

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2022

Bc. Vojtěch Košář



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

PROGRAM SIMULUJÍCÍ DUSÍTKA ŽESŤOVÝCH NÁSTROJŮ

THE PROGRAM SIMULATING THE MUTES OF BRASS INSTRUMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Košar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

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

Student: Bc. Vojtěch Košář

ID: 203734

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Program simulující dusítka žesťových nástrojů

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nahrajte a proveďte analýzu spektra minimálně u dvou žesťových nástrojů, u každého minimálně se třemi dusítky. Vezměte v potaz různou dynamiku a rejstříky nástrojů. Nasamplujte celý chromatický rozsah těchto nástrojů, a to v různých dynamikách. Pro vytvoření virtuálního nástroje můžete využít některý již existující program, který pouze zaplníte vzorky. Porovnejte barvu vzorků s dusítky a bez dusítek. Analyzujte, kde a jak ve spektru vznikají formantová a antiformantová pásma. Dále vytvořte plně funkční program, zásuvný modul, který bude co nejvěrněji simulovat funkci dusítek. Pro napodobení dusítek můžete využít dynamické filtry, ale také moduly vytvářející neharmonicity, např. zkreslovače. Chod simulačního programu vyladte na vlastních nasamplovaných nástrojích, ale také minimálně na dvou virtuálních programech obsahujících kvalitní virtuální žestě s co nejvíce rejstříky artikulace a exprese. Součástí programu bude minimálně osm typických presetů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] 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
- [2] KOŠAŘ, Vojtěch. Analýza účinku dusítek na barvu pozounu a trubky, bakalářská práce, Brně: VUT FEKT 2020. <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/125884>

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 24.5.2022

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

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 diplomová práce se zabývá tvorbou programu simulujícího účinek dusítek na barvu zvuku trubky a trombonu. Simulace v prostředí Reaktor 6 je založená na analýze tohoto vlivu pomocí srovnání spekter a formantových oblastí získaného z prostředí MATLAB. Při analýze je také přihlíženo k ovlivnění vyšších harmonických složek tónů. V práci se dále zaměříme na teorii o trubce a trombonu, jejich stručnou historii, stavbu těla a princip vzniku tónu. V prostředí Reaktor 6 bude dále vytvořen sampler fungující jako virtuální nástroj pro trubku a trombon. V poslední části práce se budeme zabývat vytvářením simulačního programu, jeho strukturou a hodnocením.

Klíčová slova

FFT, formant, intenzita zvuku, LPC, frekvence, spektrogram, trombon, trubka, spektrum, dusítko, simulace

Abstract

This Master's thesis deals with the creation of a program that simulates an impact of sound mutes on the timbre of a trombone and a trumpet. The simulation in the Reaktor 6 environment is based on an analysis of this impact which compares the spectra and formant regions retrieved from the MATLAB environment. The analysis takes into account also the impact on harmonic overtones. Another part of this work is focusing on the theory of a trombone and a trumpet, their brief history, the parts they are consisting of and the principle of tone formation. In the Reaktor 6 environment there has been created also a sampler functioning as a virtual instrument for the trumpet and the trombone. The last part of the work deals with creating a simulation program with its structure and evaluation.

Keywords

FFT, formant, sound intensity, LPC, frequency, spectrogram, trombone, trumpet, spectrum, sound mute, simulation

Bibliografická citace

KOŠAŘ, Vojtěch. *Program simulující dusítka žesťových nástrojů*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141425>. Diplomová 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:	<i>Vojtěch Košar</i>
VUT ID studenta:	<i>203734</i>
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Program simulující dusítko žest'ových nástrojů</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího 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: 19. května 2022

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu MgA. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za odborné vedení a rady ke zpracování práce. Také bych rád poděkoval Jakobovi Váhalovi a Jakobovi Tvrzovi za zapůjčení dusítek a za ochotu a trpělivost při měření.

V Brně dne.....

