,65$ , dále  $r \approx 0,5$  cm,  $x_0 \approx 10$  cm. [2]



Obr. 1.2: Besselovy zvukovody [2]

V této práci budou použita dusítka s kuželovým nebo kónickým. Kuželový se vyznačuje tvorbou více formantových oblastí, kdežto kónický tvar podporou širšího výseku spektra. Co se týče velikosti těchto roztrubů – platí, že čím širší roztrub je, tím hlubší frekvence dokáže reprodukovat. Naopak, úzký roztrub nízké frekvence nepropustí. [3]

## 2 Barva zvuku

### 2.1 Vyšší harmonické

Barva, nebo také timbre, patří mezi charakteristické znaky a kvality tónů. Souvisí bezprostředně se strukturou kmitočtu zvuku vytvářeného příslušným předmětem (nástrojem). Těleso nekmitá jen jako celek, ale také ve svých částech. Kmitání vzduchu ve trubici nástroje probíhá také v polovině, třetině, čtvrtině, pětině atd., přičemž vznikají tzv. harmonické tóny. Pro trombon a trubku, kdy je trubice za jedné strany uzavřená platí, že převládá tvorba lichých harmonických. Výsledkem jsou pak složené kmity, v nichž jsou „zastoupeny“ vedle základní frekvence – fundamentu i další vyšší harmonické. [4]

Tyto vyšší harmonické do 64. řadíme do pásem. Prvních osm harmonických má každá svou důležitou funkci: 1. nosnost, 2. mohutnost, 3. dutost, 4. jasnost, 5. nazálnost, 6. jasnost, 7. brysknost, 8. jasnost. [2]

Dalších osm (9. – 16.) řadíme mezi harmonické shluky. 17. – 32. vnímáme jako spojitá spektra a 33. – 64. vnímáme již neharmonicky jako šum.

V obecné rovině lze říci, že sudé vyšší harmonické barvu zvuku ztemňují, změkčují a způsobují, že tóny jsou barevně zastřenější, kdežto liché harmonické barvu zosťrují, zjasňují a dodávají jí lesku. Tyto liché harmonické jsou typické právě pro žesťové nástroje, sudé zase pro dřevěné. Tyto definice je potřeba brát jen do značné míry, neboť se jedná o subjektivní vnímání zvuku, tedy o fenomén psychický, nikoli fyzikální. [4]

### 2.2 Formanty

Formanty jsou oblasti, ve kterých má například daný nástroj zdůrazněné určité frekvence, a to nezávisle na tónu, jenž nástroj vyluzuje. Formantovými oblastmi se zabýval Hermann von Helmholtz, který zjistil, že tvar spektra hudebního nástroje se při hraní jakýkoliv tónů nemění. Helmholtz pro tyto frekvenčně dominantní oblasti – formanty sepsal svoje *zákony barvy zvuku*:

1. Zákon formantových oblastí:

*Barva zvuku hudebního nástroje je dána, nezávisle na výšce základní harmonické, pevnou (frekvenční) polohou formantových oblastí, které se vyznačují silnějšími vyššími harmonickými tóny.*

2. Zákon formantových intervalů:

*Pro barvu tónu hudebního nástroje je vedle frekvenční polohy formantových oblastí rozhodující též interval mezi těmito oblastmi, resp. mezi nejsilnějšími harmonickými tóny těchto oblastí. Velikost tohoto intervalu je charakteristická pro různé hudební nástroje.*

3. Zákon akustického posuvu:

Při stoupající dynamice tónu se přesouvá intenzitní maximum v dané formantové oblasti na harmonické složky vyšších pořadových čísel. Složky v horní části oblasti jsou obecně silnější než složky ve spodní části.

#### 4. Zákon akustického skoku:

U tónu se dvěma formantovými oblastmi přeskakuje při velkém zesílení tónu intenzitní maximum nalézající se při slabé dynamice v nižší formantové oblasti na harmonický tón nalézající se ve vyšší oblasti. [2]

## 3 Zvukové spektrum

### 3.1 Analýza spektra

Zvuková spektra v dnešní době představují nejrozšířenější popis frekvenční struktury analyzovaného tónu. [2]

Zvukové spektrum znamená spojitě pásmo harmonických signálů, přičemž každý tento signál má svůj kmitočet. Analýze spektra říkáme *harmonická analýza*. To je operace, při níž je periodický signál rozkládán na své dílčí harmonické složky, jejichž kmitočet je dán celistvým násobkem základního kmitočtu  $f_1$  signálu. To znamená, že kmitočet základní a vyšších harmonických složek je  $1 f_1, 2 f_1, 3 f_1, 4 f_1, \dots$  [5]

Pro účely zvukové analýzy a syntézy lze považovat tyto signály za periodické a je možno je rozvinout pomocí *Fourierových řad* do tvaru:

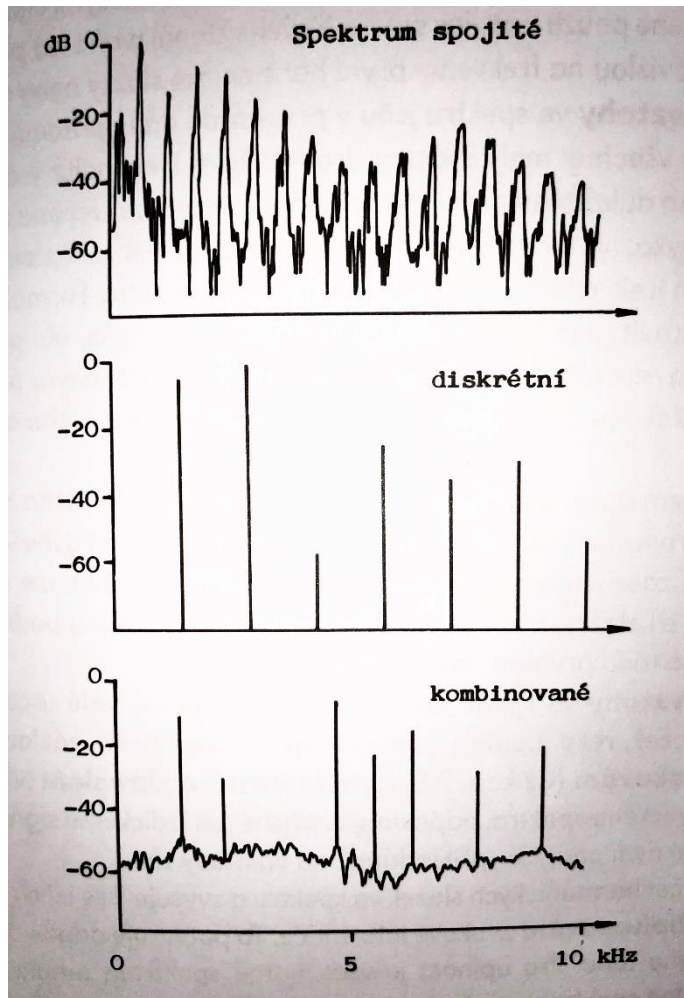
$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t] \quad (3.1)$$

pro  $k = 1, 2, 3 \dots$  (pořadové číslo harmonické složky o frekvenci  $k\omega$ ),  $a_0$  je počáteční člen,  $a_k$  a  $b_k$  jsou reálná čísla,

$$\text{kdy } a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt. \quad [2] \quad (3.2)$$

Analýzou zvuku můžeme získat několik druhů spekter:

- Čarové* (diskrétní), které obsahuje pouze jednotlivé, oddělené složky frekvence zobrazené úsečkami vyjadřujícími rozsah intenzity.
- Spojité*, které má podobu křivky spojující maxima rozkmitů. Toto spektrum je charakteristické pro šумы, hluky apod.
- Smíšené*, jež je spojením obou předcházejících a z něhož „vyčnívá“ záznam intenzit příslušných frekvencí [4]



Obr. 3.1: Základní typy zvukových spekter [2]

## 3.2 Lineární predikce

Lineární predikce, zkráceně LPC (linear predictive coding), v oblasti zpracování signálů, především v oblasti zpracování řeči, slouží k odhadnutí vzorku signálů z předchozích  $p$  vzorků. Matematicky ji můžeme vystihnout rovnicí:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p \alpha_k s(n-k) \quad (3.3)$$

Kde  $s(n)$  je odhad  $n$ -tého členu, který je nalezen jako lineární kombinace  $p$  předchozích členů neboli řád prediktoru a  $\alpha_k$  jsou predikční koeficienty. Pomocí nich lze určit charakteristiky periodického signálu. [6]



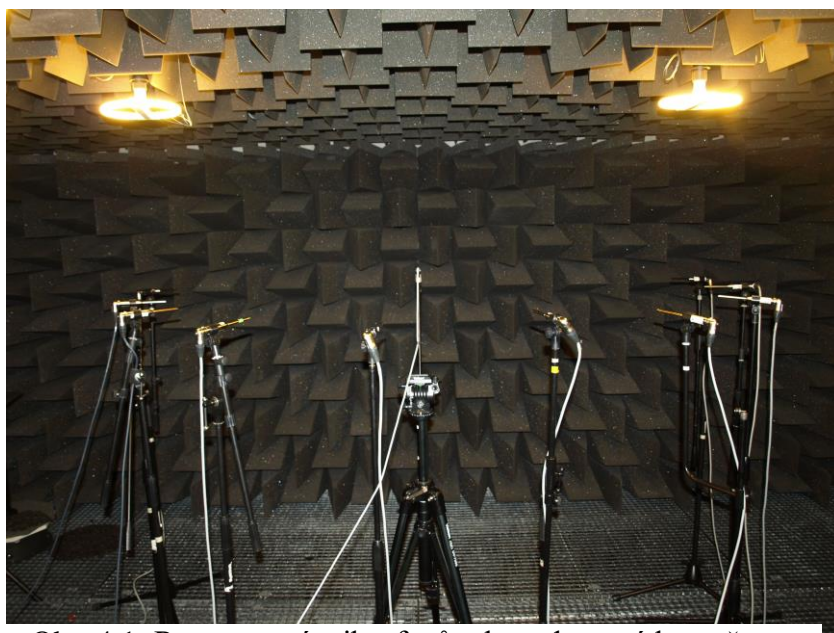
## 4 Průběh měření

### 4.1 Mikrofonní pole

Měření proběhlo v bezodrazové komoře na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně z důvodu odstranění zvukových odrazů a vnějších ruchů, které by mohly měření zneprávnit.

Jako referenční mikrofon pro měření spektra byl použit mikrofon Brüel&Kjaer 4189 umístěný ve směru vyzařování nástrojů. Pro měření směrových charakteristik bylo použito 10 všesměrových mikrofonů Audix TM1 rozestavených do půlkruhu (viz Obr. 4.1). Úhel mezi jednotlivými mikrofony činil 20 stupňů a všechny mikrofony byly vzdáleny od hráče resp. nástroje 1 metr a ve výšce 140 cm. Všechny tyto mikrofony byly navedeny do A/D převodníků, z nichž byl signál poslán digitálním výstupem pomocí optického kabelu ADAT do PCI rozhraní DSP Hammerfall počítače v režijní místnosti. Měření probíhalo při nastavené vzorkovací frekvenci 48000 Hz a bitové hloubce 24 bitů.

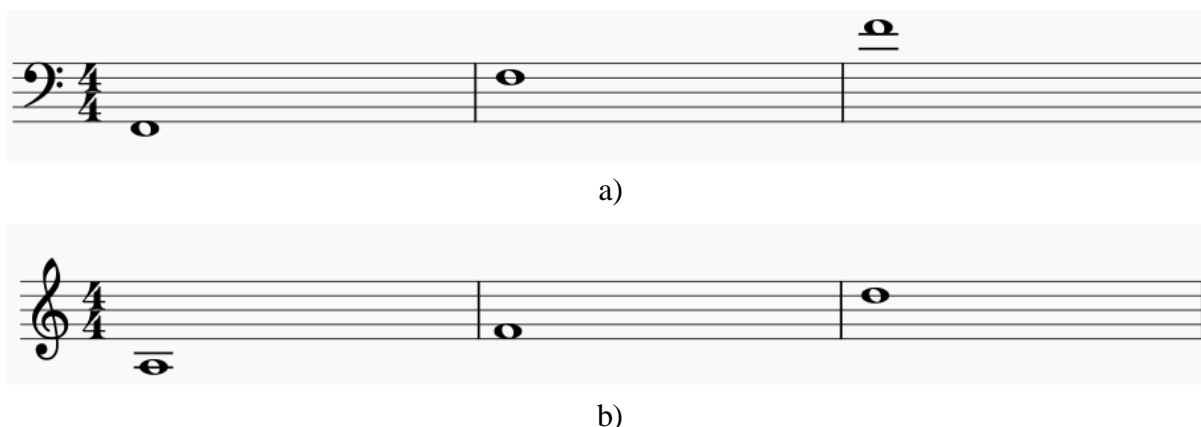
Před začátkem měření byla nutná kalibrace mikrofonů pro měření směrové charakteristiky. Mikrofony jsou sice všechny stejné, ovšem citlivost každého z nich se velmi mírně liší a ručním nastavením vstupního zesílení na převodnících nikdy stejnou hodnotu nenastavíme – proto je nutné provést kalibraci. Na každý mikrofon byl tedy postupně nasazen kalibrátor, který vydával sinusový signál o frekvenci 1000 Hz za konstantního tlaku ve své komoře. Pro každý z mikrofonů byl nahrán tento kalibrační signál, pomocí něhož jsme schopni spočítat kalibrační konstantu pro pozdější analýzu. Celé měření probíhalo v nahrávacím softwaru *Cubase*. Výsledné vzorky byly vyexportovány opět při vzorkovací frekvenci 48000 Hz a bitové hloubce 24 bitů ve formátu *.wav*.



Obr. 4.1: Rozestavení mikrofonů v bezodrazové komoře

## 4.2 Požadavky na hráče

S oběma hráči – trombonistou Pavlem Naušem a trumpetistou Oldřichem Engelhartem bylo dohodnuto naměření tří tónů pro každé dusítko a každý tón byl nahrán ve třech dynamických rovinách – *piano*, *mezzoforte* a *forte*. Pro trombon byly vybrány tóny  $F$ ,  $f$  a  $f^1$ , pro trubku  $a$ ,  $f^1$  a  $d^2$ . Měřené znějící tóny umístěné v notové oslově lze vidět na obrázku 4.2.



Obr. 4.2: Zahrané tóny (znějící) – a) Trombonu, b) Trubky

Oba hráči měli za úkol udržovat roztrub nástroje ve středu kruhu resp. půlkruhu, ideálně stále namířené ve střední ose toho půlkruhu. Všechny vzorky byly zahrány po dobu několika vteřin. Byl kladen důraz na dodržení stejných rozdílů hlasitosti při změně jednotlivých dynamik tónů. Měření probíhalo klidně a hladce, nejdříve byly nahrány vzorky samotných nástrojů bez dusítka, od spodních tónů ve všech dynamikách po horní tóny. Poté se postup vždy opakoval pro každé dusítko.

## 4.3 Použitá dusítka

### 4.3.1 Trombonová dusítka

- **Ostré Jo-Ral**
  - materiál: hliník
  - váha: 182 g
  - délka: 25,5 cm
  - šířka: 13,8 cm
  - tvar: kónický
- **Cup Humes&Berg New-Stone-Lined-Cup, Vintage model**
  - materiál: plast (*vulkanizované vlákno*)
  - váha: 229 g
  - délka: 30,5 cm
  - šířka: 22,9 cm
  - tvar: kuželový
- **Clamp Humes&Berg New-Stone-Lined-Velvet Tone**

- materiál: výplň z vaty, konstrukce ze dřeva
- váha: 189 g
- délka: 11,5 cm
- šířka: 15,5 cm
- **Silent** *Best Brass warm up*
  - materiál: hliník
  - váha: 51 g
  - délka: 12 cm
  - šířka: 6,8 cm
  - tvar: kónický
- **Wah** dusítko (značka nedohledána)
  - materiál: hliník
  - váha: 205 g
  - délka: 19 cm
  - šířka: 15 cm
  - tvar: kónický

### 4.3.2 Trumpetová dusítka

- **Ostré** *Triumpf*
  - materiál: dřevo
  - váha: 53 g
  - délka: 18 cm
  - šířka: 5,5 cm
  - tvar: kuželový
- **Denis Wick bez Cup / s Cup** *Denis Wick adjustable cup 5531*
  - možnost odjímat cup – bez cup se jedná o ostré dusítko
  - materiál: hliník
  - váha: 132 g (s cup), 73 g (bez cup)
  - délka: 19 cm
  - šířka: 11,4 cm
  - tvar: kónický
- **Cup** *Humes&Berg New-Stone-Lined-Cup*
  - materiál: hliník
  - váha: 96 g
  - délka: 16,8 cm
  - šířka: 10,5 cm
  - tvar: kuželový
- **Velvet** *Humes&Berg New-Stone-Lined-Velvet Clamp*
  - materiál: výplň z vaty, konstrukce z plastu (*vulkanizované vlákno*)
  - váha: 126 g

- délka: 10,2 cm
- šířka: 10 cm
- **Cvičné Yamaha PM-7X**
  - materiál: plast
  - váha: 71 g
  - délka: 13,9 cm
  - šířka: 8,2 cm
  - tvar: kónický
- **Wah Humes&Berg New-Stone-Lined-Wah**
  - materiál: hliník
  - váha: 103 g
  - délka: 14,5 cm
  - šířka: 9,5 cm
  - tvar: kónický



Obr. 4.3: Ostré trombonové  
dusítko  
*Jo-Ral*



Obr. 4.4: Trombonové  
dusítko typu Cup,  
*Humes&Berg*  
*New-Stone-Lined-Cup,*  
*Vintage model*



Obr. 4.5: Trombonové dusítko  
Clamp *Humes&Berg*  
*New-Stone-Lined-Velvet Tone*



Obr. 4.6: Trombonové dusítko  
Silent *Best Brass warm up*



Obr. 4.7: Trombonové dusítko  
typu Wah



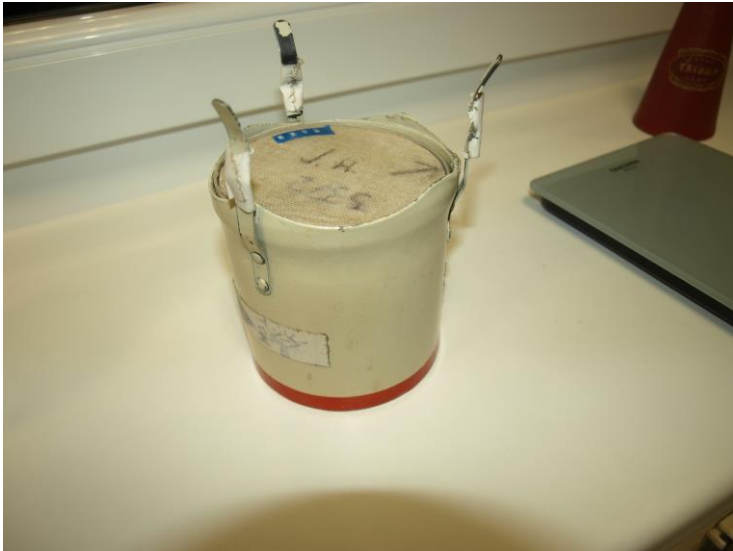
Obr. 4.8: Ostré / rovné trumpetové  
dusítko *Triumf*



Obr. 4.9: Trumpetové dusítko  
*Denis Wick adjustable cup 5531*



Obr. 4.10: Trumpetové dusítko  
typu Cup, *Humes&Berg New-  
Stone-Lined-Cup*



Obr. 4.11: Trumpetové dusítko Velvet *Humes&Berg New-Stone-Lined-Velvet Clamp*



Obr. 4.12: Cvičné trumpetové dusítko *Yamaha PM-7X*



Obr. 4.13: Trumpetové dusítko typu Wah, *Humes&Berg New-Stone-Lined-Wah*

## 5 Analýza v prostředí MATLAB

Aby bylo možné porovnat naměřené vzorky, bylo nutné získat z nich data v grafické a tabulkové podobě. K tomu byl využit program MATLAB, který je schopen pro zvukové vzorky použít všechny potřebné funkce a vytvořit grafické závislosti, z nichž se dají data exportovat do souboru Microsoft Excel. V programu MATLAB bylo vytvořeno několik funkcí pro naše konkrétní potřeby, při jejichž tvorbě bylo čerpáno z literatury [7].

### 5.1 Spektrogram

Z naměřených vzorků bylo nutné získat nejdříve jejich zvukové spektrum, ideálně zobrazené v časovém průběhu. K tomu slouží funkce *spektrogram*, jenž využívá krátkou Fourierovu transformaci STFT a je již v programu MATLAB zaimplementována. Byla získána grafická závislost frekvence na spektrální hustotě výkonu zvukového vzorku v časovém průběhu.

### 5.2 Porovnání FFT

Dalším důležitým bodem bylo získat srovnání vyšších harmonických resp. jejich frekvencí a především intenzit mezi vzorky nahranými bez dusítka a s dusítkem, nebo mezi samostatnými tóny. K tomu slouží rychlá Fourierova transformace, která funkce *fft* která je opět v programu zabudována. Program vždy načte dva vzorky, které po výpočtu FFT zobrazil společně v grafu. Jednotlivé vzorky jsou od sebe odděleny barevně. Získané frekvence a intenzity vyšších harmonických složek byly vždy vyexportovány do tabulky.

### 5.3 Porovnání LPC

Pomocí lineární predikce jsme schopni určit vlastnosti a počet formantových oblastí nástroje. V programu MATLAB je k tomu zaimplementovaná funkce *lpc*. Následně je nutné najít maxima pomocí funkce *findpeaks*, poté je možné sestavit graf. Program opět načte a zobrazí vždy dva vzorky barevně oddělené. Následně získané vlastnosti formantových oblastí, tedy centrum, intenzitu a šířku, opět vyexportuje do tabulek.

### 5.4 Směrová charakteristika

Poslední důležitá informace, kterou musíme ze vzorků získat, je směrová vyzařovací charakteristika nástrojů. K tomu slouží nahrané vzorky ze všesměrových mikrofonů Audix rozmístěných v půlkruhu. Do vytvořeného programu je nutné nejdříve načíst kalibrační soubory nahrané kalibrátorem, pomocí nichž program spočítá efektivní hodnotu každého z nich, vypočte převrácenou hodnotu a tím získá koeficient potřebný k normalizaci vzorků z hlediska citlivosti. Následně program načte nahrané směrové vzorky pro zobrazení směrové vyzařovací charakteristiky v polárním grafu. Vytvořený program je schopen porovnat dvě takovéto charakteristiky v jednom grafu najednou.