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	4
1 Pojednání o nástrojích	5
1.1 Trubka	5
1.1.1 Historie.....	5
1.1.2 Stavba těla.....	5
1.2 Trombon	5
1.2.1 Historie.....	5
1.2.2 Stavba těla.....	6
1.3 Vznik tónu	6
1.4 Vliv roztrubu	7
2 Metody analýzy spektra	9
2.1 Akustické spektrum.....	9
2.2 Srovnání alikvotních tónů	10
2.3 Formantové oblasti	11
2.3.1 Lineární predikce	11
3 Měření	13
3.1 Technické informace	13
3.2 Požadavky na hráče	13
3.3 Použitá dusítka	14
3.3.1 Dusítka pro trubku	14
3.3.2 Dusítka pro trombon	16
4 Analýza spektra v prostředí MATLAB	17
4.1 Spektrogramy	17
4.2 Porovnání vyšších harmonických	17
4.3 Porovnání formantových oblastí	17
5 Vyhodnocení naměřených dat trubky	18
5.1 Spektrogramy trubky bez dusítka.....	18
5.2 Ostré dusítko	19
5.2.1 Spektrogramy	19
5.2.2 Porovnání vyšších harmonických	21

5.2.3	Porovnání formantových oblastí	22
5.3	Dusítko cup	23
5.3.1	Spektrogramy	23
5.3.2	Porovnání vyšších harmonických	25
5.3.3	Porovnání formantových oblastí	26
5.4	Wah dusítko.....	29
5.4.1	Spektrogramy	29
5.4.2	Porovnání vyšších harmonických	31
5.4.3	Porovnání formantových oblastí	32
6	Vyhodnocení naměřených dat trombonu	34
6.1	Spektrogramy trombonu bez dusítka.....	34
6.2	Ostré dusítko	35
6.2.1	Spektrogramy	35
6.2.2	Porovnání vyšších harmonických	37
6.2.3	Porovnání formantových oblastí	38
6.3	Dusítko cup	39
6.3.1	Spektrogramy	39
6.3.2	Porovnání vyšších harmonických	40
6.3.3	Porovnání formantových oblastí	41
6.4	Wah dusítko.....	43
6.4.1	Spektrogramy	43
6.4.2	Porovnání vyšších harmonických	45
6.4.3	Porovnání formantových oblastí	46
7	Simulace dusítek v prostředí Reaktor 6	48
7.1	Úvod do prostředí Reaktor 6	48
7.2	Tvorba virtuálního nástroje	48
7.3	Simulace dusítek	49
7.3.1	Použití simulátoru	50
7.3.2	Struktura programu	51
7.4	Zhodnocení kvality simulace	54
8	Závěr	56
	Použitá literatura	57

Seznam zkratek	58
Seznam příloh.....	59
A Přehled všech LPC trubky.....	60
A.1 LPC trubky s ostrým dusítkem.....	60
A.2 LPC trubky s dusítkem cup.....	61
A.3 LPC trubky s wah dusítkem	62
B Přehled všech LPC trombonu.....	63
B.1 LPC trombonu s ostrým dusítkem.....	63
B.2 LPC trombonu s dusítkem cup	64
B.3 LPC trombonu s wah dusítkem	65
C Manuály.....	66
C.1 Sampler – manuál.....	66
C.2 Simulátor dusítek – manuál.....	68
D Obsah přiloženého CD	70

Úvod

Tato práce se zabývá analýzou spektra tónů hranými s trumpetovými a trombonovými dusítky a následnou simulací těchto dusítek ve funkčním zásuvném modulu. Na základě znalostí z hudební akustiky se pokusí srovnat zvukové spektrum tónů měřených bez dusítka a s dusítky, srovná jejich harmonické složky a formantové oblasti. Poté se na základě těchto získaných informací pokusí vliv dusítka na nástroje simulovat a aplikovat na vytvořený virtuální nástroj a jiné virtuální nástroje.

V první kapitole bude pojednáno o žesťových nástrojích jako takových, jejich stručné historii, stavbě těla a o principu vzniku tónu, jaký žesť vyluzují. V druhé kapitole práce pojednává o zvukovém spektru jako takovém a objasňuje metody jeho analýzy, které jsou dále v práci využity k rozboru zvukového spektra naměřených tónů.

V páté a šesté kapitole probíhá spektrální analýza pomocí srovnání spektrogramů, vyšších harmonických složek a formantových oblastí v grafické i tabulkové podobě. Takto popsany vliv dusítek je dále využit v kapitole 7, kdy je nejdříve v prostředí Reaktor 6 vytvořen virtuální nástroj s námi nahranými vzorky trubky a trombonu a poté vytvořen zásuvný modul simulující vliv dusítek za využití získaných znalostí.