## 6 Naměřené hodnoty

V této kapitole bude pojednáno o nahraných vzorcích trombonu a trubky a proběhne jednotlivé porovnání tónů zahraniých bez dusítka s dusítkem a jejich zhodnocení. Dále zde budou zobrazeny získané spektrogramy, porovnání FFT, porovnání LPC a porovnání směrových vyzářovacích charakteristik.

### 6.1 Výběr vzorků

Jak již bylo řečeno, pro každé dusítko byly nahrány 3 tóny a každý tón ve 3 dynamikách, přičemž každý tento tón v každé dynamice byl analyzován programem MATLAB. Dusítka typu wah navíc budou hodnoceny zvlášť se zasunutým středem a bez středu. Dohromady se tedy jedná o zhruba 150 vzorků, a pokud bychom byli precizní, každý tón by měl své hodnocení a zobrazení spektrogramu, FFT, LPC s tabulkami a grafem směrovosti. Tedy pro efektivní rozsah a přehlednost této práce byla provedena selekce analyzovaných vzorků a od každého dusítka bylo pro jednotlivé oblasti zvoleno několik ukázek, které vhodně zastupují charakteristiku daného dusítka v dané oblasti, a to následujícím způsobem, shodným pro všechna dusítka. Na závěr analýzy každého dusítka bude shrnuto, jak dané dusítko celkově ovlivňuje barvu zvuku v souvislosti také s tvarem dusítka.

#### - Spektrální analýza

- ukázka spektrogramu vybraného tónu a dynamice, subjektivní popis barvy zvuku daného dusítka

#### - FFT analýza

- tabulkové srovnání vyšších harmonických jednoho tónu zahraniého bez dusítka a s dusítkem ve všech třech dynamikách
- pro ukázkou grafu srovnání FFT bude vybrána jedna dynamika daného tónu

#### - LPC analýza

- tabulkové srovnání jednoho tónu zahraniého bez dusítka a s dusítkem v jedné dynamice, doprovázeného také grafickou ukázkou srovnání LPC

#### - Směrová charakteristika

- ukázka a srovnání směrové charakteristiky nástroje bez dusítka a s dusítkem na tónu f v dynamice *mezzoforte*

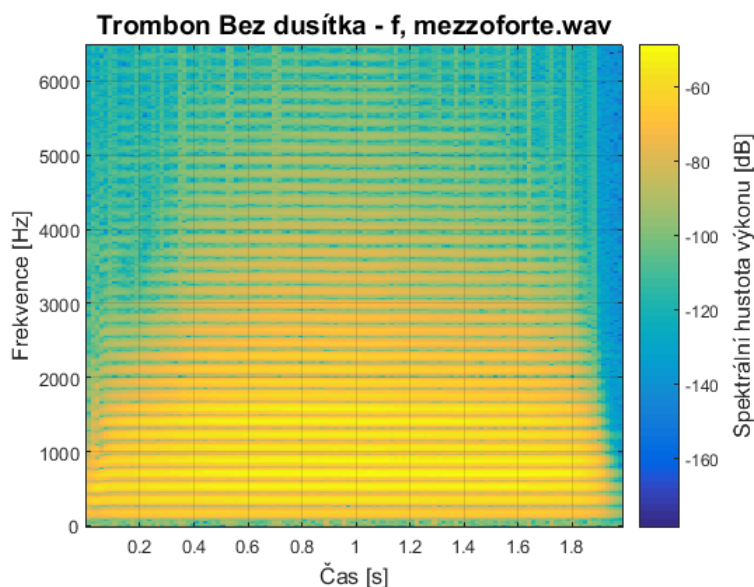
## 6.2 Naměřené hodnoty trombonu

### 6.2.1 Bez dusítka

#### Spektrální analýza

Trombon hraný bez dusítka tak, jak ho známe, má na poslech poměrně plný tón, kulatý a velmi teplý. Při zvyšující se dynamice máme možnost slyšet trombon v jeho třaskavé podobě, kdy tlak vzduchu rozkmitá celý nástroj, který razantně pokryje celé frekvenční spektrum. Jinak má trombon plné spektrum v pásmu do 2 kHz, s vyššími kmitočty spektrum slábne.

Jak bylo zmíněno v kapitole 1, trombon je vyrobený z kovu, převážně z mosazi, kdy rozkmitaný kov podporuje kmitočty po celém spektru. Proto zní žesťové nástroje obecně tolik teple a plně. Dále má trombon poměrně široký roztrub. Pro ten platí zjednodušeně čím širší, tím hlubší. Nejen, že díky tomu trombon dosáhne na velmi hluboké tóny, ale současně pokrývá své spektrum i na nízkých kmitočtech.



Graf 6.1: Spektrogram trombonu bez dusítka

#### FFT analýza

V Tab. 6.1 lze vidět přehled prvních deseti harmonických složek všech zahráných tónů ve všech dynamikách. Při hodnocení jednotlivých dusítek budou získané hodnoty zastoupených tónů a dynamik srovnávány s těmito hodnotami, a to tabulkově i graficky.

Trombon bez dusítka									
Harmonická	Intenzita tónu F [dB]			Intenzita tónu f [dB]			Intenzita tónu f <sup>1</sup> [dB]		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1	25,77	31,49	35,56	42,77	45,82	48,23	52,56	60,65	62,90
2	29,54	39,06	40,99	47,83	50,35	54,26	53,42	65,93	68,62
3	32,82	43,11	43,83	50,05	52,86	56,54	42,79	62,37	65,53
4	33,21	44,15	45,69	50,48	54,54	59,14	34,54	60,17	64,44
5	37,72	49,68	52,05	46,11	52,52	58,45	23,52	55,38	60,99
6	31,76	44,97	47,60	40,96	49,14	54,91	15,91	52,10	59,45
7	29,01	43,49	43,12	40,29	48,18	54,86	8,42	47,18	56,13
8	29,91	46,16	49,19	35,91	50,05	53,27	-	43,15	53,04
9	27,67	48,30	50,47	28,40	49,54	56,23	-	36,52	47,73
10	24,91	46,75	51,05	23,68	42,73	54,74	-	33,84	46,36

Tab. 6.1: FFT trombonu bez dusítka

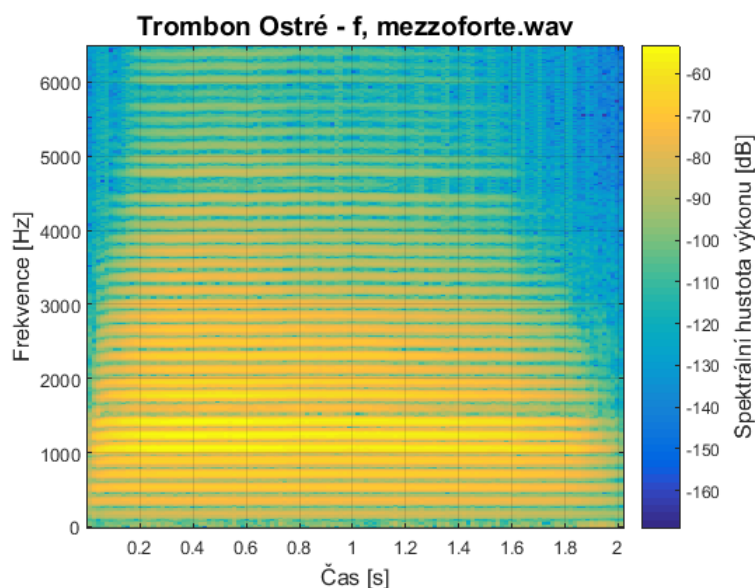
## LPC analýza a směrová vyzařovací charakteristika

Při hodnocení jednotlivých dusítek budou srovnány formantové oblasti vybraných tónů hraných bez dusítka s tóny hranými s dusítkem, tabulkově i graficky, srovnání směrovosti bude demonstrováno podobným způsobem graficky.

### 6.2.2 Ostré dusítko *Jo-Ral*

#### Spektrální analýza

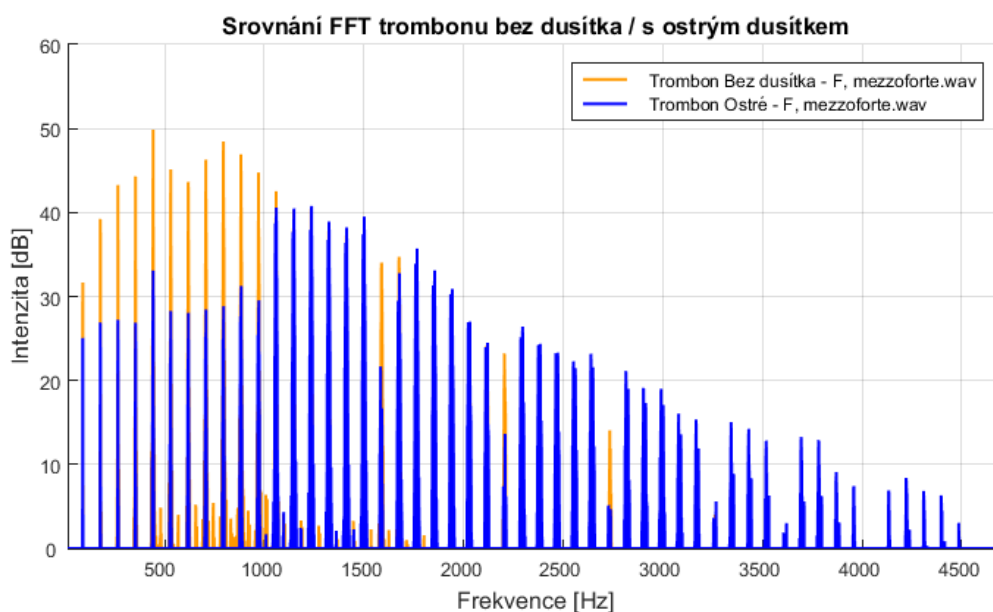
Tóny hrané s tímto dusítkem jsou na poslech více středové, tupé, méně kulaté. Zásadním rozdílem je potlačení pásma do 1 kHz, naopak pásmo 1000 – 1500 Hz zůstává velmi výrazné. Vysoké kmitočty podobně silné jako u tónů bez dusítka, v těchto oblastech není velké potlačení či podpoření.



Graf 6.2: Spektrogram trombonu s ostrým dusítkem

## FFT analýza

Při analýze harmonických složek bylo zjištěno, že dusítko výrazně potlačuje prvních 11 harmonických, (viz Graf 6.3) a to přibližně o 16 dB (viz Tab. 6.2). Jedná se o potlačení frekvenčního pásma přibližně do 1000 Hz, o kterém bylo pojednáno již při spektrální analýze. Fundament, který v tónu podporuje nosnost, je potlačen méně (6 – 8 dB) a 9. harmonická u dynamiky *mezzoforte* je naopak potlačena více (21,62 dB). Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulce 6.2.



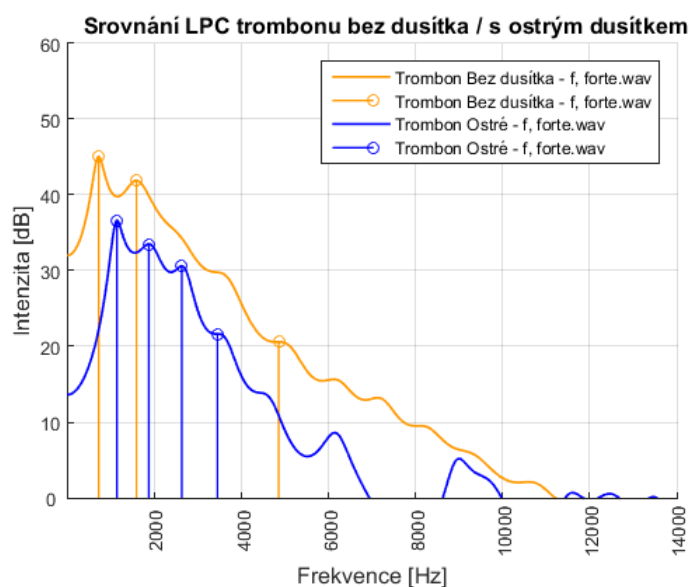
Graf 6.3: FFT trombonu s ostrým dusítkem

Trombon s ostrým dusítkem - tón F						
Harmonická	Intenzita tónu F [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón F bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	19,62	24,90	27,95	6,15	6,59	7,61
2.	17,40	26,74	30,72	12,14	12,32	10,27
3.	16,96	27,07	32,03	15,86	16,04	11,80
4.	17,40	26,72	33,01	15,81	17,43	12,68
5.	22,46	32,92	39,53	15,26	16,76	12,52
6.	17,62	28,12	35,15	14,14	16,85	12,45
7.	15,43	27,89	34,36	13,58	15,60	8,76
8.	14,89	28,28	37,17	15,02	17,88	12,02
9.	12,29	26,68	37,77	15,38	21,62	12,70
10.	12,73	30,33	40,01	12,18	16,42	11,04

Tab. 6.2: FFT trombonu s ostrým dusítkem

## LPC analýza

V grafu 6.4 lze vidět, že trombon bez dusítka má 3 formantové oblasti, z toho dva silnější v pásmu do 2000 Hz. Při použití ostrého dusítka formanty přibývají – byly změřeny 4 formanty, a to rovnoměrně od sebe, vždy po 700 – 800 Hz. Tabulka 6.3 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



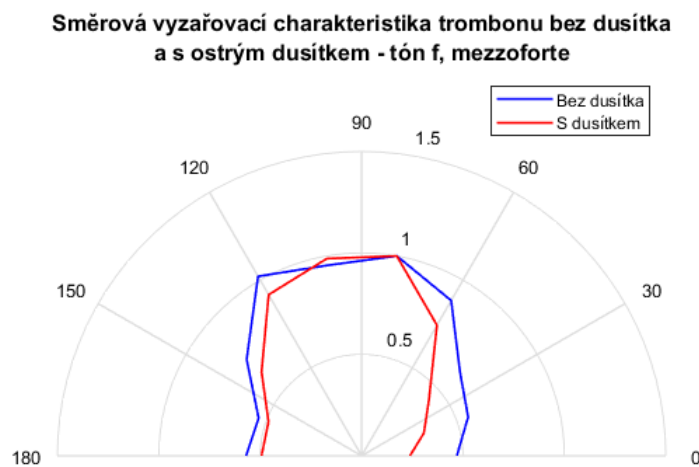
Graf 6.4: LPC trombonu s ostrým dusítkem

Trombon s ostrým dusítkem - tón f, forte			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	716	45,06	584 - 894
2.	1584	41,91	1136 - 1952
3.	4852	20,59	4798 - 5364
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1136	36,64	1020 - 1342
2.	1868	33,51	1540 - 2212
3.	2624	30,62	2376 - 2848
4.	3444	21,65	3376 - 3820

Tab. 6.3: LPC trombonu s ostrým dusítkem

## Směrová vyzářovací charakteristika

V následujícím grafu 6.5 vidíme, že ostré dusítko nijak výrazně nemění směr vyzářování trombonu, pouze tento směr lehce zužuje. Větší zúžení směru nastává po krajně pravé straně.



Graf 6.5: Směrová vyzářovací charakteristika trombonu s ostrým dusítkem

## Shrnutí

Analýza zjistila, že dusítko způsobuje především útlum v pásmu do 1 kHz. To může způsobit tvar dusítka – je poměrně úzké, tedy výrazně zužuje roztrub nástroje. Tím potlačuje spodní frekvence a propouští vyšší. Toto dusítko je tvaru kónického – ačkoli jen mírně, přesto lze

v grafu 6.4 vidět rezonanci ve výseku 1000 – 3500 Hz. Pokud bychom chtěli mít pomocí podobného dusítka ostřejší zvuk, musel by být tvar kuželovitý.

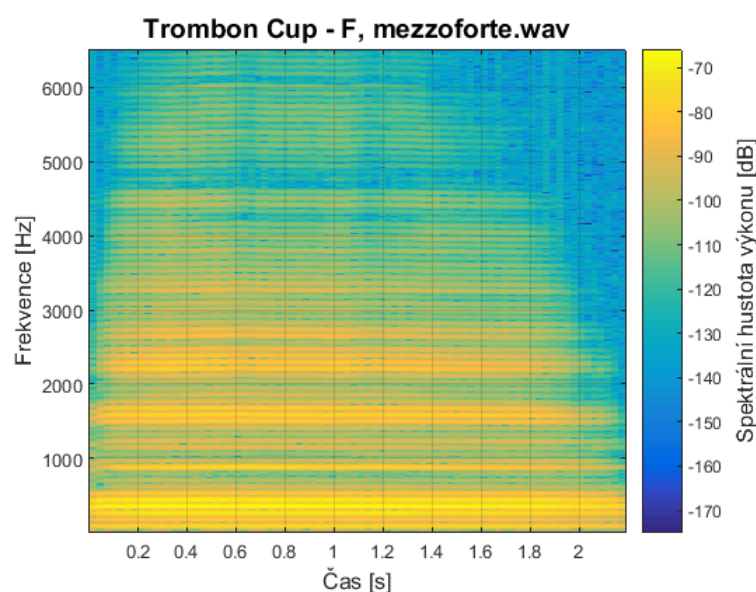
Dusítko je z hliníku, tedy stále zachovává podobnou podporu spektra, jako samotný nástroj, díky čemuž se tóny nijak výrazněji neliší od tónů hraných bez dusítka. Ovšem hliník šíří zvuk zhruba o polovinu rychleji než mosaz. Tento fakt spolu se zúžením roztrubu posouvá dva hlavní formanty nástroje zhruba o 300 Hz výš, jak lze vidět na LPC analýze.

Co se týče směrovosti, dusítko nijak zásadně neovlivňuje směr vyzařování nástroje.

## 6.2.3 Cup dusítko Humes&Berg New-Stone-Lined-Cup

### Spektrální analýza

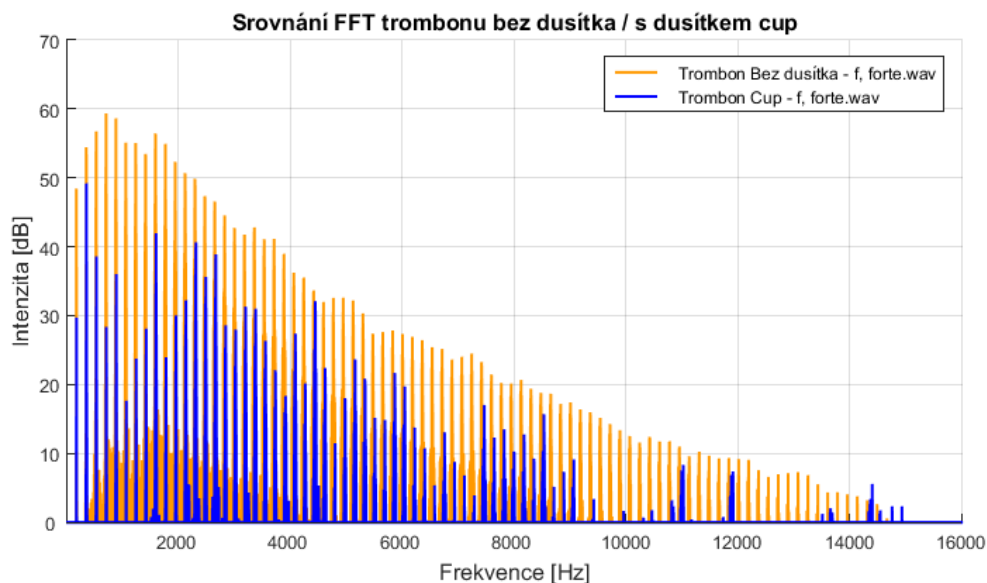
Při použití tohoto dusítka ztrácí tóny svou plnost a kulatost. Zvuk je více dutý a ostřejší, především u tónů  $f$  a  $f^1$ . Frekvenční spektra tónů jsou sice podobně široká jako u tónů hraných bez dusítka, ale přibývají kmitočty na vyšších frekvencích v oblasti 4000 – 6000 Hz a ubývají naopak v pásmu do 3000 Hz.



Graf 6.6: Spektrogram trombonu s dusítkem cup

### FFT analýza

Dusítko typu cup výrazně potlačuje 4. a 6. vyšší harmonickou. Jedná se o složky, které by do tónu měly přinášet jasnost. Naopak méně potlačená je 2. harmonická, ta plní funkci mohutnosti. Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulce 6.4.



Graf 6.7: FFT trombonu s dusítkem cup

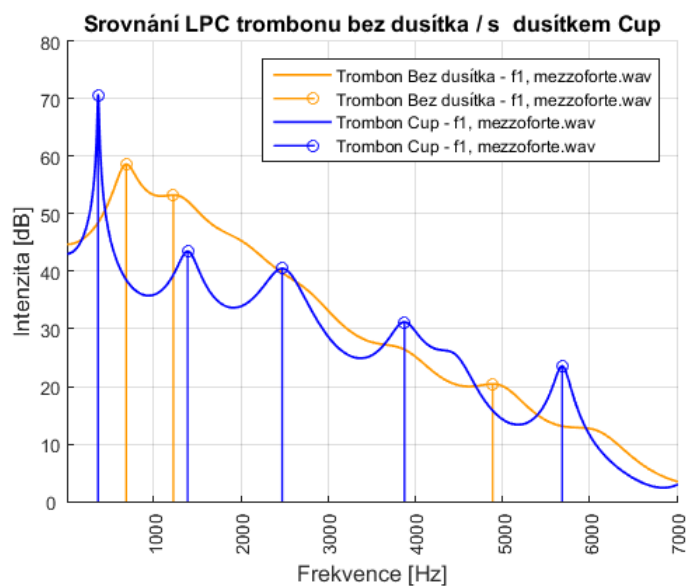
Trombon s dusítkem cup - tón f						
Harmonická	Intenzita tónu f [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón f bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	15,57	23,20	29,53	27,20	22,62	18,70
2.	41,14	46,44	49,00	6,69	3,91	5,26
3.	28,51	36,08	38,38	21,54	16,78	18,16
4.	14,87	24,27	28,17	35,61	30,27	30,97
5.	27,13	35,69	35,85	18,98	16,83	22,60
6.	2,02	10,98	17,45	38,94	38,16	37,46
7.	12,82	22,13	23,54	27,47	26,05	31,32
8.	11,59	23,16	27,90	24,32	26,89	25,37
9.	18,18	39,88	41,75	10,22	9,66	14,48
10.	-	19,80	23,77	23,68	22,93	30,97

Tab. 6.4: FFT trombonu s dusítkem cup

## LPC analýza

Analýza tónu hraného bez dusítka objevila opět dva silné formanty okolo kmitočtu 1000 Hz a jeden slabý blízko 5000 Hz. Použití dusítka cup zvýšilo tento počet na 5 formantů, z toho první je velmi silný a široký pouze 10 Hz na frekvenci 360, dva podobně silné v pásmu 1000 – 3000 Hz a další dva slabší na vyšších kmitočtech, necelých 4000 Hz a 6000 Hz. Tabulka 6.5 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.





Graf 6.8: LPC trombonu s dusítkem cup

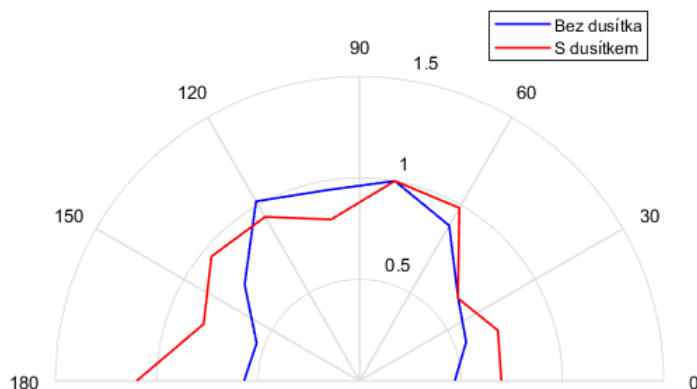
Trombon s dusítkem cup - tón $f^1$ , mezzoforte			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	684	58,65	572 - 832
2.	1224	53,30	1088 - 1516
3.	4888	20,44	4624 - 5220
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	360	70,71	355 - 364
2.	1388	43,50	1261 - 1508
3.	2472	40,52	2263 - 2656
4.	3876	31,21	3692 - 4081
5.	5684	23,55	5589 - 5769

Tab. 6.5: LPC trombonu s dusítkem cup

## Směrová vyzařovací charakteristika

V polárním grafu 6.9 můžeme pozorovat, že dusítko cup potlačuje přímý směr vyzařování a naopak posiluje vyzařování nástroje do stran. Těmto směrům přibližně odpovídá tvar typu tohoto dusítka.

Směrová vyzářovací charakteristika trombonu bez dusítka  
a s dusítkem cup - tón f, mezzoforte



Graf 6.9: Směrová vyzářovací charakteristika trombonu s dusítkem cup

## Shrnutí

Dusítko typu cup je unikátní především v jeho tvaru – jedná se o princip, kdy dusítko téměř přikryje roztrub nástroje. To způsobí také rezonanci na nižších kmitočtech a změnu formantů – v grafu 6.8 lze vidět původní první formant frekvenčně snížený a zúžený, druhý formant zase posunutý frekvenčně výš. Tyto nové formanty vznikly kvůli novému tvaru prostoru, které dusítko tvoří, tj. kuželový tvar. Další výsadou dusítka je posílení vyšších frekvencí v oblasti 4 – 6 kHz a potlačení 4. a 6. harmonické složky, tedy výrazně ubírá jasnost tónu.

Pokud bychom chtěli tón změkčit, museli bychom před cup přidat alespoň mírné rozšíření trupu dusítka do kónického tvaru.

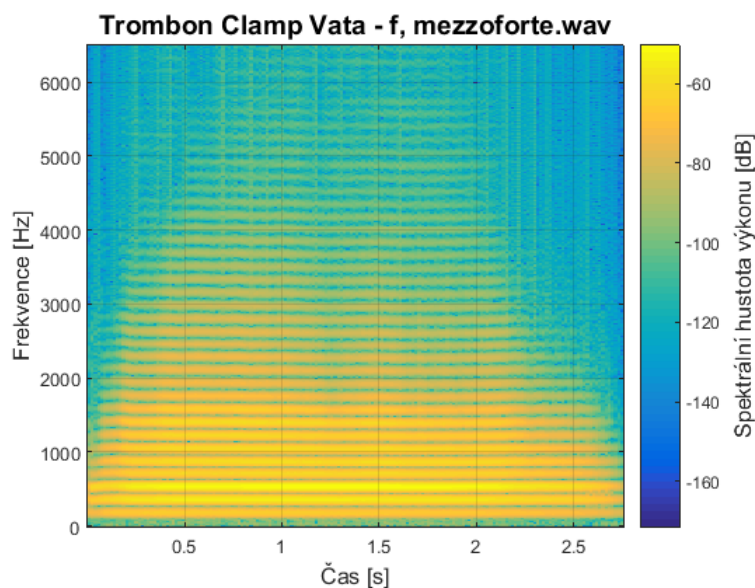
### 6.2.4 Clamp dusítko *Humes&Berg New-Stone-Lined-Velvet Tone*

Tento typ dusítka je výjimečný svým použitím – nezandává se dovnitř korpusu jako ostatní dusítka, ale pouze se nasadí na roztrub pomocí nožiček. Dusítko se tedy nachází před nástrojem, ne v nástroji.

## Spektrální analýza

Tóny hrané s tímto vatovým dusítkem působí velmi jemně, dokonce i v silných dynamikách. Nejedná se o tišší tóny, hlasitostně jsou podobné tónům hraným bez dusítka. Jedná se i o podobně barevný zvuk, ovšem ne tolik ostrý – je kulatější, tupější.

Ve spektrogramu můžeme vidět, že spektrum je při použití dusítka výrazně slabší. Výrazné zůstává v pásmu do 1500 Hz, poté se zvyšujícími kmitočty slábne. Od 4000 Hz lze u tónu  $f$  vidět jen velmi slabý signál.

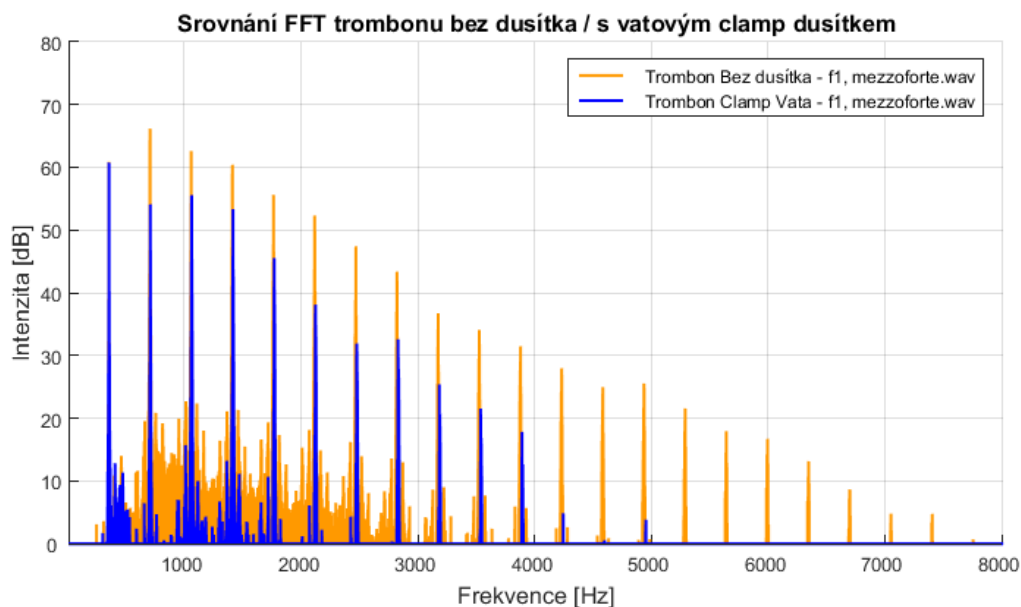


Graf 6.10: Spektrogram trombonu s vatovým clamp dusítkem

## FFT analýza

V grafu 6.11 lze pozorovat, jak málo harmonických mají tóny hrané s dusítkem. Může za to slábnutí spektra již od nízkých kmitočtů, jak bylo zmíněno při spektrální analýze. V tabulce 6.6 dokonce vidíme, že při dynamice *piano* má tón  $f^1$  jen 6 harmonických.

Žádné harmonické složky nejsou nijak výrazně utlumeny, ale u všech dynamik jsou méně potlačené 3. a 4. harmonické, o 3 – 6 dB méně utlumeny než ostatní. Jedná se o harmonické nesoucí dutost a jasnost, tyto vlastnosti si tedy tóny s tímto dusítkem zachovávají více. Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulce 6.6.



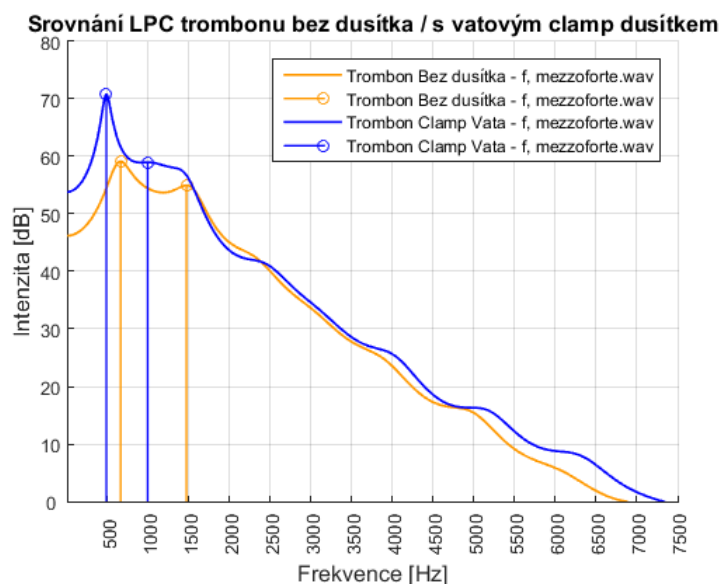
Graf 6.11: FFT trombonu s vatovým clamp dusítkem

Trombon s vatovým clamp dusítkem - tón $f^1$						
Harmonická	Intenzita tónu $f^1$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $f^1$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	53,16	60,54	62,77	-0,60	0,11	0,13
2.	43,32	53,87	55,01	10,10	12,06	13,61
3.	39,02	55,32	57,20	3,77	7,05	8,33
4.	32,40	53,08	56,18	2,14	7,09	8,26
5.	19,68	45,31	49,20	3,84	10,07	11,79
6.	4,92	37,15	44,77	10,99	14,95	14,68
7.	-	31,70	37,69	-	15,48	18,44
8.	-	32,35	41,44	-	10,80	11,60
9.	-	25,17	32,91	-	11,35	14,82
10.	-	21,33	34,64	-	12,51	11,72

Tab. 6.6: FFT trombonu s vatovým clamp dusítkem

## LPC analýza

Analýza formantových oblastí ukázala, že tón  $f$  zahráný bez dusítka i s dusítkem vykazuje jen dvě formantové oblasti, přičemž při použití dusítka je původní první formant posunutý níže o 176 Hz, druhý o 476 Hz. U obou případů má LPC velmi podobný průběh. Tabulka 6.7 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



Graf 6.12: LPC trombonu s vatovým clamp dusítkem

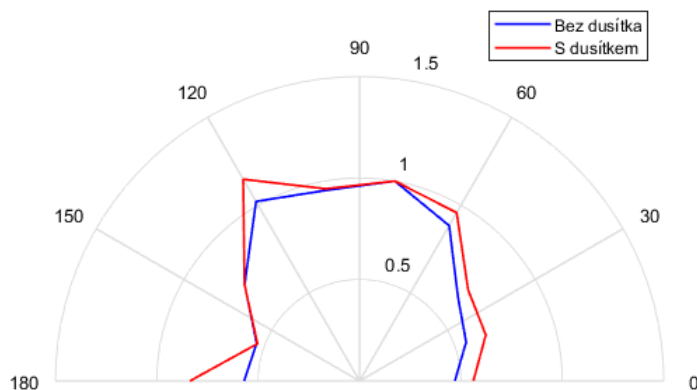
Trombon s vatovým clamp dusítkem - tón f, mezzoforte			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	660	59,15	532 - 846
2.	1468	54,98	1196 - 1660
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	484	70,81	432 - 548
2.	992	58,99	908 - 1504

Tab. 6.7: LPC trombonu s vatovým clamp dusítkem

## Směrová vyzařovací charakteristika

Z polárního grafu 6.13 lze vidět, že dusítko téměř neovlivňuje směrovost nástroje. Vidíme jen mírné posílení po stranách, které je způsobeno polohou dusítka – tedy několik centimetrů před nástrojem. Tlumí tedy pouze přímý směr vyzařování, na vyzařování do stran nemá prakticky žádný vliv. Zmíněné posílení ve stranách je způsobeno spíše nevyváženou dynamikou hráče.

Směrová vyzářovací charakteristika trombonu bez dusítka  
a s vatovým clamp dusítkem - tón f, mezzoforte



Graf 6.13: Směrová vyzářovací charakteristika trombonu s vatovým clamp dusítkem

## Shrnutí

Po všech analýzách tónů zahránými s tímto dusítkem lze s rezervou prohlásit, že se nejedná o typické dusítko, ale spíše o jakýsi *low – pass* filtr upevněný před nástrojem, kterým prochází vyražený zvuk. Na poslech nijak výrazně neovlivňuje barvu, nepotlačuje harmonické, nemění formantové oblasti, ani směrovost. Pouze od pásma 1 – 2 kHz začíná tlumit vyšší kmitočty a snižuje původní formanty.

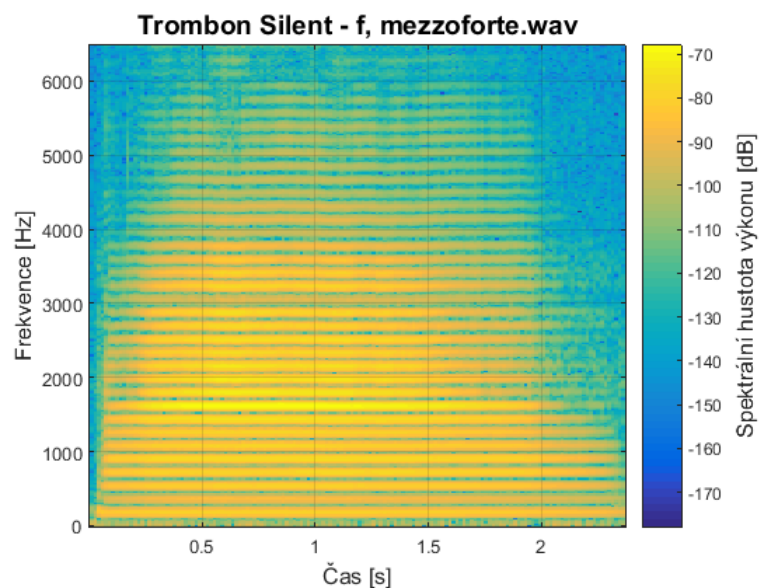
Pokud bychom chtěli posunout mezní kmitočet tohoto pomyslného filtru, stačí přidat či ubrat množství vaty uvnitř dusítka. Tento typ dusítka se dobře hodí pro zjemnění zvuku trombonu, aniž bychom chtěli výrazněji zasáhnout do jiných aspektů jeho zvuku.

## 6.2.5 Silent dusítko *Best Brass warm up*

### Spektrální analýza

Dusítka typu silent se obecně používají pro domácí cvičení, nebo rozehrávání před hudebním výkonem, a to protože činí nástroj velmi tichým, jak ostatně napovídá název. To je také první postřeh, který při poslechu tónů zahránými s tímto dusítkem zbystríme. Tóny jsou opravdu velmi tiché. Po zesílení slyšíme, jak jsou ostré, duté, působí až prázdně.

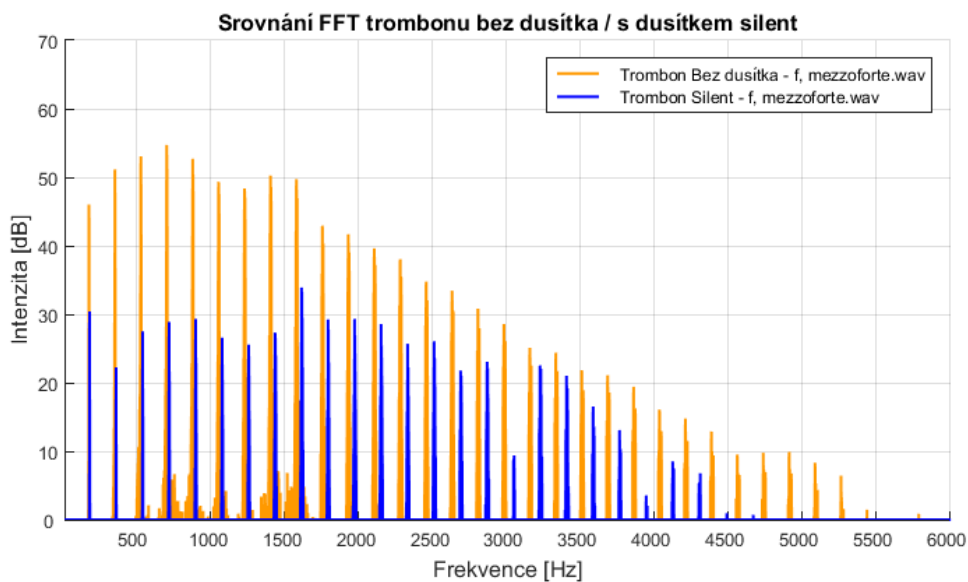
Z grafu 6.14 vidíme, že spektrum tónu F s dusítkem je slabší do 1500 Hz, silnější zůstává pouze část spektra 1500 – 2000 Hz, spektrum je obecně řidší, v místech 3000 Hz je oslabené a od 4000 Hz ještě více postupně slábne, nad 6000 Hz je zeslabené téměř úplně.



Graf 6.14: Spektrogram trombonu se silent dusítkem

## FFT analýza

Dusítko netlumí nějaké konkrétní harmonické, obecně dostává svému názvu a vše výrazně ztišuje. Výrazné utlumení je u prvních 9. harmonických složek, tedy zmíněné frekvenční pásmo do 1500 Hz. Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulce 6.8.



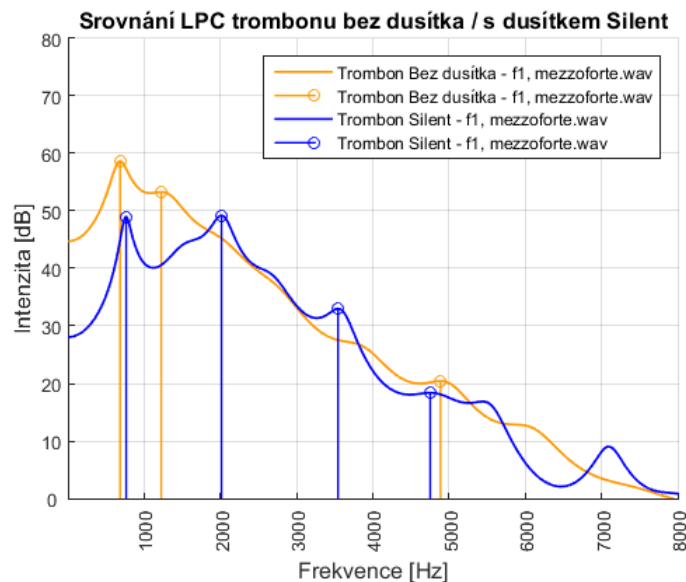
Graf 6.15: FFT trombonu se silent dusítkem

Trombon s dusítkem Silent - tón f						
Harmonická	Intenzita tónu f [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón f bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	23,73	30,19	34,68	19,04	15,63	13,55
2.	12,80	22,05	25,47	35,03	28,30	28,79
3.	19,07	27,32	31,47	30,98	25,54	25,07
4.	18,15	28,70	29,40	32,33	25,84	29,74
5.	18,07	29,11	29,34	28,04	23,41	29,11
6.	12,58	26,39	32,67	28,38	22,75	22,24
7.	8,96	25,37	31,85	31,33	22,81	23,01
8.	2,38	27,13	33,97	33,53	22,92	19,30
9.	-	33,71	41,50	28,40	15,83	14,73
10.	-	29,03	40,07	23,68	13,70	14,67

Tab. 6.8: FFT trombonu se silent dusítkem

## LPC analýza

V grafu 6.15 lze vidět, že dusítko zachovává původní první formant, mírně ho posouvá 80 Hz výš. Dále je zde díky kónickému tvaru dusítka podpora rezonančního pásma 1200 – 3000 Hz, ve které se nachází druhý formant. Třetí formant vytvořilo dusítko na frekvenci 3544 Hz a poslední zůstává podobný jako u vzorku bez dusítka, tedy blízko frekvence 4800 Hz. Tabulka 6.9 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



Graf 6.16: LPC trombonu se silent dusítkem

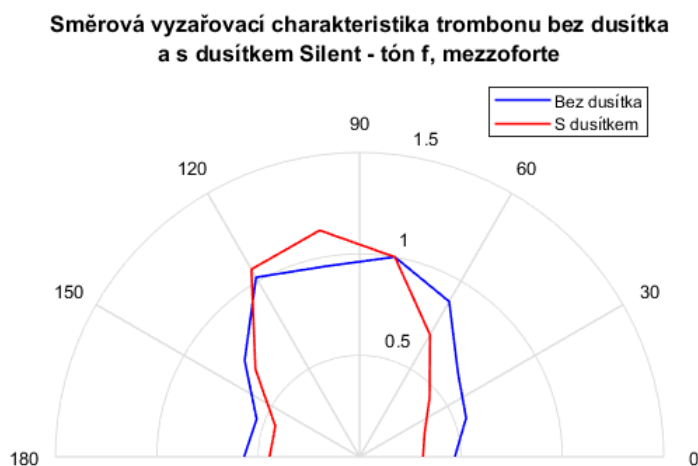


Trombon s dusítkem Silent - tón $f^1$ , <i>mezzoforte</i>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	684	58,65	572 - 828
2.	1224	53,30	1032 - 1512
3.	4888	20,44	4624 - 5220
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	764	48,98	697 - 839
2.	2016	49,25	1819 - 2136
3.	3544	33,01	3272 - 3708
4.	4752	18,39	4484 - 5136

Tab. 6.9: LPC trombonu se silent dusítkem

## Směrová vyzařovací charakteristika

Pro směrovosti tohoto dusítka byl vytvořen polární graf 6.17, ve kterém dusítko oproti tónu hranému bez dusítka posiluje přímý směr vyzařování trombonu a potlačuje naopak vyzařování do stran.