1 Pojednání o nástrojích

Trubka i trombon patří mezi žesťové dechové hudební nástroje. Tyto nástroje jsou obecně vyrobené z válcového plechu, většinou mosazného, ale i pakfongového či stříbrného a jejich tóny se vyluzují za použití takzvaného nátrubku. Tyto kovy jsou používány především pro jejich pružnost a utěsnění, které nejlépe vyhovují nárokům kladeným na varvu tónů a celkovou zvучnost. Název kategorie „žesťové“ původně pochází z ruského slova *žesť*, což znamená v překladu plech. [1]

1.1 Trubka

1.1.1 Historie

První, byť velmi primitivní podoby trubky se vyskytovaly již ve starověku. Můžeme se o tom dočíst např. ve Starém zákoně, kdy se trubek používalo především při náboženských obřadech a vojenství. Další podobné druhy trubek používali Egypťané, Řekové a Římané. Jednalo se o zvukem i tvarem odlišné nástroje. Na rozdíl od jiných hudebníků starých dob měli hráči na trubku lepší postavení a zvláštní výsady ve společnosti. [1]

V průběhu 17. století zaujímá trubka důležité místo v orchestru a stává se více a více používanou. Další nárůst její oblíbenosti nastal v 19. století, kdy byly vynalezeny ventily, zvané též strojivo. To dává trubce důležité místo i v moderním orchestru, kde se úspěšně pohybuje dodnes. [1]

1.1.2 Stavba těla

Původní tvar trubky byla rovná trubice zakončená kuželovitým rozšířením. Takový tvar byl totiž přirozeným tvarem dutých kostí a rohů, čehož lidé v době starověku využívali. V době, kdy se začaly žesťové nástroje vyrábět z moderních materiálů, dosahovala délka těla až několika metrů. Taková délka rovné trubice nebyla pohodlná a časem se ohýbáním zkrátila, až vznikla její dnešní podoba. [1]

Trubice takové podoby trubky v B ladění je dlouhá 1 m 30 cm bez přípojek, jednoduše vinutá a opatřená třemi ventily. *Jazzová trubky bývá o 2 cm delší. Nátrubek (viz kapitola 1.3) je zde o něco menší, než je nátrubek trombonu. Jasný a zvukově vydatný tón trubky ve spojení s ostatními žesťovými nástroji zní slavnostně a leskuplně. Rozsah trubky v B ladění je od fis po c³.*[1]

1.2 Trombon

1.2.1 Historie

Trombon, také známý jako pozoun, byl poprvé sestrojen již v 15. století za účelem rozvětvení trubkových nástrojů, zvětšení tvaru trubky a tím také dosáhnout hlubšího rozsahu těchto nástrojů. V 16. a 17. století byl trombonový sbor oblíbeným prvkem

chrámové hudby využívané např. na kůrech nebo chrámových věžích. Svým zvukem se podobal mužskému sboru.

Známe dva typy trombonu. Starší z nich je snižcový, čili tahový. Po vynalezení ventilů známe také trombon ventilový. [1]