Graf 6.17: Směrová vyzařovací charakteristika trombonu se silent dusítkem

## Shrnutí

Jak již bylo zmíněno, dusítko je určené především ke ztišení nástroje. Ve spektrogramu bylo ukázáno, že celé spektrum je opravdu slabší, než spektrum tónu bez dusítka, podobně silné zůstává pouze pásmo 1500 – 2000 Hz. Největší potlačení spektra je způsobeno do 1500 Hz,

což je oblast, kde se nachází prvních 9 vyšších harmonických, které byly nejvíce potlačeny, což jsme viděli ve FFT grafu 6.15.

Co se týče rezonancí ve spektru, dusítko zachovalo první a poslední formant, dále vytvořilo dva nové na kmitočtech 2016, 3544 Hz. Díky mírně kónickému tvaru dusítka vidíme také podpořené rezonanční pásmo 1200 – 3000 Hz.

Dusítko působí jako špunt – tvojí velikostí doslova zacpe vývod v roztrubu. Pokud bychom chtěli dosáhnout měkčí barvy, muselo by být dusítko více kónické, tím pádem i delší. Naopak pokud bychom chtěli ještě ostřejší zvuk, stačilo by mít podobné dusítko v kuželovém tvaru.

## 6.2.6 Wah dusítko

Dusítka typu wah jsou unikátní svou stavbou – skládají se ze dvou částí.

První částí je tělo kónického tvaru, které má okolo ústí gumový proužek, který zcela zabráňuje proudění vzduchu okolo dusítka. Podobně fungují i dusítka typu harmon. Ostatní dusítka, včetně většiny našich ostatních použitých, má místo gumového proužku 3 korkové destičky, na kterých dusítko v nástroji drží a umožňuje slabé proudění vzduchu i okolo nich.

Druhou částí je střed dusítka, zvaný také stem, stopka nebo stonek, který se dá více či méně zasunout a ovlivňuje tak barvu i hlasitost. Jeho tvar je po jeho délce kuželový a v jeho vyústění kónický

V této kapitole budeme srovnávat jednotlivé oblasti jak pro klasické wah dusítko se zasunutým středem, tak i modifikaci dusítka bez středu.

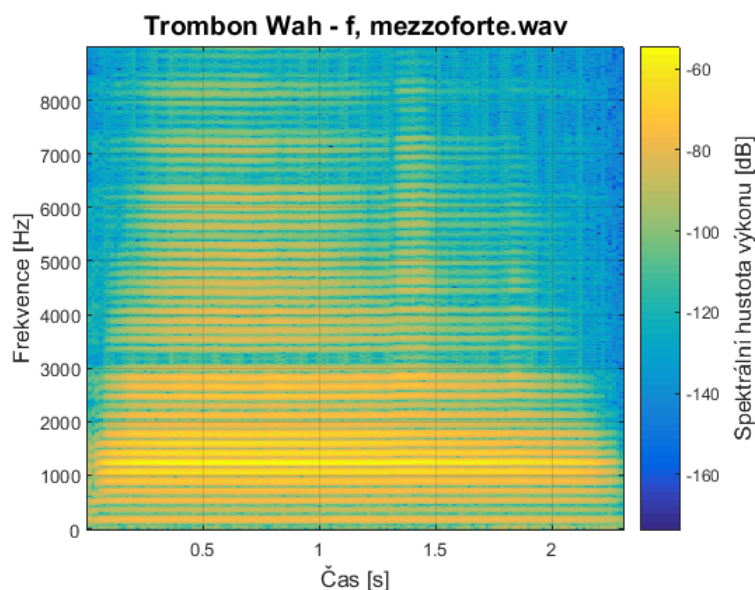
## Spektrální analýza

Při poslechu tónů hranými s dusítkem wah se středem zní tyto tóny plně, teple. V silnějších dynamikách jsou velmi ostré, při *piano* kulaté a jemné. Pokud vyndáme z dusítka jeho střed, jsou tóny kulatější. Jen tón  $f^1$  zachovává výraznou ostrost, jinak zní dusítko plně v nižších frekvencích, prázdně na středních. Tón F ovšem s touto modifikací dusítka velmi obtížně zahrát při dynamice *piano* dokonce ani nezní jako tón F, ale jen jako nějaký hluboký zvuk. Obecně zní dusítko bez středu v dynamikách *mezzoforte* a *piano* velmi příjemně a hebece.

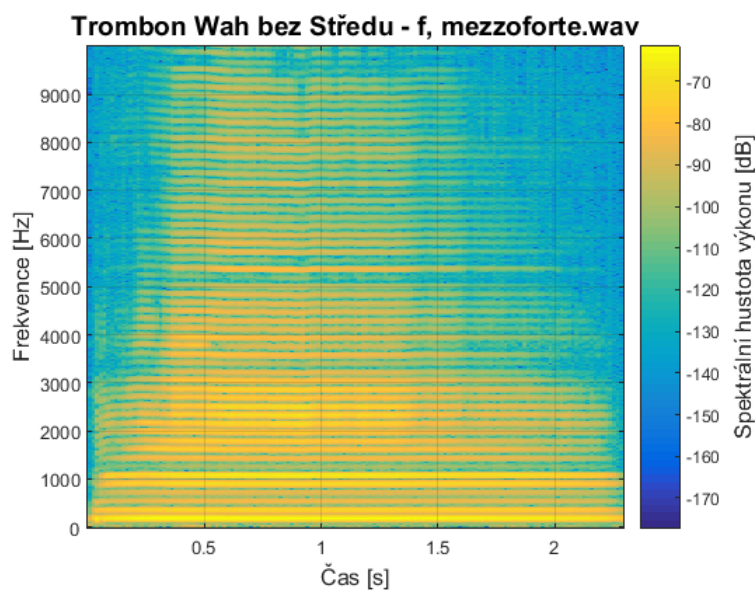
Nejdříve bych rád zhodnotil obecně vliv tohoto wah dusítka na spektrum trombonu. Ze spektrogramů 6.18 a 6.19 vidíme, že obě spektra jsou řidší, než spektrum tónu bez dusítka. Vidíme, že je výrazně potlumena pásma frekvencí 350 – 800 Hz, dále 3000 – 3400 Hz, a od frekvence 3400 jsou u obou verzí dusítka vyšší kmitočty rozděleny na jednotlivá posílená pásma – u klasického wah je to 5 pásem širokých 700 Hz, u verze bez středu se jedná o 3 pásma o šířce 1800 Hz.

Kromě tohoto rozdělení spektra se spektra obou verzí dusítka liší i dalšími frekvencemi. Lze vidět, že tón s wah dusítkem se středem má potlačené frekvence 50 – 350 Hz a

2000 – 2500 Hz. Tyto pásma má naopak verze bez středu posílena. Dále je zde ještě frekvence 1250 Hz (7. harmonická), která je u verze bez středu potlačena a u klasického wah se středem naopak silná.



Graf 6.18: Spektrogram trombonu s wah dusítkem

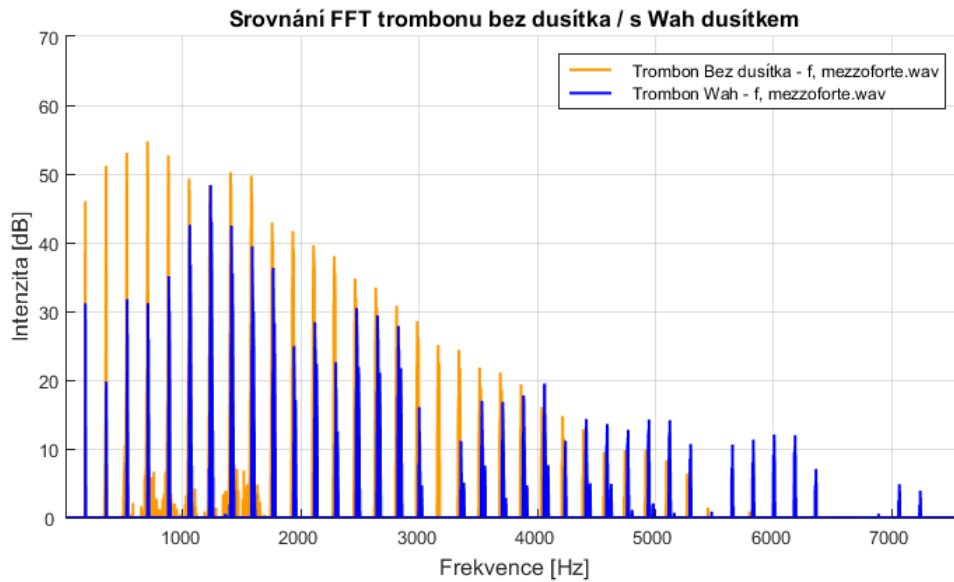


Graf 6.19: Spektrogram trombonu s wah dusítkem bez středu

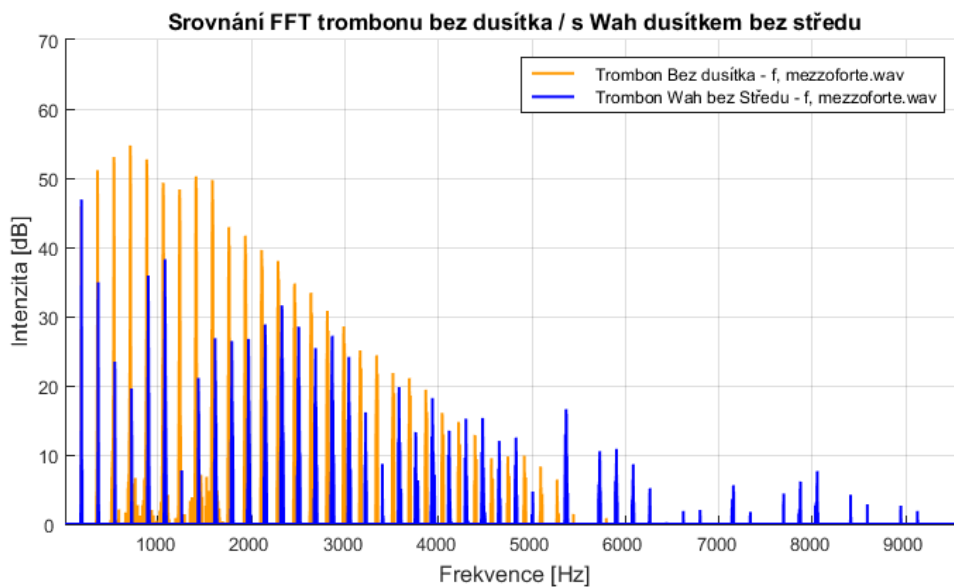
## FFT analýza

Ve FFT grafu 6.20 můžeme vidět, že dusítko wah se středem tlumí hlavně prvních 5 vyšších harmonických tónů  $f$ , z toho 2. harmonickou. Která nese mohutnost tónu, výrazněji (30,78 dB). Naopak na 7. harmonickou, dodávající brysknost, nemá dusítko v dynamikách *mezzoforte a forte* žádný vliv.

U modifikace bez středu v grafu 6.21 lze vidět, že tato verze dusítka nemá u stejného tónu v dynamice *mezzoforte* téměř žádný vliv na 1. harmonickou, která dodává tónu jeho nosnost. U dynamiky *piano* je o 4 dB potlačena, u *forte* naopak o 2.26 dB posílena. Dále jsou potlačeny 3., 4., a nejvíce 7. vyšší harmonická. Ty podporují v tónu dutost, jasnost a brysknost. Tato 7. vyšší harmonická je u verze se středem naopak velmi silná, dusítkem neovlivněná. Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulkách 6.10 a 6.11.



Graf 6.20: FFT trombonu s wah dusítkem



Graf 6.21: FFT trombonu s wah dusítkem bez středu

Trombon s Wah dusítkem - tón f						
Harmonická	Intenzita tónu f [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón f bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	25,52	30,97	38,79	17,25	14,85	9,44
2.	11,29	19,57	26,45	36,54	30,78	27,81
3.	22,87	31,58	37,79	27,18	21,28	18,75
4.	22,02	30,99	39,89	28,46	23,55	19,25
5.	23,26	34,90	41,61	22,85	17,62	16,84
6.	28,45	42,38	48,60	12,51	6,76	6,31
7.	31,08	48,20	54,76	9,21	-0,02	0,10
8.	21,36	42,25	47,83	14,55	7,80	5,44
9.	14,65	39,27	45,31	13,75	10,27	10,92
10.	10,67	36,12	47,04	13,01	6,61	7,70

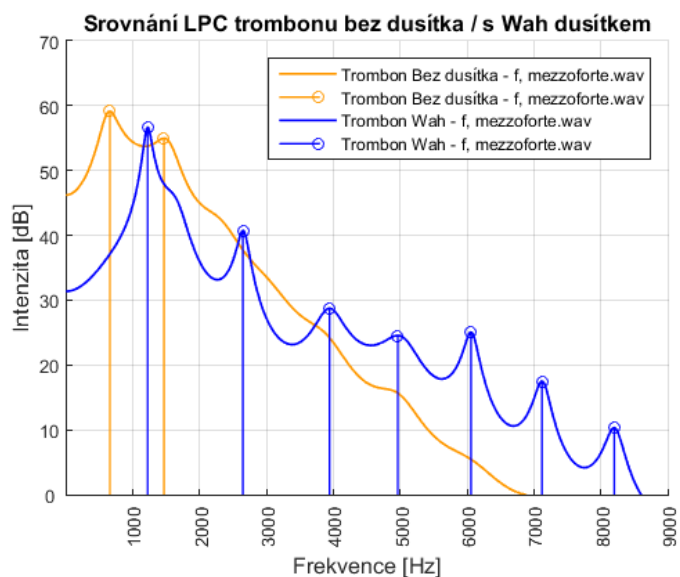
Tab. 6.10: FFT trombonu s wah dusítkem

Trombon s Wah dusítkem bez středu - tón f						
Harmonická	Intenzita tónu f [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón f bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	38,77	46,72	50,49	4,00	-0,90	-2,26
2.	27,54	34,77	39,31	20,29	15,58	14,95
3.	15,48	23,25	27,93	34,57	29,61	28,61
4.	11,15	19,40	24,11	39,33	35,14	35,03
5.	27,81	35,72	38,68	18,30	16,80	19,77
6.	24,94	38,07	41,50	16,02	11,07	13,41
7.	-	7,55	15,90	40,29	40,63	38,96
8.	3,82	20,94	26,12	32,09	29,11	27,15
9.	-	26,66	33,23	28,40	22,88	23,00
10.	-	26,26	38,18	23,68	16,47	16,56

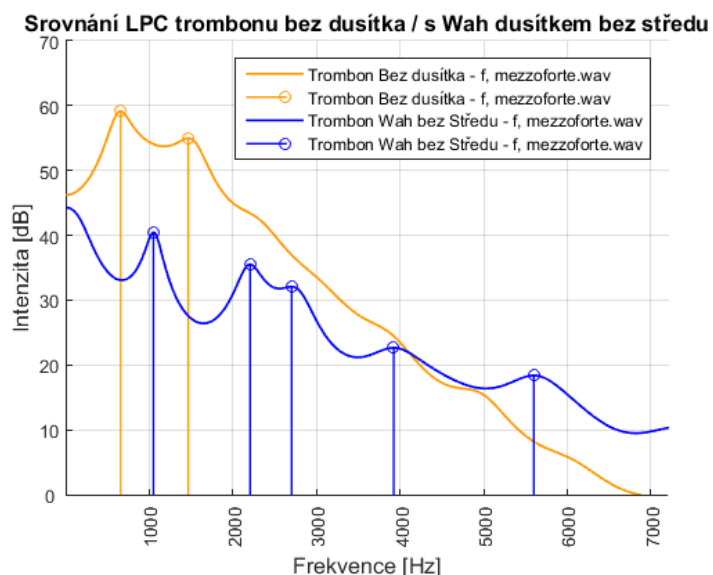
Tab. 6.11: FFT trombonu s wah dusítkem bez středu

## LPC analýza

V grafech 6.22 a 6.23 je ukázáno, že klasické Wah dusítko vytváří první silný formant o 244 Hz níž, než byl původní druhý formant trombonu. Dále vytváří 6 dalších postupně slábnoucích formantů. Jedná se o posílená pásma spektra, o kterých bylo pojednáno u spektrální analýzy. Podobně je tomu u verze dusítka bez středu, kdy jsou vytvořeny 4 rezonanční pásma s formanty, přičemž v druhém tomto pásmu vidíme formanty 2. Tabulky 6.12 a 6.13 zobrazují konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



Graf 6.22: LPC trombonu s wah dusítkem



Graf 6.23: LPC trombonu s wah dusítkem bez středu

<b>Trombon s Wah dusítkem tón f, mezzoforte</b>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	660	59,15	532 - 846
2.	1468	54,98	1196 - 1660
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1224	56,66	1164 - 1296
2.	2648	40,74	2548 - 2732
3.	3944	28,75	3704 - 4187
4.	4964	24,54	4548 - 5248
5.	6060	25,06	5936 - 6156
6.	7120	17,50	6988 - 7228
7.	8200	10,32	8040 - 8324

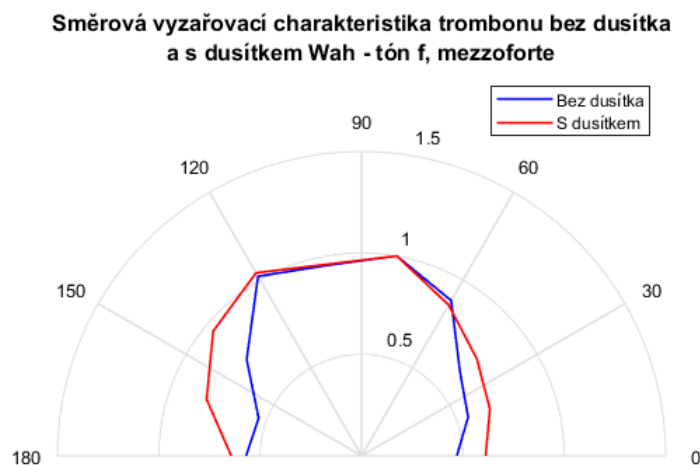
Tab. 6.12: LPC trombonu s wah dusítkem

Trombon s Wah dusítkem bez středu - tón f, <i>mezzoforte</i>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	660	59,15	528 - 848
2.	1468	54,98	1168 - 1656
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1052	40,46	948 - 1144
2.	2208	35,52	2060 - 2424
3.	2704	32,09	2552 - 2912
4.	3924	22,66	3436 - 4376
5.	5600	18,39	5032 - 6012

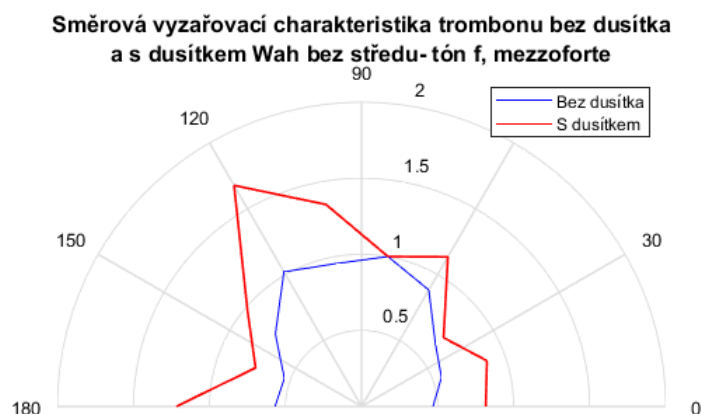
Tab. 6.13: LPC trombonu s wah dusítkem bez středu

## Směrová vyzařovací charakteristika

U wah dusítka se středem lze z grafu 6.24 pozorovat, že nemá vliv na přímý směr vyzařování, ale posiluje vyzařování nástroje do stran. U verze dusítka bez středu ve grafu 6.25 vidíme, že posiluje všechny směry vyzařování a velmi výrazně, více než o polovinu, posiluje především směr šikmý vlevo, dle grafu v místě 120°.



Graf 6.24: Směrová vyzařovací charakteristika trombonu s wah dusítkem



Graf 6.25: Směrová vyařovací charakteristika trombonu  
s wah dusítkem bez středu

## Shrnutí

U tohoto wah dusítka bylo otestováno, jak velkou roli hraje jeho střed. Obě varianty – bez a se středem – se navzájem doplňují ve spektru. Ty frekvence, které potlačilo wah bez středu naopak posílilo wah se středem. Výrazný rozdíl byl naměřen u 7. harmonické, kdy wah se středem tuto harmonickou nijak neovlivňuje, naopak wah bez středu jí o 40,63 dB potlačuje.

Obě verze ale potlačují frekvenční pásma 350 – 800 Hz, dále 3000 – 3400 Hz a obě rozdělují spektrum na široké segmenty, které při byly při LPC analýze určeny přímo jako formantové oblasti.

Wah se středem mění tvar roztrubu na tvar jeho středu – tj. velmi úzký kužel s malým kónickým vyústěním, tvarově podobným jako má trombon samotný. Tím se nijak nezměnil přímý směr vyařování nástroje, jen bylo posíleno vyařování do stran. Kuželovitý tvar středu wah dusítka způsobil vytvoření velkého množství formantových oblastí a kónické vyústění dusítka posílilo rezonanční pásmo 600 – 1800 Hz, ve kterém se nachází také první formant s intenzitou 56,66 dB.

Pokud vyndáme z dusítka jeho střed, získá roztrub tvar široce kónický, jako je samotné tělo tohoto robustního dusítka. Tón výrazně změkne a směr jeho vyařování je najednou velmi neurčitý, velmi výrazný se ukázal v místě 120° polárního grafu 6.25. Ztrátou středu ztratilo dusítko i svou kuželovitou část. Díky tomu nebylo při LPC analýze objeveno tolik četných a úzkých formantů. Tvorbu formantů zde prokazuje kónický tvar celého dusítka, kdy vzniká 1 formant při frekvenci 1224 Hz a 3 další široké rezonanční oblasti, přičemž samotná oblast 1600 – 3400 Hz obsahuje 2 formanty.

S vyndáním středu byl také demonstrován vliv tvaru kužele, kdy tóny s wah dusítkem i s jeho středem působily velmi ostře. Po vyndání středu tohoto tvaru tóny velmi změkly, daly procitnout širokému kónickému rozšíření dusítka. Pokud bychom chtěli hrát bez středu a stále mít zvuk ostřejší, je možné střed vytáhnout jen částečně, nebo použít wah dusítko z užším kónickým rozšířením.



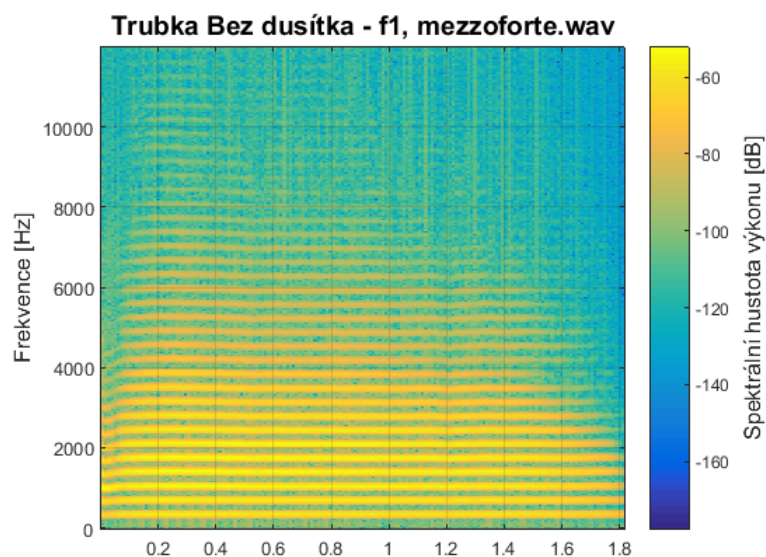
## 6.3 Naměřené hodnoty trubky

### 6.3.1 Bez dusítka

#### Spektrální analýza

Trubka bez dusítka má, podobně jako trombon, teplou a plnou barvu. V dynamikách *piano* všech tónů a *mezzoforte* tónů a,  $f^1$  se jedná o kulaté tóny, pro *mezzoforte*  $d^2$  a všechny tóny ve *forte* slyšíme velkou ostrost, kde působí silné rozechvění kovu nástroje.

Ve spektrogramu 6.26 lze vidět spektrum trubky bez dusítka. Má velmi silné spektrum v pásmu 800 – 2500 Hz, nejsilnější je oblast 1600 – 2200 Hz, od této frekvence výš spektrum pomalu rovnoměrně slábne až do 8000 Hz, poté se spektrum již vytrácí.



Graf 6.26: Spektrogram trubky bez dusítka

#### FFT analýza

Do tabulky 6.14 byly zapsány intenzity prvních 10 vyšších harmonických všech nahraných tónů ve všech dynamikách. Podobně jako u hodnocení trombonu, i v následujících hodnocení budou hodnoty FFT všech dusítek srovnávány s těmito hodnotami, jak dusítka ovlivňují jednotlivé harmonické, a to jak tabulkově, tak graficky.

Trubka - bez dusítka									
Harmonická	Intenzita tónu a			Intenzita tónu f <sup>1</sup>			Intenzita tónu d <sup>2</sup>		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1	37,63	43,40	48,13	43,17	49,49	55,16	51,03	52,87	62,66
2	35,30	43,67	49,38	40,49	49,51	55,43	52,75	57,07	69,30
3	35,30	44,88	52,96	40,23	50,21	55,94	45,79	52,84	63,46
4	35,13	49,63	53,43	38,15	50,37	56,06	35,68	51,29	63,88
5	39,54	50,70	55,50	36,31	48,59	55,36	21,12	46,40	62,50
6	41,17	48,19	58,08	32,18	47,27	56,65	9,39	43,79	60,67
7	37,66	45,38	57,48	26,59	44,34	54,29	8,20	37,26	60,01
8	30,92	41,84	54,59	19,02	41,24	52,88	1,01	34,65	56,39
9	26,04	40,30	50,59	9,10	36,47	51,21	0,84	31,56	55,22
10	24,30	37,73	51,72	0,94	37,38	50,02	-	28,26	52,98

Tab. 6.14: FFT trubky bez dusítka

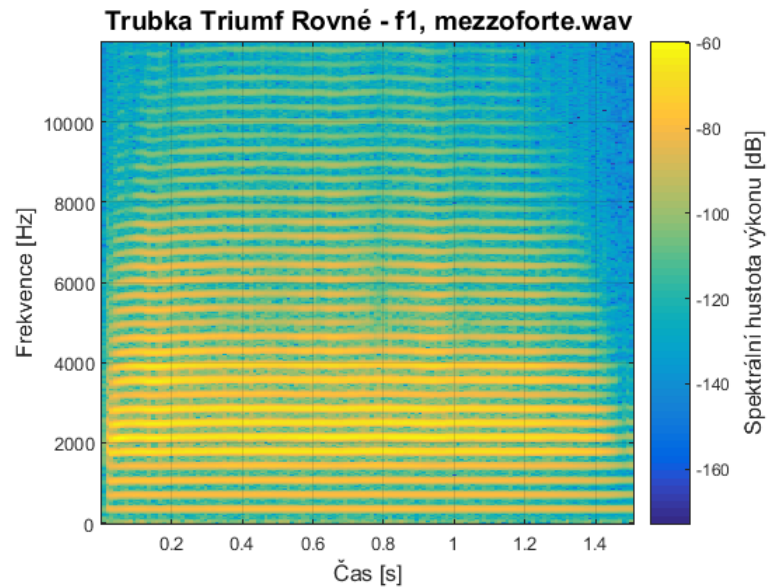
## LPC analýza a směrová vyzařovací charakteristika

Podobně jako u hodnocení trombonu, i u následujících hodnocení jednotlivých dusítek budou srovnány formantové oblasti vybraných tónů hraných bez dusítka s tóny hranými s dusítkem, tabulkově i graficky, srovnání směrovosti bude demonstrováno podobným způsobem graficky.

### 6.3.2 Ostré dusítko *Triumpf*

#### Spektrální analýza

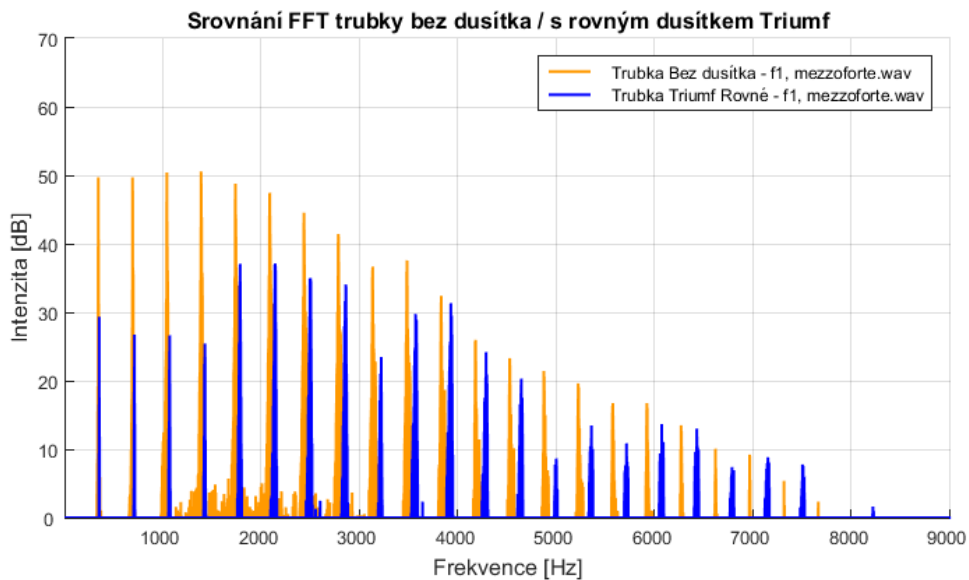
Tóny zahrané s tímto dusítkem se zdají být na poslech úzké, prázdné a velmi ostré, a to i ve slabé dynamice. Tomu přibližně odpovídá i naměřené spektrum. Je zdě vidět, že oblast spektra do 1600 Hz, kde je spektrum trubky bez dusítka silné, je v tomto případě o dost slabší (zhruba o 20 dB). To činí zvuk tak prázdným. Naopak je zde silnější spektrum v místech frekvencí 3650 a 3900 a spektrum obecně slábne pomaleji, než u trubky bez dusítka. To způsobuje takovou ostrost dusítka.



Graf 6.27: Spektrogram trubky s ostrým dusítkem

## FFT analýza

Toto rovné dusítko potlačuje nejvíce první 4 vyšší harmonické ve všech dynamikách a také 9. harmonickou v *mezzoforte* a *forte*. Naopak 5. – 8. harmonickou dusítko posiluje. V dynamice piano navíc dusítko posiluje navíc 10., 11. a 12. vyšší harmonickou – ty trubka bez dusítka v této dynamice téměř vůbec nevytváří. Konkrétní hodnoty útlumu lze vidět v tabulce 6.15.



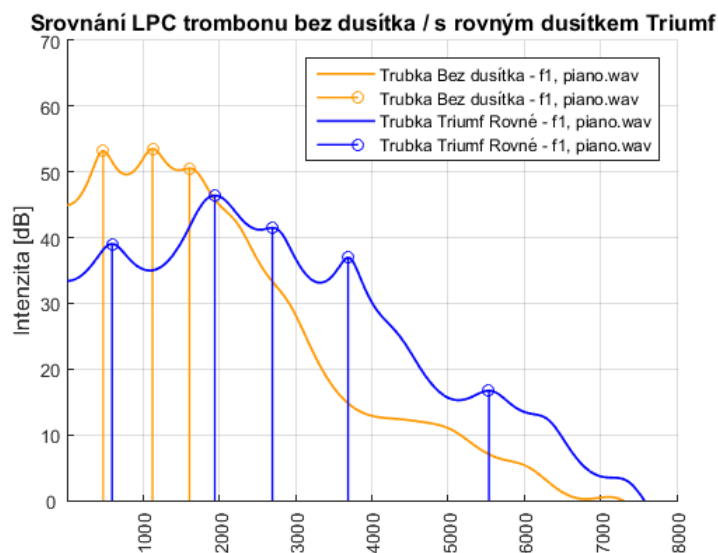
Graf 6.28: FFT trubky s rovným dusítkem

Trubka s rovným dusítkem Triumpf - tón $f^1$						
Harmonická	Intenzita tónu $f^1$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $f^1$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	23,44	29,14	31,58	19,73	20,35	23,58
2.	19,28	26,56	31,77	21,21	22,95	23,66
3.	19,23	26,43	31,19	21,00	23,78	24,75
4.	16,91	25,25	30,95	21,24	25,12	25,11
5.	26,18	36,87	42,08	10,13	11,72	13,28
6.	25,92	36,93	46,34	6,26	10,34	10,31
7.	21,23	34,82	44,90	5,36	9,52	9,39
8.	19,01	33,85	42,46	0,01	7,39	10,42
9.	10,98	23,28	31,61	-1,88	13,19	19,60
10.	15,13	29,54	39,33	-14,19	7,84	10,69

Tab. 6.15: FFT trubky s rovným dusítkem

## LPC analýza

Tón  $f^1$  v *pianu* má 3 podobně silné formantové oblasti rovnoměrně rozložené v pásmu do 2000 Hz. Při použití rovného dusítka zůstává na podobné frekvenci pouze první formant, a to o 14 dB slabší. Dále vznikají další 4 formanty. Tabulka 6.16 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



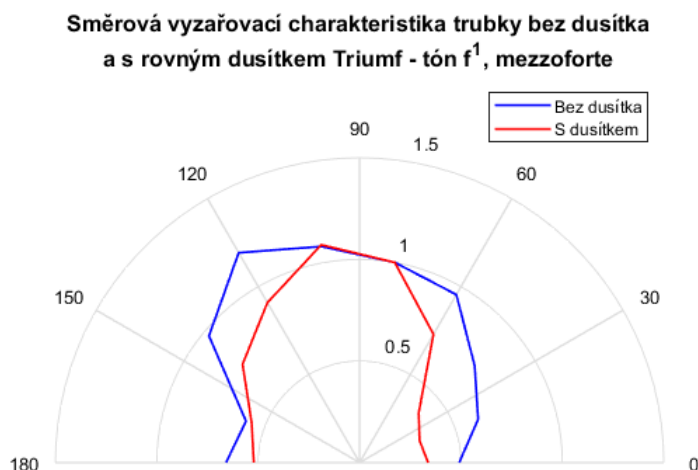
Graf 6.29: LPC trubky s rovným dusítkem

Trubka s rovným dusítkem Triumf - tón $f^1$ , piano			
Bez dusítka			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	476	53,18	336 - 680
2.	1124	53,52	908 - 1392
3.	1608	50,54	1484 - 1849
S dusítkem			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	592	39,04	340 - 872
2.	1940	46,42	1688 - 2248
3.	2696	41,50	2532 - 2924
4.	3688	36,94	3460 - 3854
5.	5536	16,72	5140 - 5948

Tab. 6.16: LPC trubky s rovným dusítkem

## Směrová vyzařovací charakteristika

Z polárního grafu 6.30 lze pozorovat, že dusítko nijak neovlivňuje přímý směr vyzařování trubky, ale výrazně potlačuje její vyzařování do stran.



Graf 6.30: Směrová vyzařovací charakteristika trubky s rovným dusítkem

## Shrnutí

Při analýze tohoto dusítka bylo zjištěno, že především potlačuje frekvenční pásmo 0 – 1600 Hz, ve kterém se vyskytují první 4 vyšší harmonické. To je způsobeno především tvarem dusítka, které zužuje roztrub trubky, čímž dává propustit pouze vyšší frekvence. Nízké frekvence, jako zmíněné pásmo, nepropustí, tedy neumožní zreprodukovat.

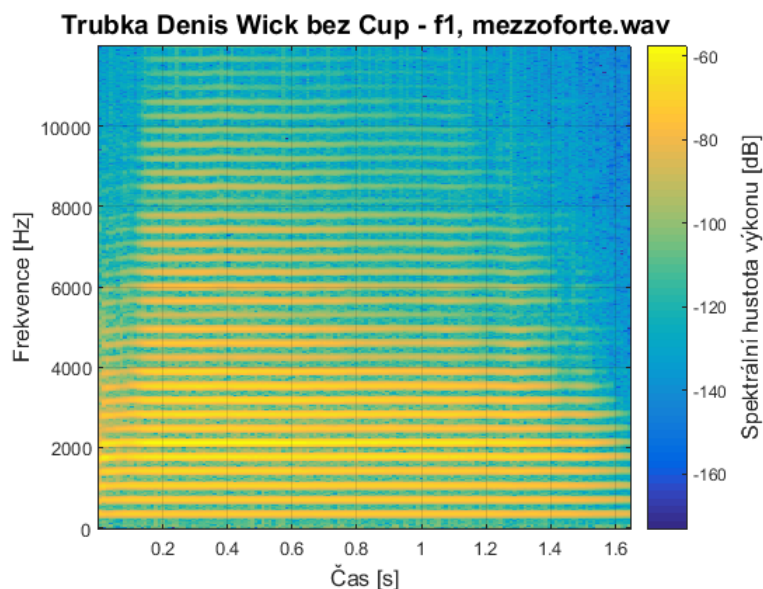
Tvar dusítka je kuželový, čemuž odpovídá zjištěná tvorba nových formantů při LPC analýze. Zároveň tento úzký tvar dusítka redukuje vyzařování nástroje do stran a neovlivňuje

přímý směr. Pokud bychom chtěli tón změkčit, bylo by dobré udělat tvar dusítka alespoň mírně kónický.

### 6.3.3 Ostré dusítko *Denis Wick adjustable cup 5531 (bez cup)*

Dusítko bez sundaného cup funguje jako ostrého dusítka s kónickým tvarem. Na poslech s ním zní trubka skutečně ostřeji, avšak nepříliš průrazně. Výraznou ostrost nabývá především v silných dynamikách. Barva zůstává plná a teplá.

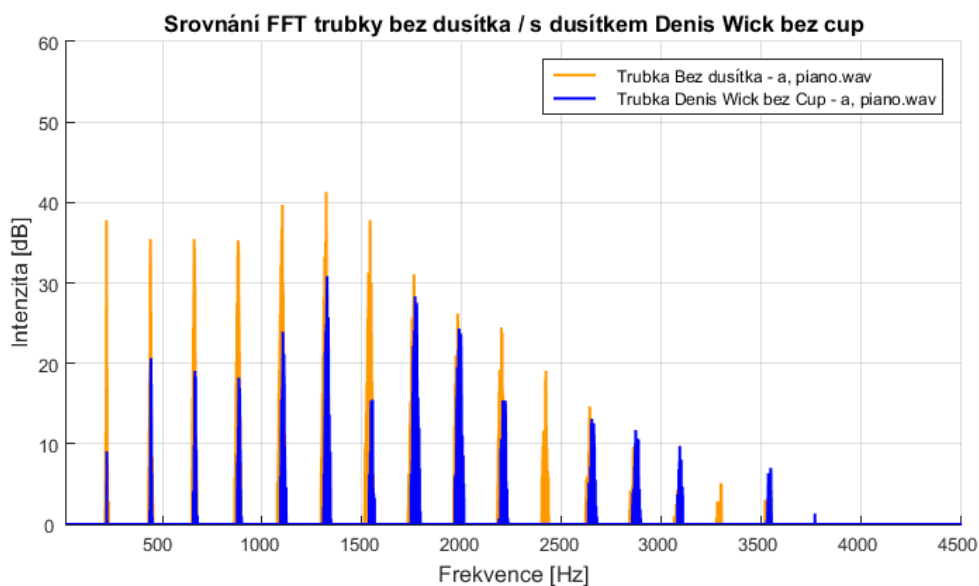
Ve spektrogramu 6.31 vidíme, že spektrum trubky s tímto rovným dusítkem je řidší, celkově lehce utlumené, silná zůstává pouze oblast na frekvenci 2100 Hz. Další potlačení se nachází v místě 5415 Hz. Obecně spektrum s tímto dusítkem slábne pomaleji, než u trubky bez dusítka – začíná se vytrácet až od 11 kHz.



Graf 6.31: Spektrogram trubky s rovným dusítkem Denis Wick

### FFT analýza

Tato modifikace dusítka potlačuje především 1. a 7. vyšší harmonickou. Jedná se o složky, které přináší do tónu nosnost a brysknost. To je důvod, proč zvuk s dusítkem nepůsobí příliš průrazně. Dále je u některých dynamik zcela, u některých výrazně, potlačena 11. a 15. vyšší harmonická. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulce 6.17.



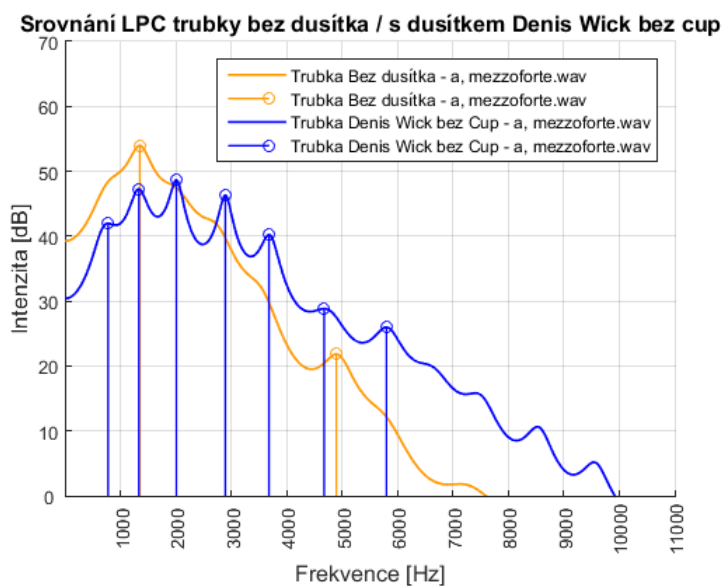
Graf 6.32: FFT trubky s rovným dusítkem Denis Wick

Trubka s dusítkem Denis Wick bez cup - tón a						
Harmonická	Intenzita tónu a [dB] <i>(s dusítkem)</i>			Rozdíl intenzit [dB] <i>(tón a bez dusítka - s dusítkem)</i>		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	8,88	12,07	19,42	28,75	31,33	28,71
2.	20,50	28,63	33,12	14,80	15,04	16,26
3.	18,89	30,40	35,18	16,41	14,48	17,78
4.	18,07	29,27	33,16	17,06	20,36	20,27
5.	23,76	32,54	36,59	15,78	18,16	18,91
6.	29,28	37,96	41,81	11,89	10,23	16,27
7.	15,35	23,53	26,94	22,31	21,85	30,54
8.	28,16	36,37	38,31	2,76	5,47	16,28
9.	24,15	36,84	41,27	1,89	3,46	9,32
10.	15,22	33,07	38,09	9,08	4,66	13,63

Tab. 6.17: FFT trubky s rovným dusítkem Denis Wick

## LPC analýza

Tón a v dynamice *mezzoforte* má pouze 2 formanty na kmitočtech 1344 Hz a 4892 Hz. Za použití dusítka se vytvořilo dalších 5 formantů, z toho druhý je na stejném místě, jako původní první, slabší o necelých 7 dB, a šestý na místě původního druhého, naopak silnější o 7 dB a posunutý níže o 200 Hz. Tabulka 6.18 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



Graf 6.33: LPC trubky s rovným dusítkem Denis Wick

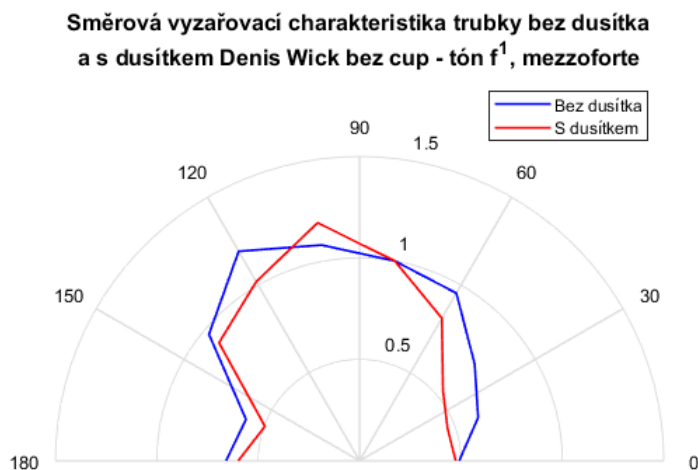
<b>Trubka s dusítkem Denis Wick bez cup - tón a, mezzoforte</b>			
Bez dusítka			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1344	53,97	1088 - 1608
2.	4892	21,83	4448 - 5148
S dusítkem			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	772	41,99	572 - 1000
2.	1328	47,29	1160 - 1529
3.	2004	48,65	1868 - 2120
4.	2888	46,32	2772 - 3002
5.	3676	40,22	3440 - 3824
6.	4672	28,84	4364 - 5032
7.	5796	25,97	5348 - 6084
8.	7400	15,84	7096 - 7712

Tab. 6.18: LPC trubky s rovným dusítkem Denis Wick

## Směrová vyzařovací charakteristika

V polárním grafu 6.34 lze vidět, že dusítko Denis Wick se sundaným cup lehce podporuje přímý směr vyzařování trubky a zároveň tlumí její vyzařování do stran.