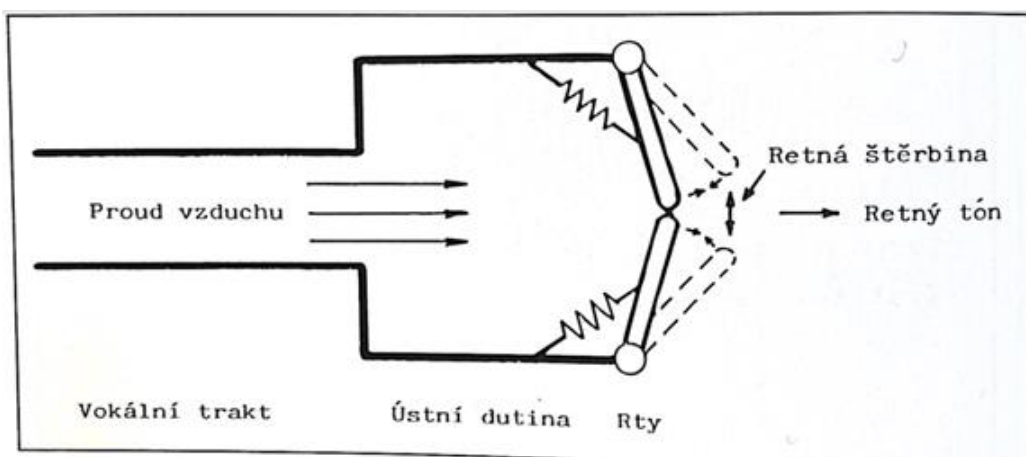
1.2.2 Stavba těla

Snižcový trombon je svým tvarem podobný písmenu S. Skládá se ze tří větších dílů, těmi jsou hlavní čili střední díl, táhlo zvané *snižec* ve tvaru protáhlého písmene U a z horního dílu, kuželovitě se rozšiřujícího v široký kalich. Obě trubice středního dílu jsou vsunuty do snižce. *Při hře hráč snižcem pohybuje blíže či dále od vrchního konce hlavního dílu, a tak prodlužuje či zkracuje délku nástroje. Tím získává sedm různých poloh, jejichž jednotlivé vzdálenosti odpovídají intervalu jednoho půltónu, takže je možno každý tón, vyjma nejhlubšího, šestkrát snížit, celkem tedy o zmenšenou kvintu. Na takovém 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 spodní straně snižce je tzv. *vodní klapka*, též nazývána jako „sifon“ k vypouštění vody, která se po dobu hraní hromadí jako sražená pára výdechového proudu vzduchu. Rozsah tenorového trombonu je od E do es^2 , rozsah ale není pevný. Trombonisté se pedálovými tóny dokážou dostat i níže a dle techniky a umu zahrát i vyšší tóny. Délka takého trombonu je 2 m 69 cm. Pro srovnání, např. basový trombon je o jeden celý metr delší. [1]

1.3 Vznik tónu

Všechny hudební nástroje hrají na základě jednotlivých elementů, těmi jsou běžně *oscilátor, excitátor, rezonátor a radiátor*. Někdy může jedna část těla nástroje plnit funkci více těchto elementů. U žesťových nástrojů je základním kmitajícím elementem, oscilátorem, dvojitý membranózní jazýček, který tvoří rty hráče. Podobně je tomu u hlasivek zpěváků. Excitátor v tomto případě tvoří proud vzduchu. Rty *schematicky* zobrazené na obrázku 1.1 vydávají *retný tón*, jehož frekvence je přímo úměrná napětí rtů a tlaku vzduchu v ústní dutině a nepřímou úměrnou délkou rtů vymezené velikostí a typem nátrubku. [2]



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

Hrou na nátrubek se tlakem v ústní dutině otevře štěrbina mezi rty a trubicí se šíří přetlak, který se poté vrací jako podtlak a synchronně zavírá mezeru. Na synchronizaci otvírání či uzavírání mezery má velký vliv tlak vzduchu resp. rychlost proudění vzduchu a tlumení jednoduchého či dvojitého jazýčku. [2]

Celý korpus nástroje tvoří rezonátor. Technicky se jedná o vzdušnou dutinu vyplněnou vzduchovým sloupcem vymezeným trubicí, zvukovodem, který má co nejvýraznější vlastnosti podmíněné existencí stojatého vlnění vzdušného sloupce. [2]

Trubka i další žesťové nástroje 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 trubici 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. [2]

1.4 Vliv roztrubu

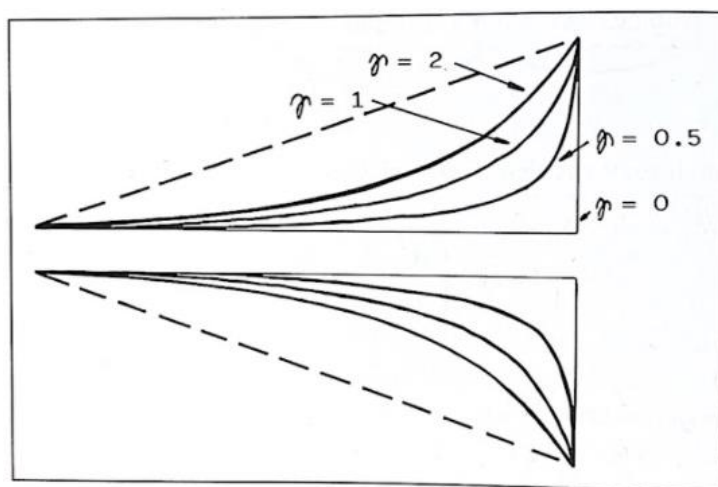
Zvukovod trubky i trombonu je zakončen rozšiřujícím se ústím, radiátorem neboli ozvučником. Jeden z jeho důvodů použití je potřeba dostatečného vyzářeného akustického výkonu. Dále má ozvučník vliv také na ladění přirozených tónů nástroje. Tvar ozvučníku se žádnou exaktně zadanou křivkou neztotožňuje, je označován za kónický. Jeho nejbližší

aproximací představují tzv. Besselovy zvukovody (obrázek 1.2), u kterých se průřez S resp. poloměr vrtání r mění podle vztahů:

$$S = \frac{B}{(x+x_0)^{2\gamma}} \quad r = \frac{b}{(x+x_0)^\gamma} \quad (1.2), (1.3)$$

kde B , b jsou konstanty zohledňující počáteční a koncový průměr zvukovodu, x_0 je počáteční souřadnice délky pro vrchol zvukovodu, x je proměnná souřadnice délky a γ je poměr rozšiřování zvukovodu, který nám ukazuje obrázek 1.2. [2]