## Shrnutí

Dusítko Denis Wick má možnost sundat cup – v tu chvíli plní funkci klasického ostrého dusítka. Jedná se o poměrně široké dusítko – zužuje roztrub trubky jen o několik milimetrů. Přesto lehce omezuje spodní frekvence nástroje, jak jsme se přesvědčili např. při potlačení fundamentu. Dále bylo při FFT zjištěno, že mimo této harmonické dusítko potlačuje také 7., 11. a 15. vyšší harmonickou.

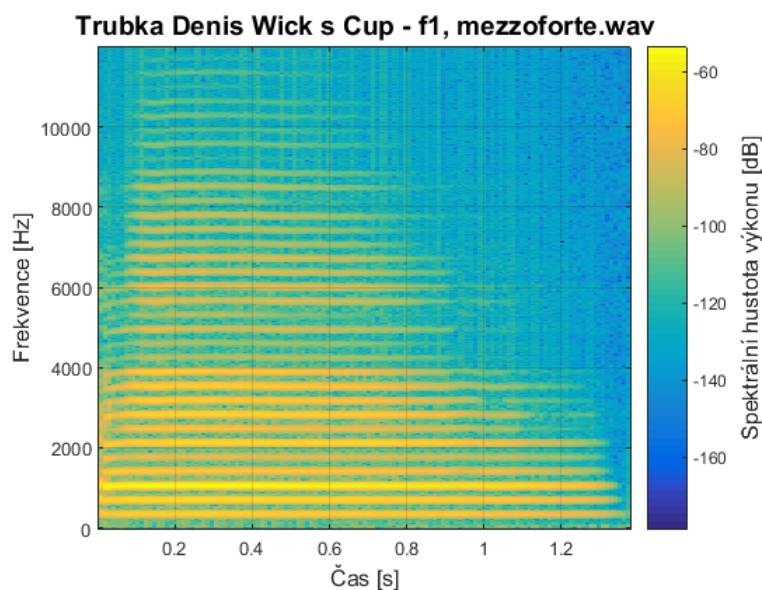
Zásadní vliv má tvar tohoto dusítka. Jedná se o kónický tvar, což je pro ostré dusítko nezvyklé, avšak při LPC byla odhalena velmi široká rezonanční oblast, kterou tento tvar vytváří. Jedná se o oblast 800 – 4000 Hz, ve které se nachází 5 formantů.

Dusítko také lehce ovlivňuje směr vyzářování, a sice potlačením vyzářování do stran a zesílením přímého směru.

### 6.3.4 Cup dusítko *Denis Wick adjustable cup 5531 (s cup)*

#### Spektrální analýza

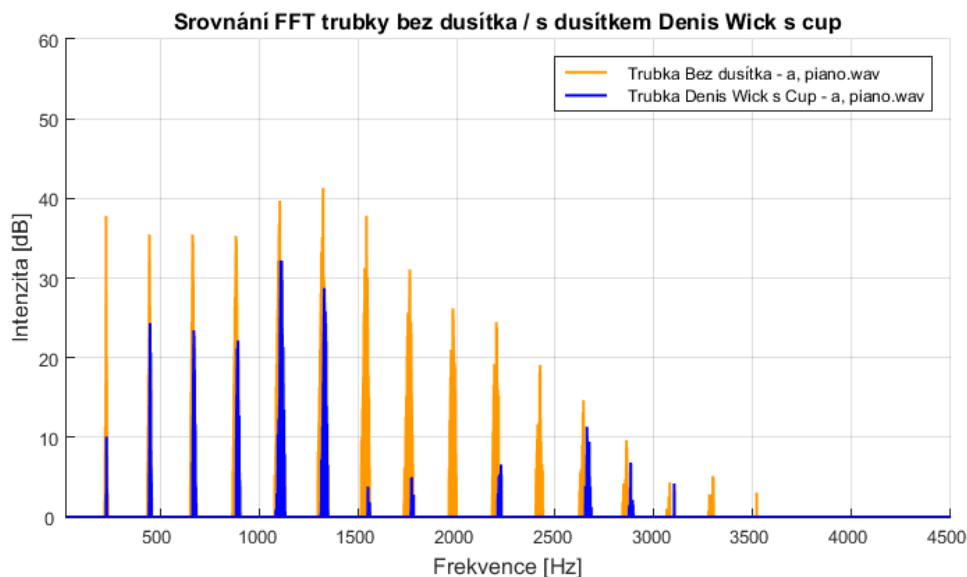
Po nasazení cup na stejné dusítko jako v předchozí kapitole je zvuk ostřejší, především u tónu a, jinak působí trochu zastřeně a prázdňě. Ve spektru vidíme posílenou oblast frekvence 1000 Hz a vyšších kmitočtů 5600 – 8000 Hz, což způsobuje takovou ostrost zvuku. Jsou zde ale i potlačená pásma, jako 1450 – 2600 Hz a 4000 – 4850 Hz, možná, kvůli kterým zní zvuk poněkud prázdňě.



Graf 6.35: Spektrogram trubky s dusítkem cup Denis Wick

## FFT analýza

V grafu FFT 6.36 lze vidět vliv tohoto dusítka cup na jednotlivé vyšší harmonické složky tónu a. Dusítko opět potlačuje 1., 7., 11. a 15. harmonickou, podobně jako tomu bylo u modifikace dusítka bez cup. Navíc ale potlačuje také 8. – 10., tedy v závěru se jedná o potlačení nosnosti, jasnosti a brysknosti v tónu. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulce 6.19.



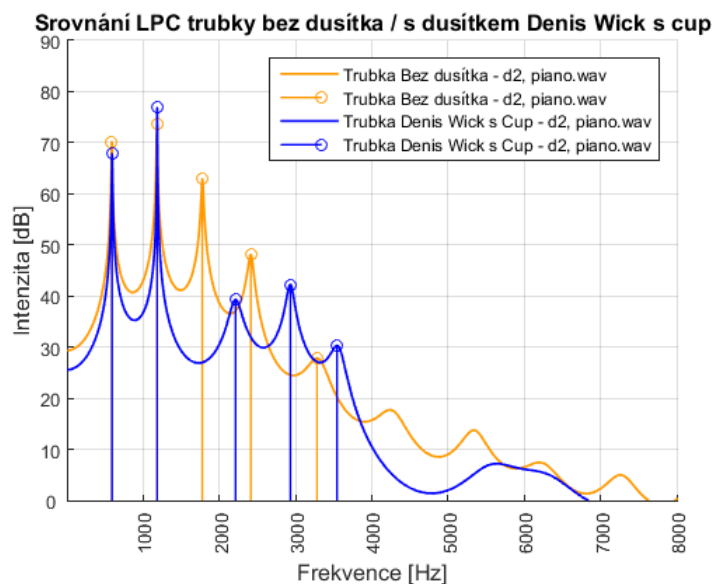
Graf 6.36: FFT trubky s dusítkem cup Denis Wick

Trubka s dusítkem Denis Wick s cup - tón a						
Harmonická	Intenzita tónu a [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón a bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	9,91	10,54	18,89	27,72	32,86	29,24
2.	24,18	29,83	37,42	11,12	13,84	11,96
3.	23,28	32,15	39,22	12,02	12,73	13,74
4.	21,99	31,42	37,62	13,14	18,21	15,81
5.	32,06	40,04	46,20	7,48	10,66	9,30
6.	28,57	35,74	42,22	12,60	12,45	15,86
7.	3,64	11,74	17,42	34,02	33,64	40,06
8.	4,82	10,68	15,99	26,10	31,16	38,60
9.	-	6,48	16,64	26,04	33,82	33,95
10.	6,42	18,46	29,09	17,88	19,27	22,63

Tab. 6.19: FFT trubky s dusítkem cup Denis Wick

## LPC analýza

Při LPC analýze bylo zjištěno, že dusítko s cup na tónu  $d^2$  v *piano* podporuje stejné první 2 formanty, jako má trubka bez dusítka. Následují další 3 podobné formanty, ty už jsou ale posunuté o 300 – 500 Hz výš. Tabulka 6.20 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



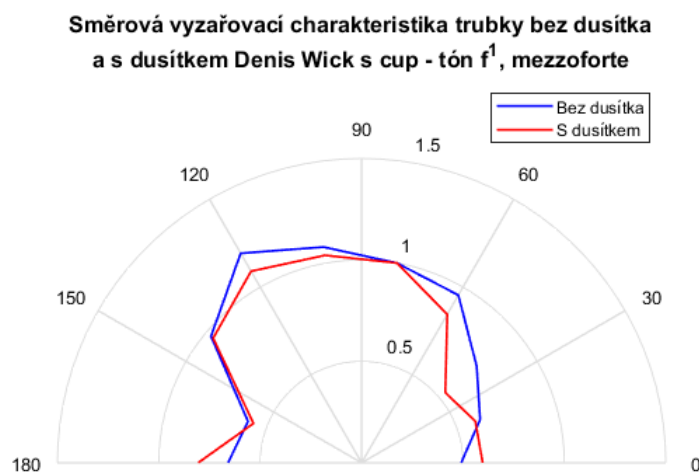
Graf 6.37: LPC trubky s dusítkem cup Denis Wick

Trubka s dusítkem Denis Wick s cup - tón $d^2$ , <i>piano</i>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	588	70,21	585 - 592
2.	1180	73,62	1174 - 1183
3.	1780	62,78	1764 - 1792
4.	2412	48,09	2364 - 2448
5.	3280	27,83	3072 - 3412
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	592	67,83	588 - 595
2.	1184	76,84	1182 - 1187
3.	2212	39,28	2132 - 2296
4.	2932	42,24	2880 - 2980
5.	3544	30,32	3380 - 3628

Tab. 6.20: LPC trubky s dusítkem cup Denis Wick

## Směrová vyzařovací charakteristika

Níže je zobrazený polární graf ukazující vliv dusítka Denis Wick s nasazeným cup na směr vyzařování trubky. Je vidět, že se nejedná o výrazné ovlivnění. Lehce posiluje směr záření na pravé straně a v místě  $120^\circ$ , tedy přímý směr vlevo.



Graf 6.38: Směrová vyzařovací charakteristika trubky s dusítkem cup Denis Wick

## Shrnutí

Dusítko se vyznačuje především potlačením frekvenčního pásma 1450 – 2000 Hz, ve kterém se nachází 7. – 11. harmonická. To činí tóny chudé, prázdné, temné.

Vidíme, že jak při nandaném cup, tak při sundaném, tvoří rezonanční pásmo kónický tvar dusítka. Dusítko podporuje rezonanční oblast 500 – 4000 Hz, obdobně jako dusítko bez

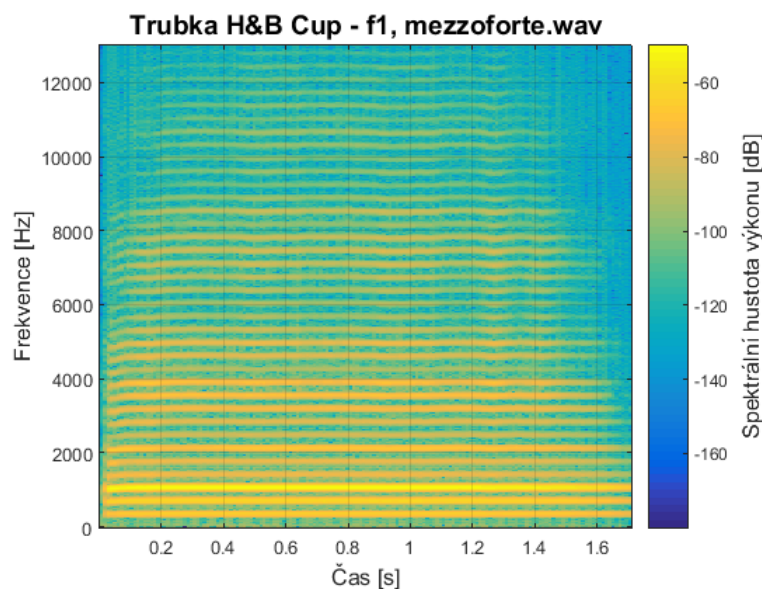
cup, a to díky kónickému tvaru těla dusítka, které zůstává stejné. V případě nandaného cup, v této oblasti posiluje 5 formantů, kdy 2 jsou stejné jako u tónů hraných bez dusítka a další 3 jsou o 300 – 500 Hz posunuty výše.

Co se týče vlivu na směrovost trubky, dusítko bez cup zužuje směr záření a posiluje přímý směr, jak již bylo zmíněno v závěru kapitoly 6.3.3. Dusítko s cup tento směr nijak výrazně neovlivňuje, pouze lehce posiluje směr vyzařování do strany, čemuž odpovídá tvar cup, který doslova přiklopí roztrub nástroje a směruje zvuk do strany.

### 6.3.5 Cup dusítko *Humes&Berg New-Stone-Lined-Cup*

Tento typ dusítka cup je stejný, jako hodnocené trombonové dusítko v kapitole 6.2.3, jen v provedení pro trubku. Při poslechu slyšíme opět ostrý zvuk jako u všech dosavadních cup dusítek, ale jedná se o příjemnou ostrost, například oproti přechozímu hodnocenému dusítku Denis Wick. Barva tónů je na poslech teplá, plná, působí úzce, v některých polohách připomíná zvuk saxofonu.

Ve spektrogramu 6.39 lze vidět, že dusítko celkově potlačuje spektrum do 4 kHz, v tomto pásmu zůstává silný pouze kmitočet 1 kHz. Nejvíce utlumená pásma jsou 1910 – 2863 Hz a 5800 – 6100 Hz. Ve frekvenčním pásmu 6215 – 8360 Hz je spektrum mírně zesíleno, což způsobuje zmíněnou příjemnou ostrost.

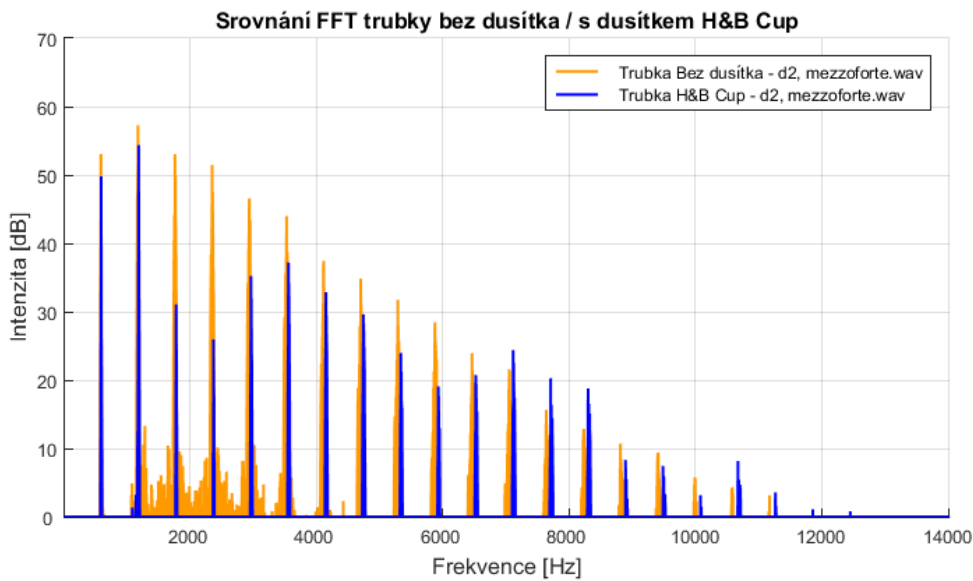


Graf 6.39: Spektrogram trubky s dusítkem cup Humes&Berg

### FFT analýza

Při FFT analýze tónů hraných s tímto dusítkem bylo zjištěno, že dusítko výrazněji potlačuje 3. a 4. vyšší harmonickou. Jedná se o složky, které v tónu podporují dutost a jasnost. Dále je vidět,

že první 2 harmonické, dodávající nosnost a mohutnost, zůstávají poměrně silné. U dynamiky piano dusítko zcela tlumí 7. – 9. harmonickou, dodávající jasnost a brysknost. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulce 6.21.



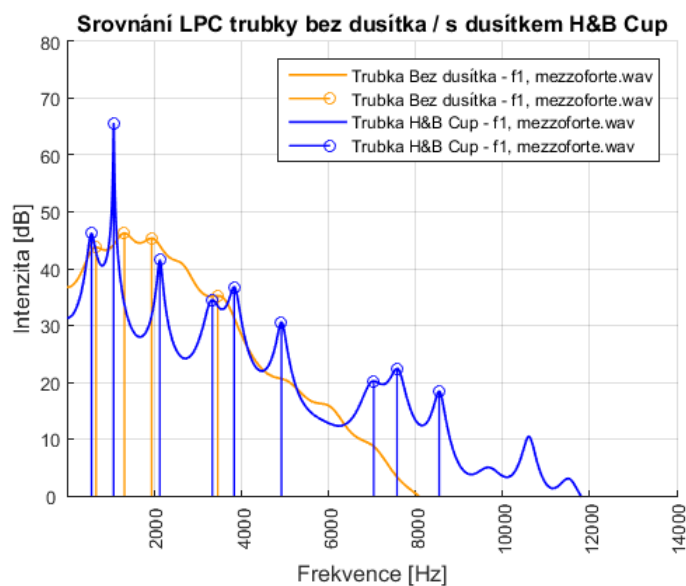
Graf 6.40: FFT trubky s dusítkem cup Humes&Berg

Trubka s dusítkem H&B Cup - tón d <sup>2</sup>						
Harmonická	Intenzita tónu d <sup>2</sup> [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón d <sup>2</sup> bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	42,48	49,59	52,83	8,55	3,28	9,83
2.	42,43	54,18	56,02	10,32	2,89	13,28
3.	20,99	30,87	32,58	24,80	21,97	30,88
4.	6,21	25,77	30,21	29,47	25,52	33,67
5.	11,82	35,03	39,74	9,30	11,37	22,76
6.	9,00	37,01	43,18	0,39	6,78	17,49
7.	-	32,65	43,56	8,20	4,61	16,45
8.	-	29,42	39,44	1,01	5,23	16,95
9.	-	23,77	33,71	0,84	7,79	21,51
10.	-	18,88	28,22	-	9,38	24,76

Tab. 6.21: FFT trubky s dusítkem cup Humes&Berg

## LPC analýza

V grafu LPC 6.41 můžeme vidět, že trubka má na tónu  $f^1$  v *mezzoforte* 4 formanty. Použití dusítka vytváří 3 rezonanční pásma se šířkou zhruba 2 kHz. V každém tomto rezonančním pásmu jsou vytvořené 3 úzké formanty. Dohromady se tedy jedná o 9 formantů, které dusítko na tomto tónu vytváří. Tabulka 6.22 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky prvních 6 nalezených formantů.



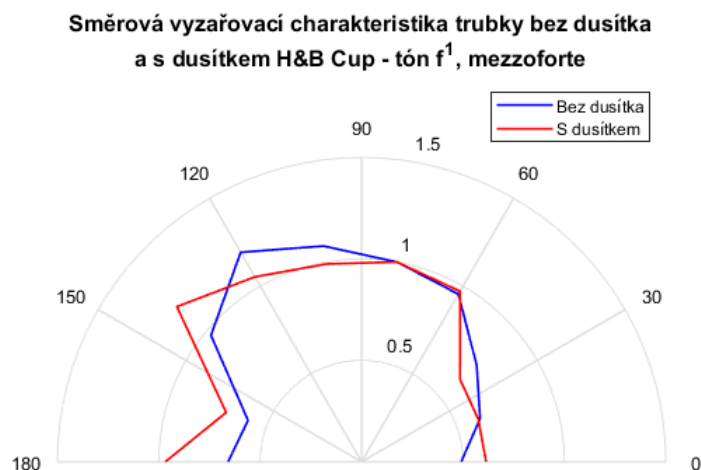
Graf 6.41: LPC trubky s dusítkem cup Humes&Berg

<b>Trubka s dusítkem H&amp;B Cup - tón <math>f^1</math>, mezzo-forte</b>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	656	43,78	400 - 972
2.	1308	46,26	972 - 1640
3.	1932	45,36	1640 - 2292
4.	3452	35,24	3292 - 3779
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	552	46,19	472 - 648
2.	1060	65,52	1052 - 1068
3.	2120	41,49	2064 - 2180
4.	3328	34,51	3168 - 3572
5.	3828	36,77	3668 - 3931
6.	4916	30,58	4812 - 5012

Tab. 6.22: LPC trubky s dusítkem cup Humes&Berg

## Směrová vyzařovací charakteristika

Jak je vidět v polárním grafu 6.42, dusítko lehce potlačuje vyzařování nástroje do pravé strany a naopak posiluje směr vyzařování doleva a dopředu do místa  $120^\circ$ .



Graf 6.42: Směrová vyzařovací charakteristika trubky s dusítkem cup Humes&Berg

## Shrnutí

Po analýze dusítka typu cup Humes&Berg lze říci, že je unikátní ve svém charakteru zvuku. Tato příjemně ostrá dutější barva vnikla především útlumem 3. a 4. harmonické, posílením vyšších kmitočtů (6215 – 8360 Hz) a vzniku velkého množství formantů. Tyto formanty byly vytvořeny díky kuželovému tvaru dusítka, což je tvar, který se vyznačuje právě tvorbou většího množství formantů.

Jedná se o poměrně úzké dusítko, zužuje roztrub trubky o několik centimetrů. To potlačuje spodní frekvence a propouští vyšší. Pokud bychom chtěli přidat do zvuku více „těla“ zvuku a bohatší spektrum ve spodních frekvencích, lze zvolit širší korpus dusítka či zvolit kónický tvar, jako tomu bylo u dusítka Denis Wick v předchozí kapitole.