Pro $\gamma = 0$ se jedná o válcový tvar zvukovodu, pro $\gamma = -1$ o tvar kuželový. Pro trubku jsou hodnoty γ v rozmezí $0,5 - 0,65$, $r \approx 0,5$ cm, $x_0 \approx 10$ cm. [2]



Obr. 1.2: Besselovy zvukovody [3]

Tato práce se bude zabývat také analýzou spektra zvuku způsobeného přidáním dusítek a ty mají různé tvary, které mění tvar roztrubu nástroje. Většina dusítek jsou kuželovitého nebo kónického tvaru. Z knihy V. Syrového [2] a z vlastní přecházející práce [4] je známo, že kuželovitý tvar tvoří více formantových oblastí (více o formantech v kapitole 2.2) a kónický podporuje širší úsek ve spektru.

O samotných roztrubech víme, že širší roztrub podporuje tvorbu nízkých frekvencí a dává vzniku hlubokým tónům. Nástroje jako je tuba, suzafon, které mají roztrub široký, dokáží zahrát velmi nízké tóny. Poměrně široký roztrub má také trombon. Úzký roztrub naopak nízké tóny nevytvoří a nízké frekvence ani nepropustí, čehož využívají dusítka také, jelikož většina dusítek roztrub zužuje. [4]

2 Metody analýzy spektra

2.1 Akustické spektrum

V této práci se také budeme soustředit, jak dané dusítko ovlivňuje spektrum tónů trubky, a budeme tyto změny pozorovat na základě různých metod.

Zvukové, nebo také akustické spektrum je dnes nejvyužívanější způsob popisu frekvenční struktury zvuku nebo analyzovaného tónu. [2]

Jedná se o spojité pásmo harmonických signálů, kdy každý takový signál má svůj kmitočet. Při analýze spektra mluvíme o *harmonické analýze*. Tj. operace, při které je periodický signál rozkládán na své dílčí složky, kterým říkáme *harmonické složky*, nebo také vyšší harmonické. Jejich kmitočet je dána celočíselným násobkem základního kmitočtu signálu. To znamená, že kmitočty jednotlivých harmonických složek signálu jsou $1 \times f_1, 2 \times f_1, 3 \times f_1, 4 \times f_1, \dots$ [7]

Pro účel zvukové analýzy nebo syntézy lze považovat tyto signály za periodické a lze je rozvinout pomocí tzv. *Fourierových řad* do tvaru

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t], \quad (2.1)$$

kde $k = 1, 2, 3, \dots$ je číslo harmonické složky o kmitočtu $k\omega$, a_0 je počáteční člen, a_k a b_k jsou reálná čísla, pro která platí, že:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad (2.2)$$

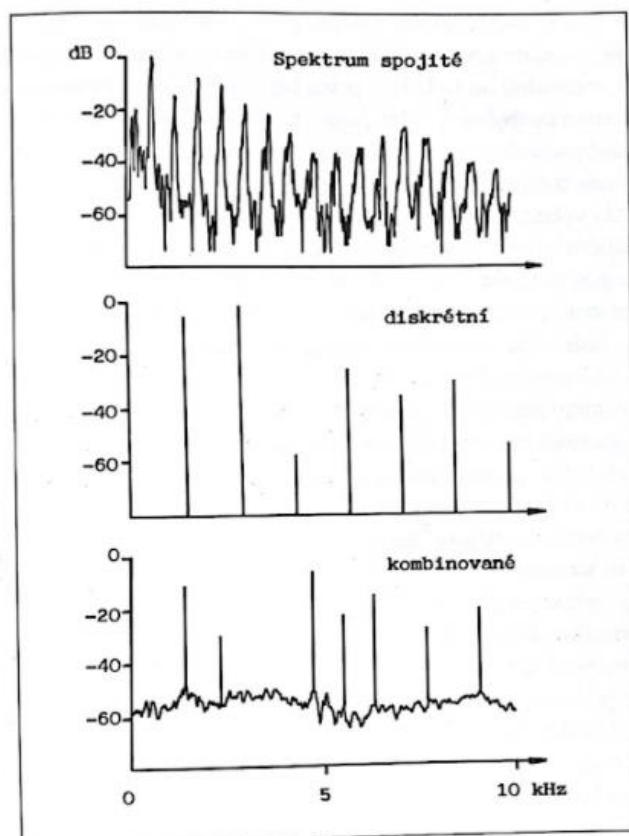
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt, \quad (2.3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt. [2] \quad (2.4)$$

Při harmonické analýze lze získat více druhů akustických spekter, těmi jsou:

- Čarové*, neboli diskrétní, obsahuje pouze jednotlivě oddělené složky kmitočtu zobrazené úsečkami vyjadřujícími rozsah intenzity.
- Spojité*, které nese podobu křivky spojující maxima rozkmitů. Takové spektrum je charakteristické pro šumy, hluky, apod.
- Smíšené*, což je spektrum spojené z obou předcházejících a jsou v něm výrazné intenzity příslušných kmitočtů. [6]

Jednotlivá spektra lze vidět na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Základní typy zvukových spekter [2]

Naměřené spektrum se zobrazuje ve specifických grafech. Jedná se o spektrografy, což je graf o dvou souřadnicích, amplitudy (hladiny zvuku) v dB a kmitočtu v Hz na horizontále. Při analýze spektra v této práci bude užito obdobného typu grafu, a to spektrogramu, což je stejně jako spektrograf závislost amplitudy na kmitočtu, ale zároveň i na času v sekundách. [6]

2.2 Srovnání alikvotních tónů

Kromě analýzy samotných spekter budeme v této práci také srovnávat vyšší harmonické, neboli alikvoty vybraných tónů. Nejdříve je třeba vysvětlit, jak tyto vyšší harmonické vlastně vznikají.

Hudební nástroj, jakožto těleso, nekmitá jen jako celek, ale také ve svých částech. Kmitání vzduchu v trubici nástroje (případně struně, bláně, apod.) probíhá také v polovině, třetině, čtvrtině, pětině atd., přičemž vznikají tzv. harmonické tóny. Pro trubku, kdy je trubice z jedné strany uzavřená, platí, že převládá tvorba lichých harmonických. Výsledkem jsou pak složené kmity, v nichž jsou zastoupeny vedle fundamentu (základního kmitočtu) i další vyšší harmonické. [6]

Tyto vyšší harmonické lze řadit do několika pásem. První pásmo se skládá z prvních 8 harmonických. Zde má každá svoji funkci: 1. nosnost, 2. mohutnost, 3. dutost, 4. jasnost, 5. nazálnost, 6. jasnost, 7. brysknost, 8. jasnost.

Dalších 8 složek, tedy 9. – 16., se řadí mezi harmonické shluky, další pásmo 17. – 32. vnímáme jako spojitá spektra a poslední pásmo 33. – 64. vnímáme jako neharmonický šum. [4]

Již vypsaných prvních 8 harmonických se především používá k popisu barvy zvuku. V průběhu práce a analýzy spektra dusítek bude o vlivu dusítka na barvu nástroje také velmi stručně zmíněno, a to srovnáno jak graficky, tak tabulkově. Více v kapitole 4.

V obecné rovině lze říci, že sudé vyšší harmonické barvu zvuku ztemňují, změkčují a způsobují, že tóny jsou barevně zastřenější, kdežto liché harmonické barvu zostřují, 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. [6]

2.3 Formantové oblasti

Formanty jsou oblasti, v kterých mají hudební nástroje nějaké kmitočty zdůrazněné, ovšem nezávisle na hraných tónech. Zabýval se jimi Hermann vonn Helmholtz, který objevil, že tvar akustického spektra hudebního nástroje se při hraní libovolných tónů nemění. Helmholtz pro tyto kmitočtové dominantní oblasti zvané formanty sepsal 4 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]

2.3.1 Lineární predikce

Formantové oblasti se v analýze spektra nalézají pomocí tzv. Lineární predikce, nebo jen zkráceně LPC – linear predictive coding. Při zpracování signálů, především v oblastech zpracování řeči, slouží tento druh analýzy k odhadu následujících vzorků signálu z předchozích vzorků. Lineární predikci můžeme matematicky popsat následující rovnicí:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k), \quad (2.5)$$

kde $s(n)$ je odhad n -tého členu, který je nalezen jako lineární kombinace p předchozích členů, neboli také jinak řád prediktoru a a_k jsou predikční koeficienty, pomocí nichž lze určit charakteristiky periodického signálu. [8]

3 Měření

3.1 Technické informace

Dostáváme se k aktivní části práce. Pro budoucí účely, jako je analýza tónů a simulace dusítek, bylo nutné nejdříve nahrát vzorky, tedy tóny trubky a trombonu bez dusítka a poté i s jednotlivými dusítky.