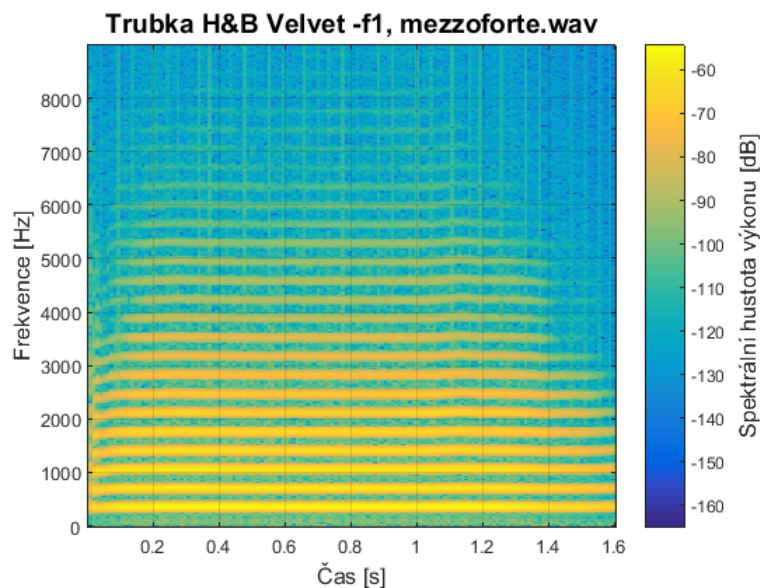
### 6.3.6 Clamp dusítko *Humes&Berg New-Stone-Lined-Velvet*

#### Spektrální analýza

Jedná se o podobné dusítko, jako bylo hodnoceno pro trombon v kapitole 6.2.4. Také je typu clamp, tedy nasazuje se na roztrub pomocí úchytů. Tón zůstává na poslech stejně plný a barevně velmi podobný jako samotná trubka, jen je tupější. Dusítko tlumí ostrost samotného nástroje.

Níže ve spektrogramu 6.43 lze na první pohled vidět, že spektrum tónu s tímto dusítkem je výrazně řidší, než spektrum trubky bez dusítka. Avšak i přesto je spektrum velmi silné a rovnoměrně vyplněno až do frekvence 3580 Hz, kdy začíná pomalu rovnoměrně slábnout, nad 5000 Hz se již vytrácí.

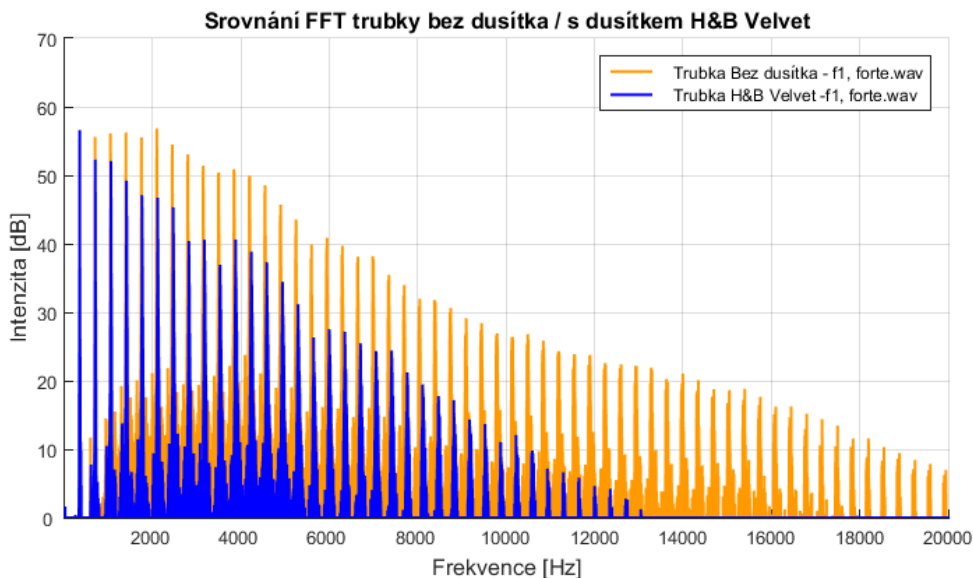




Graf 6.43: Spektrogram trubky s dusítkem velvet clamp

## FFT analýza

Pro analýzu vyšších harmonických složek trubky s tímto dusítkem byl zvolen tón  $f^1$ . Dusítko ovšem ale netlumí žádnou harmonickou výrazněji. V grafu 6.43 dynamiky *forte* lze vidět, že se jedná o plynule zesilující se útlum až do frekvence 6 kHz, kde spektrum mizí. Při pohledu na graf nám vliv dusítka připadá opět jako filtr dolní propusti, podobně jako u trombonu. Fundament tónu zůstává nepotlačený, naopak u všech dynamik je o 1 – 3 dB posílený. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulce 6.23.



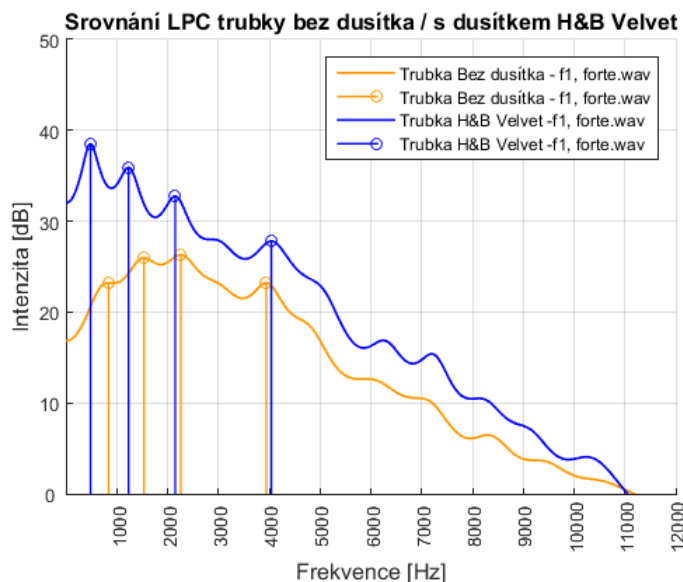
Graf 6.44: FFT trubky s dusítkem velvet clamp

Trubka s dusítkem H&B Velvet - tón $f^1$						
Harmonická	Intenzita tónu $f^1$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $f^1$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	45,98	51,98	56,42	-2,81	-2,49	-1,26
2.	39,03	45,61	52,07	1,46	3,90	3,36
3.	36,84	46,00	51,91	3,39	4,21	4,03
4.	31,78	43,91	49,01	6,37	6,46	7,05
5.	24,81	40,71	46,90	11,50	7,88	8,46
6.	18,50	39,13	46,54	13,68	8,14	10,11
7.	5,49	35,42	45,14	21,10	8,92	9,15
8.	-	31,72	40,22	19,02	9,52	12,66
9.	-	28,25	40,39	9,10	8,22	10,82
10.	-	23,80	36,74	0,94	13,58	13,28

Tab. 6.23: FFT trubky s dusítkem velvet clamp

## LPC analýza

Pro tento typ analýzy byla pro dusítko velvet zvolena dynamika *forte* tónu  $f^1$ . V grafu 6.45 lze pozorovat, že trubka bez dusítka má na tomto tónu 4 formanty. Použití dusítka zachová tyto 4 formanty velmi podobně, ale silnější o 10 – 15 dB s tím, že první dva formanty jsou posunuté o 300 – 400 Hz níž, druhé dva zůstávají na přibližně stejné frekvenci. Tabulka 6.24 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



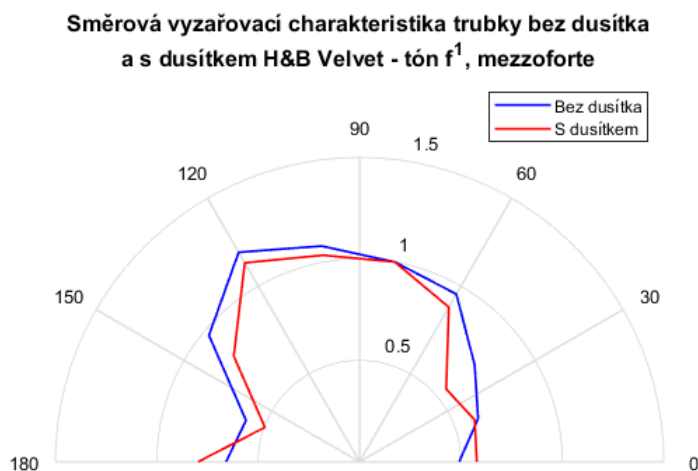
Graf 6.45: LPC trubky s dusítkem velvet clamp

Trubka s dusítkem H&B Velvet - tón $f^1$ , forte			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	832	23,22	448 - 1076
2.	1528	25,98	1076 - 1872
3.	2252	26,32	1872 - 2948
4.	3936	23,22	3512 - 4360
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šírka [Hz]
1.	476	38,51	300 - 672
2.	1224	35,92	872 - 1456
3.	2144	32,75	1736 - 2448
4.	4036	27,81	3580 - 4528

Tab. 6.24: LPC trubky s dusítkem velvet clamp

## Směrová vyzařovací charakteristika

V polárním grafu 6.45 můžeme vidět, že trubka s tímto dusítkem vyzařuje přibližně do stejných směrů, jako trubka bez dusítka. Přímý směr je ovlivněn méně než vyzařování do stran, kde je záření zvuku naopak potlačeno.



Graf 6.46: Směrová vyzařovací charakteristika trubky s dusítkem velvet clamp

## Shrnutí

Podobně jako u trombonu u podobného dusítka, tento typ dusítka funguje spíše jako filtr typu dolní propusti. O tom se můžeme přesvědčit v jeho spektru i při srovnávání vyšších harmonických složek.

Kvůli poloze dusítka před roztrubem jsou první 2 formanty posunuty o 300 – 400 Hz níž, druhé 2 zůstávají na podobné frekvenci. Všechny 4 jsou výrazně posíleny.

Dusítko lehce potlačuje směr vyzařování nástroje do stran. Méně je potlačen přímý směr.

Jelikož dusítko nezasahuje do rozměrů nástroje či samotného roztrubu, ale je jen nasazené na roztrubu, neovlivňuje nijak charakteristiku barvy nástroje, ale pouze zvuku, který slyšíme za dusítkem.

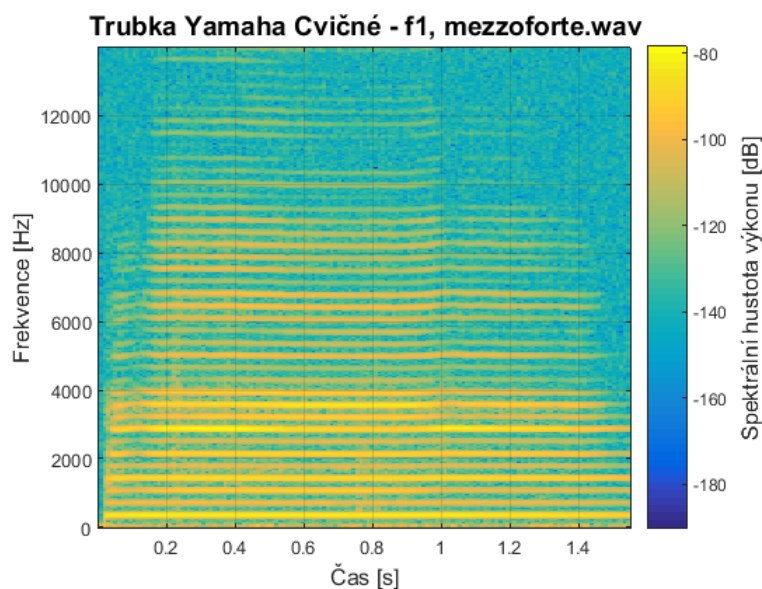
Pokud bychom chtěli tuto filtraci změnit tak, aby mezní kmitočet tohoto pomyslného filtru byl níže, museli bychom přidat do dusítka více výplně, např. vaty, nebo zvolit silnější dusítko.

### 6.3.7 Cvičné dusítko *Yamaha PM-7X*

#### Spektrální analýza

Yamaha PM – 7X, které se používá za účelem ztišení, např. pro domácí cvičení nebo rozehrávání. Při poslechu mohou říci, že tento účel opravdu plní. Tóny nahrané s tímto dusítkem jsou velmi potichu, zároveň dusítko zmenšuje možné dynamické rozdíly – dynamiky *piano* nejsou o tolik tišší než dynamiky *forte*. Zvuk tónů s dusítkem je úzký a prázdný, udušený.

Spektrum je na první pohled velmi řídké, celkově velmi potlačené, nemá stabilní pásma. Silná zůstává pouze frekvence fundamentu 375 Hz, silnější jen pásmo 2700 – 3900 Hz.

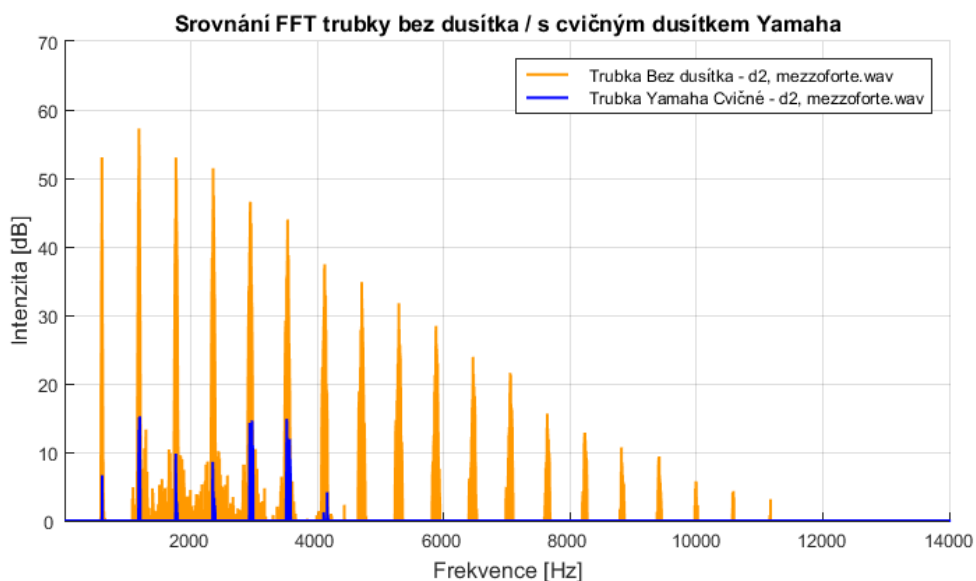


Graf 6.47: Spektrogram trubky s cvičným dusítkem

#### FFT analýza

Pro tón  $d^2$  v dynamice *mezzoforte* lze vidět, že dusítko propustilo jen 7 vyšších harmonických, z toho 2., 5. a 6. o málo výrazněji. Jednalo by se o mírné zachování mohutnosti, nazálnosti a

jasnosti tónu. U dynamiky *piano* dusítko potlačilo téměř všechny harmonické. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulce 6.25.



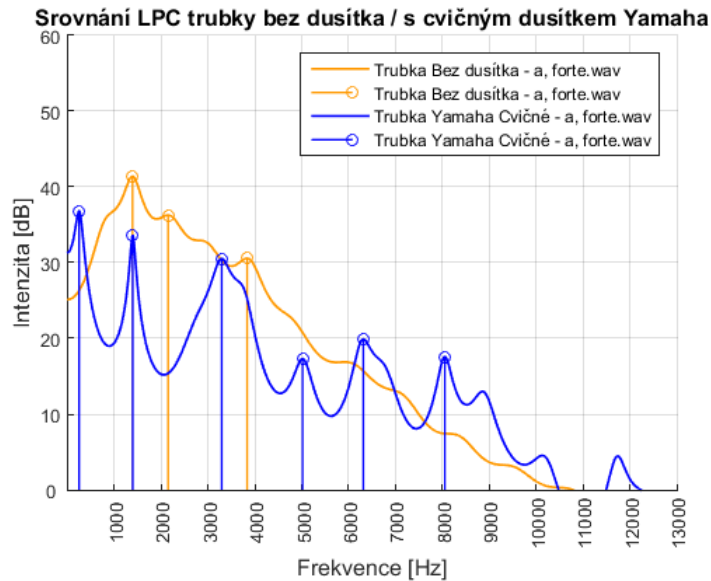
Graf 6.48: FFT trubky s cvičným dusítkem

Trubka s cvičným dusítkem Yamaha - tón $d^2$						
Harmonická	Intenzita tónu $d^2$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $d^2$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	1,99	6,45	10,28	49,04	46,42	52,38
2.	10,25	15,04	21,36	42,50	42,03	47,94
3.	-	9,60	13,05	45,79	43,24	50,41
4.	-	8,42	12,96	35,68	42,87	50,92
5.	6,79	14,46	20,31	14,33	31,94	42,19
6.	-	14,68	20,49	9,39	29,11	40,18
7.	-	3,98	12,61	8,20	33,28	47,40
8.	-	-	-	1,01	34,65	56,39
9.	-	-	4,49	0,84	31,56	50,73
10.	-	-	7,98	-	28,26	45,00

Tab. 6.25: FFT trubky s cvičným dusítkem

## LPC analýza

Na tónu a v dynamice *forte* má trubka 3 formanty. Použití cvičného dusítka Yamaha zvýší tento počet na 6, z toho druhý formant je ve stejném místě jako původní první a o 8 dB slabší. Tabulka 6.26 zobrazuje konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



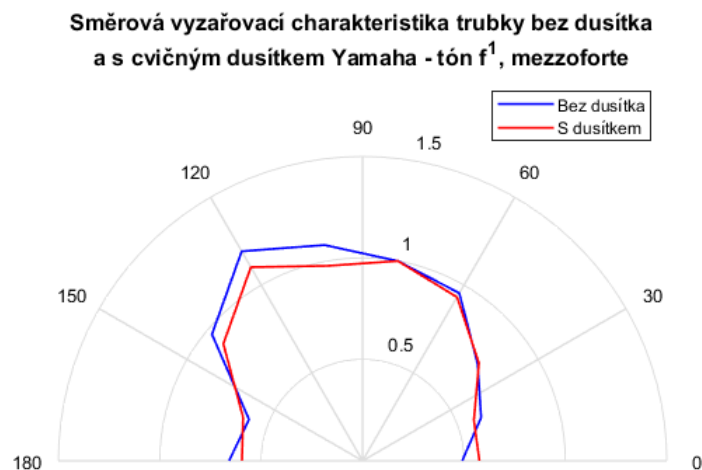
Graf 6.49: LPC trubky s cvičným dusítkem

Trubka s cvičným dusítkem Yamaha - tón a, forte			
S dusítkem			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1388	41,40	1156 - 1596
2.	2148	36,28	1880 - 2638
3.	3852	30,56	3492 - 4132
Bez dusítka			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	248	36,83	148 - 320
2.	1392	33,58	1336 - 1448
3.	3292	30,53	3072 - 3648
4.	5016	17,31	4776 - 5212
5.	6312	19,89	6132 - 6724
6.	8052	17,87	7916 - 8208

Tab. 6.26: LPC trubky s cvičným dusítkem

## Směrová vyzářovací charakteristika

V polárním grafu 6.49 lze vidět, že dusítko ovlivňuje směr vyzářování trubky pouze mírně, a to v místě 120°, tedy vlevo vpředu. Jinak zůstává směrovost trubky zcela stejná.



Graf 6.50: Směrová vyzářovací charakteristika trubky  
s cvičným dusítkem

## Shrnutí

Dusítko se používá jako cvičné, nikoli při koncertním výkonu, Pouze snad, pokud by chtěl autor dosáhnout extrémního ztišení, to totiž toto dusítko umí skvěle. Při poslechu byl slyšet doslova udušený tón, a to velmi potichu. Při FFT analýze byla odhalena jen hrstka harmonických, které dusítko velmi slabě propouští.

Jedná se sice o dusítko kónického tvaru z plastu, ovšem ve svém těle obsahuje elektroniku s mikrofonem pro cvičicí účely, tedy má mnohem složitější konstrukci. To dává vzniku většímu množství formantů, které příliš nesouvisí s tónem či tvarem dusítka.

Roztrub trubky byl zatlumen téměř dokonale rovnoměrně – směrovost trubky zůstává takřka stejná. Jemné posílení nastalo jen v místě 120° polárního grafu.

### 6.3.8 Wah dusítko *Humes&Berg New-Stone-Lined-Wah*

Princip a konstrukce dusítek typu wah byla popsána již v kapitole 6.2.6 při hodnocení trombonového dusítka. Podobně dusítko funguje i pro trubku, jen má uzpůsobený tvar dle roztrubu trubky – tedy užší a menší. I v této kapitole bude zhodnoceno dusítko ve dvou modifikacích, a to se zasunutým středem a bez středu.

## Spektrální analýza

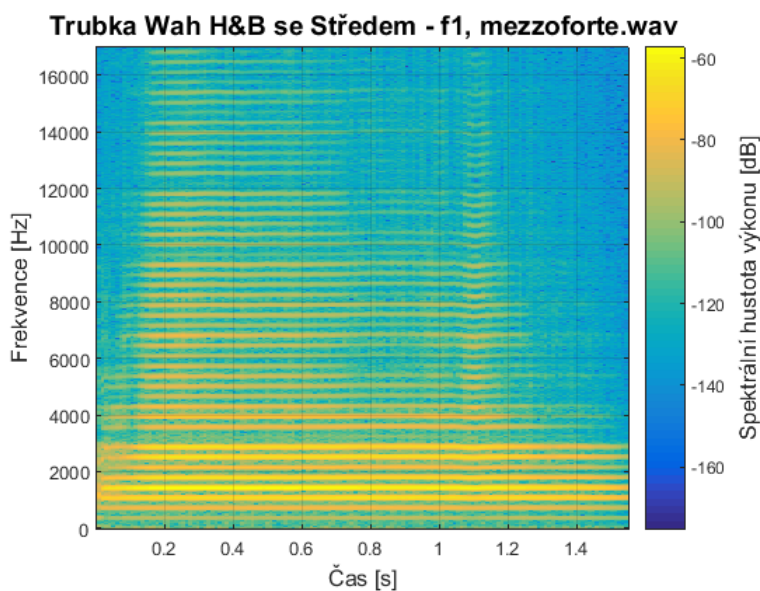
Tóny hrané s wah dusítkem se středem zní na poslech velmi prázdně. Jedná se o velmi zastřený, tenký, středový tón. Působí jako by byl bez spodních frekvencí. Pokud vysuneme střed, tyto spodní frekvence již slyšíme, zvuk je najednou plný, teplý a ostrý.