Měření proběhlo v prostředí domácího nahrávacího studia v Kralovicích, kde bylo využito malých matrací, dek, paravánů a akustických prvků na stěnách pro dosažení co nejmenšího dozvuku místnosti. Pro nahrání nástrojů byl použit referenční mikrofon Sonarworks XREF20 s všesměrovou charakteristikou umístěný 0,5 metru od roztrubu ve směru vyzařování nástrojů. Signál z mikrofonu směřoval do zvukové karty Focusrite Liquid Saphire Pro 56 při nastavené vzorkovací frekvenci 48 kHz a bitové hloubce 24 bitů. Ze zvukové karty byl signál zpracován v PC pomocí software Cubase 8, kde později proběhla selekce a střih nahraných vzorků, které byly za stejné vzorkovací frekvence i bitové hloubky exportovány ve formátu wav v připraveném stavu pro pozdější zpracování.

3.2 Požadavky na hráče

S trumpetistou Jakubem Váhalou a trombonistou Jakubem Tvrzem proběhlo nejdříve nahrání všech tónů celého rozsahu nástrojů ve 3 dynamikách, a to od znějícího e až po b^2 pro trubku, od F po f^1 pro trombon.

Poté proběhlo nahrávání s jednotlivými dusítky. Jelikož program simulace, ke kterému práce spěje, využívá závislost nejen na dynamice, ale místy i na výšce tónu, je potřeba u každého dusítka tuto možnou závislost u všech dusítek prozkoumat. Za tímto účelem bylo vybráno u obou nástrojů 5 tónů v různých rejstříkách a ty byly zahrány opět ve 3 dynamikách. Pro trubku se jedná se o znějící tóny g , c^1 , dis^1 , g^1 a c^2 , viz obrázek 3.1 znázorňující tyto tóny v notové osnově. Pro trombon jsou to tóny F , c , f , c^1 a f^1 , viz obrázek 3.2.



Obr. 3.1: Měřené tóny trubky s dusítky (znějící)



Obr. 3.2: Měřené tóny trombonu s dusítky (znějící)

Jakubům byl kladen důraz na dodržování stejného držení nástroje za pomoci značky a dodržování stejné úrovně intenzity pro jednotlivé dynamiky. Zároveň bylo třeba nasadit tón ihned a čistě a držet ho ustáleně po dobu několika sekund. Celé nahrávání probíhalo bez komplikací a zabralo zhruba 4 hodiny času.



Obr. 3.3: Prostředí pro měření; Jakub Váhala

3.3 Použitá dusítka

3.3.1 Dusítka pro trubku

Ostré *Dennis Wick Straight 5504*

- tvar: kónický
- materiál: hliník
- délka: 15,5 cm



Obr. 3.4: Ostré dusítko *Dennis Wick Straight 5504*

Cup *Denis Wick adjustable cup 5531*

- tvar: kónický
- materiál: hliník
- délka: 19 cm
- šířka cup: 11,4 cm



Obr. 3.5: Cup dusítko *Denis Wick adjustable cup 5531*

Wah dusítko (bez výrobce)

- tvar: kónický
- materiál hliník
- délka: 16 cm
- šířka: 10 cm



Obr. 3.6: Wah dusítko

3.3.2 Dusítka pro trombon

Ostré *Denis Wick Straight 5505*

- tvar: kónický
- materiál: hliník
- délka: 29 cm



Obr. 3.7: Ostré dusítko *Denis Wick Straight 5005*

Cup *Denis Wick 5529*

- tvar: kónický
- materiál: hliník
- délka: 30,7 cm
- šířka: 18,3 cm



Obr. 3.8: Cup dusítko *Denis Wick 5529*

Wah *Denis Wick 5507*

- tvar: kónický
- materiál: hliník
- délka: 21 cm
- šířka: 17 cm



Obr. 3.9: Wah dusítko *Denis Wick 5507*

4 Analýza spektra v prostředí MATLAB

Po nahrání a zpracování vzorků trubky a trombonu bylo využito prostředí MATLAB, které je schopno využít potřebné funkce a ze zvukových vzorků vytvořit grafické závislosti, z nichž lze exportovat i konkrétní hodnoty do souboru Microsoft Excel pro tvorbu tabulek. [9]

V programu MATLAB je implementováno velké množství užitečných funkcí, z nich několik bylo využito k následující analýze.