Spektrum tónu  $f^1$  s dusítkem se středem je velmi chudé, vidíme silnou oblast 970 – 1920 Hz a 2500 – 3000 Hz. Spektrum je slabé i ve vyšších frekvencích, ale není zcela utlumené,

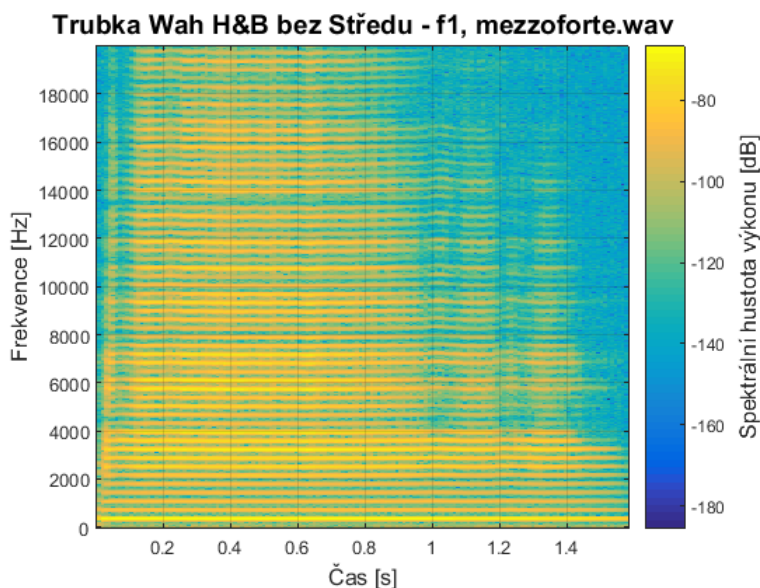
začíná se vytrácet až po 18 kHz. Mezi těmito vysokými kmitočty jsou pravidelně rozložena frekvenční pásma široká 200 Hz. Která jsou utlumena více – např. 5900 – 6100 Hz, 9800 – 10000 Hz.

Pokud střed vyndáme, dostane se najednou plného a silného spektra. Lze vidět, že je silné opravdu po celé šíři spektra, neslábne ani po 18 kHz. Ve spodních kmitočtech vidíme posílený fundament 375 Hz, pásmo 1 – 2 kHz je oslabené.

Při porovnání obou spektrogramu lze pozorovat, že v mnoha frekvencích se obě modifikace doplňují. Např. pásmo 1 – 2 kHz má dusítko se středem jako jediné silné, dusítko bez středu naopak jako jediné slabé. Další podobné doplnění nastává v pásmech 3000 – 3800 Hz, 5900 – 6100 Hz, kdy jsou tyto pásma u verze se středem potlačena, u verze bez středu naopak posílena. Obě verze dusítka ale mají společné posílení frekvence 2500 – 3000 Hz.



Graf 6.51: Spektrogram trubky s wah dusítkem



Graf 6.52: Spektrogram trubky s wah dusítkem bez středu

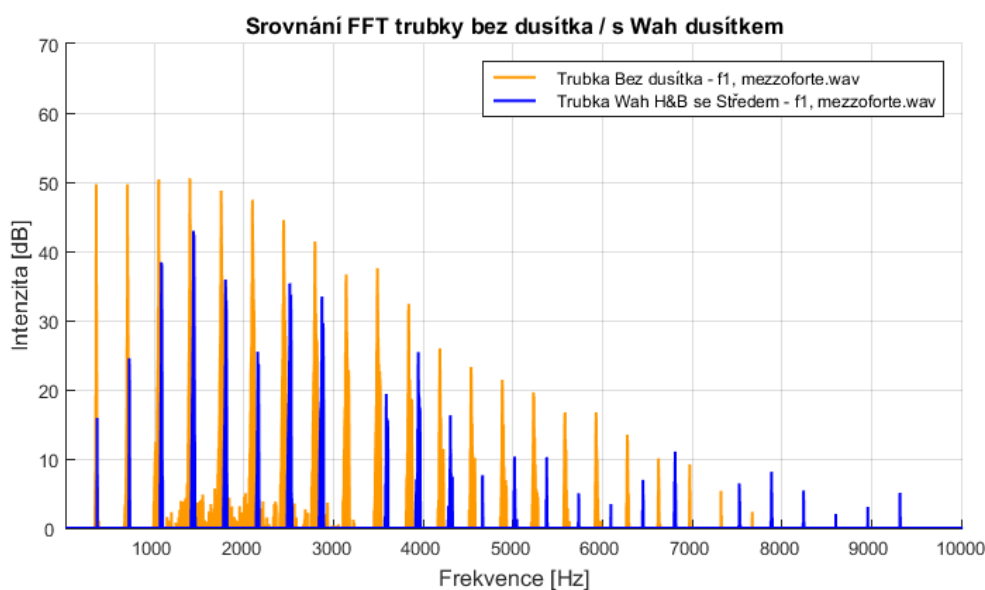


## FFT analýza

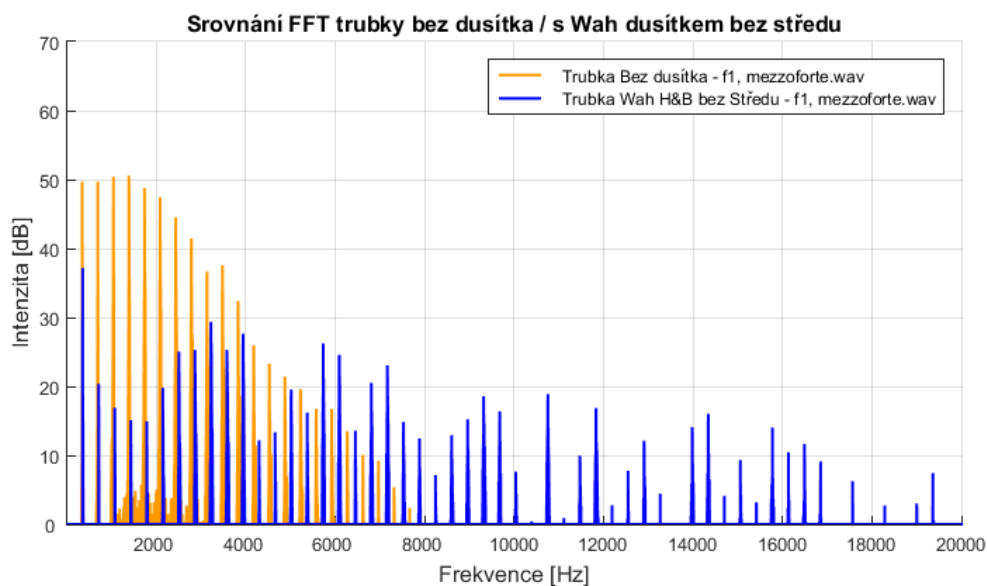
Při analýze vlivu klasického dusítka wah se středem na vyšší harmonické bylo zjištěno, že výrazně potlačuje 1., 2., 6., 9. a 10. harmonickou složku, 9. je navíc u dynamik *piano* a *mezzoforte* zcela utlumena. Jedná se o potlačení nosnosti, mohutnosti. Naopak 3. – 5. vyšší harmonická, nesoucí dutost a nazálnost, zůstávají poměrně silné. Více harmonických má vliv na jasnost tónu obecně. Zde je vidět, že část jasnosti potlačuje 6. harmonická, naopak jiný prvek jasu zůstává silný ve 4. harmonické.

Pokud z dusítka vyndáme jeho střed, vidíme, že tón má najednou velmi silný fundament, ale naopak slabé harmonické 2 – 6. Tón má sice velkou nosnost, ale není mohutný, dutý, ani příliš jasný. Dále lze vidět, že 9. a 10. složka, které dusítko se středem tlumilo, jsou zde poměrně silné, u dynamiky *piano* naopak posílené.

Obě verze dusítka tlumí podobně 6. – 8. vyšší harmonickou. Nehledě na pozici středu, tyto 3 harmonické jsou dusítkem ovlivněny stále. Konkrétní hodnoty útlumu nalezneme v tabulkách 6.27 a 6.28.



Graf 6.53: FFT trubky s wah dusítkem



Graf 6.54: FFT trubky s wah dusítkem bez středu

Trubka s Wah dusítkem - tón $f^1$						
Harmonická	Intenzita tónu $f^1$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $f^1$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	11,26	15,72	19,76	31,91	33,77	35,40
2.	21,75	24,36	31,55	18,74	25,15	23,88
3.	34,71	38,23	42,60	5,52	11,98	13,34
4.	37,77	42,76	48,91	0,38	7,61	7,15
5.	28,07	35,71	43,30	8,24	12,88	12,06
6.	17,63	25,29	34,11	14,55	21,98	22,54
7.	24,67	35,18	45,20	1,92	9,16	9,09
8.	20,04	33,27	44,72	-1,02	7,97	8,16
9.	-	-	7,65	9,10	36,47	43,56
10.	-	19,18	30,01	0,94	18,20	20,01

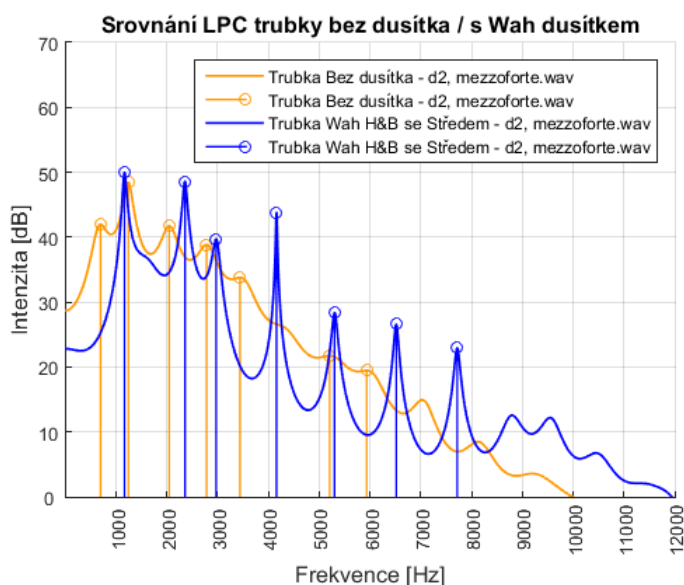
Tab. 6.27: FFT trubky s wah dusítkem

Trubka s Wah dusítkem bez středu - tón $f^1$						
Harmonická	Intenzita tónu $f^1$ [dB] (s dusítkem)			Rozdíl intenzit [dB] (tón $f^1$ bez dusítka - s dusítkem)		
	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>mf</i>	<i>f</i>
1.	34,07	36,99	39,98	9,10	12,50	15,18
2.	16,00	20,17	22,22	24,49	29,34	33,21
3.	13,14	16,69	23,29	27,09	33,52	32,65
4.	9,93	14,91	17,62	28,22	35,46	38,44
5.	10,72	14,73	16,09	25,59	33,86	39,27
6.	12,58	19,58	22,39	19,60	27,69	34,26
7.	16,00	24,85	30,57	10,59	19,49	23,72
8.	16,26	25,08	28,81	2,76	16,16	24,07
9.	20,83	29,14	33,79	-11,73	7,33	17,42
10.	12,95	25,09	27,81	-12,01	12,29	22,21

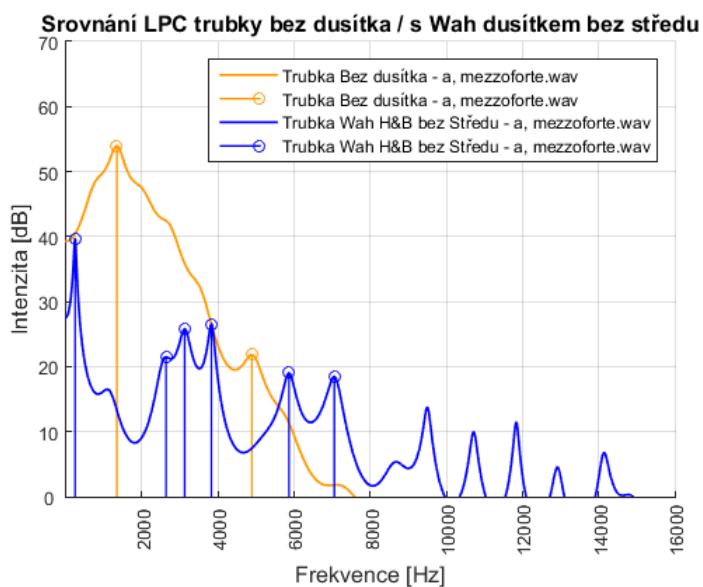
Tab. 6.28: FFT trubky s wah dusítkem bez středu

## LPC analýza

V grafu LPC 6.54 trubky s wah dusítkem se středem můžeme vidět, že dusítko vytváří 7 téměř pravidelných úzkých formantů. Pokud vyndáme střed, vidíme silný úzký formant v místě fundamentu a dále dalších 5 formantů rozdělených ve dvou rezonančních oblastech. Tabulky 6.29 a 6.30 zobrazují konkrétní frekvence, intenzity a šířky jednotlivých nalezených formantových oblastí.



Graf 6.55: LPC trubky s wah dusítkem



Graf 6.56: LPC trubky s wah dusítkem bez středu

Trubka s Wah dusítkem - tón d <sup>2</sup> , <i>mezzoforte</i>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	692	41,99	556 - 920
2.	1540	48,43	1144 - 1328
3.	2044	41,73	1840 - 2228
4.	2780	38,85	2456 - 3008
5.	3440	33,79	3276 - 3716
6.	5204	21,74	4976 - 5664
7.	5932	19,47	5664 - 6256
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1164	49,97	1128 - 1216
2.	2356	48,60	2308 - 2396
3.	2968	39,71	2884 - 3032
4.	4156	43,81	4144 - 4172
5.	5300	23,34	5248 - 5356
6.	6516	26,58	6468 - 6556
7.	7716	22,94	7660 - 7772

Tab. 6.29: LPC trubky s wah dusítkem

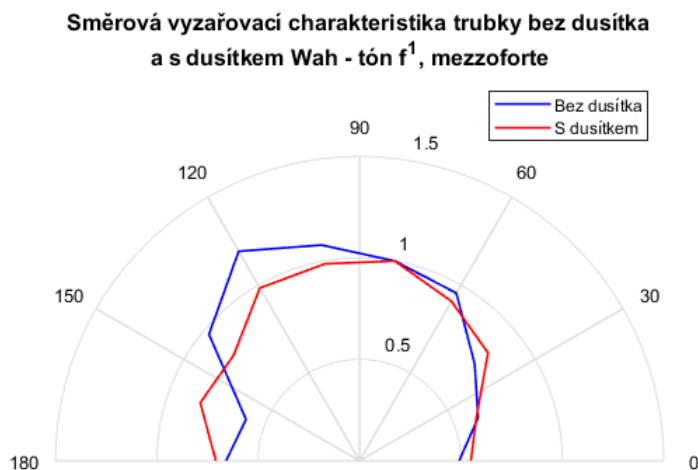
Trubka s Wah dusítkem bez středu - tón a, <i>mezzoforte</i>			
Bez dusítka			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1344	53,97	1092 - 1564
2.	4892	21,83	4440 - 5152
S dusítkem			
Formanty	Frevence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	248	39,67	212 - 280
2.	2636	21,50	2448 - 2872
3.	3128	26,82	3004 - 3244
4.	3828	26,56	3732 - 3904
5.	5868	19,01	5683 - 6036
6.	7056	18,46	6848 - 7216

Tab. 6.30: LPC trubky s wah dusítkem bez středu

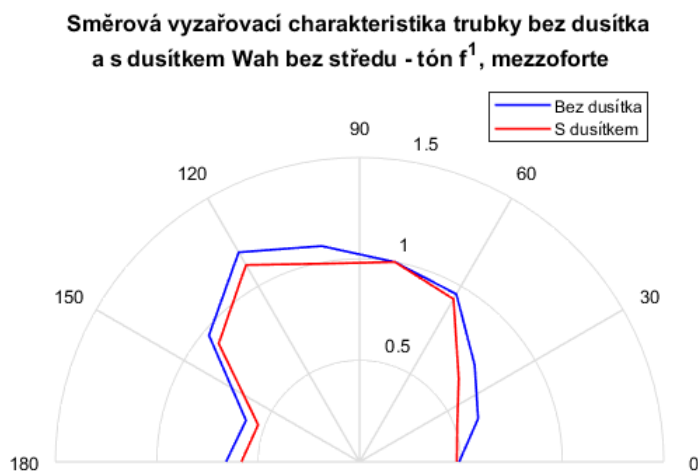
## Směrová vyzařovací charakteristika

V následujících polárních grafech vidíme vliv obou verzí dusítek na směr vyzařování nástroje. Dusítko se středem zesiluje směr doleva dopředu, tedy místo v úhlu 120°, zároveň potlačuje záření nástroje zcela vlevo, tj. 180°.

Dusítko bez středu lehce posiluje všechny směry vyzařování, nemá vliv na konkrétní směr.



Graf 6.57: Směrová vyzářovací charakteristika trubky s wah dusítkem



Graf 6.58: Směrová vyzářovací charakteristika trubky s wah dusítkem bez středu

## Shrnutí

Při analýze tohoto wah dusítka byl hodnocen jeho vliv na barvu trubky a také vliv středu dusítka. Byly měřeny varianty se zasunutým středem a bez středu. Bylo zjištěno, že ve spektru se tyto varianty vzájemně doplňují, podobně jako u trombonu. Dusítko jako takové posílilo frekvence 2500 – 3000 Hz.

Při FFT analýze bylo zjištěno, že dusítko se středu potlačuje fundament, 2., 6., 9. a 10. harmonickou složku. Pokud střed vysuneme, dusítko výrazně podpoří fundament a potlačí

2. – 6. vyšší harmonické. Obě verze potlačují podobně 6. – 8. harmonickou.

Dusítko zužuje roztrub trubky o několik centimetrů – to umožňuje propustit především vyšší frekvence. Navíc pokud je v dusítku zasunutý střed, ten zužuje roztrub ještě více, jedná se jen o 1-2 centimetry tlustou trubici. Ta nepropustí spodní frekvence, jak bylo vidět u spektrální analýzy.

Střed wah dusítka je tvaru kužele s malým kónickým vyústěním. Při LPC se středem v dusítku byl zaznamenán vliv kuželového tvaru – v tónu se objevilo větší množství úzkých formantů, čímž se přesně kuželový tvar vyznačuje. Při odebrání středu byl podpořen formant v místě fundamentu a dusítko, nyní jen pomocí konickém tvaru svého těla, vytvořilo další 2 rezonanční oblasti, přičemž v každé se nacházely 3 formanty.

Co se týče směrovosti nástroje, dusítko pouze posiluje levý přímý směr vyzařování trubky, pokud má střed. Bez středu žádný konkrétní směr neovlivňuje.

Pokud bychom chtěli volit jinou barvu nástroje, máme možnost střed dusítka vysunout jen částečně – více či méně. Toto konkrétní dusítko je konstrukčně možná příliš hranaté. Pokud bychom chtěli zvuk trubky změkčit, bylo by vhodné zvolit wah dusítko s kulatějším tvary.

## 7 Závěr

Rád bych zde ještě jednou naposledy shrnul, čím se tato práce vlastně zabývala.

Na počátku všeho bylo nahráno velké množství tónů trombonu a trubky s jednotlivými dusítky v různých polohách a dynamikách těchto nástrojů. Následoval výběr vhodných vzorků zastupujících jednotlivá dusítka v oblasti následné analýzy.

Pro všechna dusítka byla vytvořena jednotlivá hodnocení pomocí spektrogramů, grafů FFT a LPC spolu se srovnávacími tabulkami a pomocí grafů zobrazující směrovou vyzařovací charakteristiku nástroje.

Na základě těchto dílčích analýz bylo pro každé dusítko sepsané stručné shrnutí vystihující podstatu dusítka a jeho zásadní vlivy na barvu zvuku nástroje. Toto shrnutí obsahuje také odvození zjištěných analýz v souvislosti s tvarem použitého dusítka a návrh, jak dané dusítko upravit pro dosažení jiné, podobné, barvy zvuku.

Na závěr celé této práce bych rád pronesl osobní názor na několik vybraných dusítek, která mě základě tohoto hodnocení nejvíce zaujala.

Musím přiznat, že zcela opačný dojem, než jsem čekal, udělala velvet dusítka typu clamp značky *Humes&Berg*. Jak u trombonu, tak u trubky, se jednalo o velmi příjemný, jemný zvuk nástroje. U trombonu bych také rád vyzdvihl modifikaci wah dusítka s vyndaným středem. Opět se jednalo o originální, příjemně ostrý zvuk nástroje, u kterého bych si dokázal představit využití v mnoha stylech i skladbách. Jako poslední bych zde rád vyzdvihl dusítko typu cup, opět od značky *Humes&Berg*. Toto dusítko bylo v práci hodnoceno jak pro trombon, tak pro trubku, a v obou případech se jednalo o naprosto originální barvu nástrojů, které bych se nikdy nebránil použít.

V této práci byl popsán jen malý zlomek všech typů dusítek, jejich tvarů a barev. Na celém světě je velká řada jiných dusítek a pevně doufám, že se ještě mnoho nových druhů bude tvořit. Mé poslední sdělení je určeno především autorům a interpretům. Žádám Vás, abyste se s dusítky nebáli experimentovat, používali je, objevovali a tvořili pomocí nich nové možnosti a hranice v hudbě, protože jen tím dokážeme prohloubit jejich pravý potenciál.

## Použitá literatura

- [1] MODR, Antonín. *Hudební nástroje*. [1. vyd.]. Praha: Editio Bärenreiter, 2002. ISBN 978-80-86385-12-9.
- [2] SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2013. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 978-80-7331-297-8.
- [3] HRUŠKA, Viktor: *Profil nátrubkového nástroje z pohledu organologické systematiky založené na akustických vlastnostech*. Musical Acoustic Research Center, Music and Dance Faculty, Academy of Performing Arts.
- [4] GEIST, Bohumil. *Akustika: jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi*. Praha: Muzikus, c2005. ISBN 80-86253-31-7.
- [5] ZMÉKAL, Zdeněk. *Analýza signálů a soustav – BASS*. Elektronická skripta. Brno, 2012
- [6] WALACH, Jan. *Aplikace Fourierovy analýzy na rozpoznávání kvality samohlásek podle jejich formantů*. Olomouc, 2013, 46 s. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Fürst, Ph.D.
- [7] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. *MATLAB: tvorba uživatelských aplikací*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-730-0133-0.



## Seznam zkratek, použitých veličin a symbolů

WAW	Wave audio file format
LPC	lineární predikce
$f$	frekvence
$c$	rychlost zvuku
$l$	délka trubice
$p$	dynamika piano
$mf$	dynamika mezzoforte
$f$	dynamika forte
Hz	jednotka frekvence Hertz

# Seznam příloh

A      Obsah přiloženého CD

## **A      Obsah přiloženého CD**

CD obsahuje nastříhané vzorky všech naměřených tónů trombonu i trubky zahranych bez dusítka i s dusítkem, a to ve všech dynamikách. Jedná se pouze o vzorky z měřicího mikrofonu.