4.1 Spektrogramy

Jak bylo vysvětleno v kapitole 2.1, spektrogram slouží k zobrazení zvukového spektra v časovém průběhu. V programu MATLAB k tomu slouží již implementovaná funkce *spectrogram*, která využívá krátkodobou Fourierovu transformaci STFT. Budou zde zobrazeny a stručně popsány rozdíly vlivu dusítka na jednotlivé dynamiky za účelem pozdější simulace dusítek. Pro všechny dynamiky byl zvolen jeden referenční tón.

4.2 Porovnání vyšších harmonických

Dalším bodem jen stručná analýza vlivu dusítka na tóny z hlediska potlačení či posílení jejich harmonických složek. Takové srovnání je běžně provedeno pomocí rychlé Fourierovy transformace, známé jako FFT. V prostředí MATLAB nám k tomu pomůže funkce *fft*, která je zde již implementována. Do programu načteme dva zvukové vzorky, je proveden výpočet jejich FFT a pro lepší srovnání jsou obě závislosti vloženy do jednoho grafu. Jedná se o závislosti kmitočtu v Hz na intenzitě jednotlivých harmonických složek. Tyto hodnoty lze také přímo z MATLAB exportovat do tabulek Microsoft Excel.

Tímto způsobem si ukážeme pro každé z použitých dusítek jedno srovnání prvních deseti vyšších harmonických na stejném referenčním tónu v dynamice *mezzoforte* v grafické i tabulkové podobě.

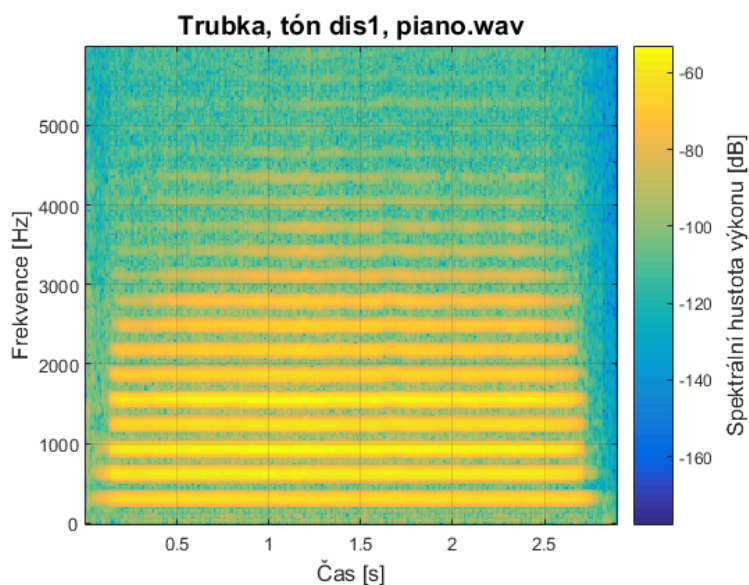
4.3 Porovnání formantových oblastí

Další důležitou metodou analýzy spektra pro tuto práci je srovnání formantových oblastí hudebního nástroje. Tato metoda funguje na základě lineární predikce, která byla již popsána v kapitole 2.3.1. V prostředí MATLAB ke stejné analýze slouží funkce *lpc* a dále jsou podobně jako u FFT u vyšších harmonických v jedné závislosti srovnány dva tóny – bez dusítka a s dusítkem. Hodnoty z grafu jsou opět exportovány do tabulky, kde vidíme přesný střed formantu, jeho kmitočet a jeho šířku. Srovnání formantových oblastí bude popsáno graficky i tabulkově na jednom příkladu. Tato analýza je pro nás důležitá, jelikož ze získaných formantových oblastí bude později zkoumán vliv dusítek na změnu středního kmitočtu formantů v závislosti na změně výšky tónu. Tento průzkum ale zkoumá všechny měřené tóny, proto byly grafy LPC vytvořeny i na ostatní tóny. Kompletní vyobrazení formantových oblastí pro všechny měřené tóny lze vidět v přílohách A, B.

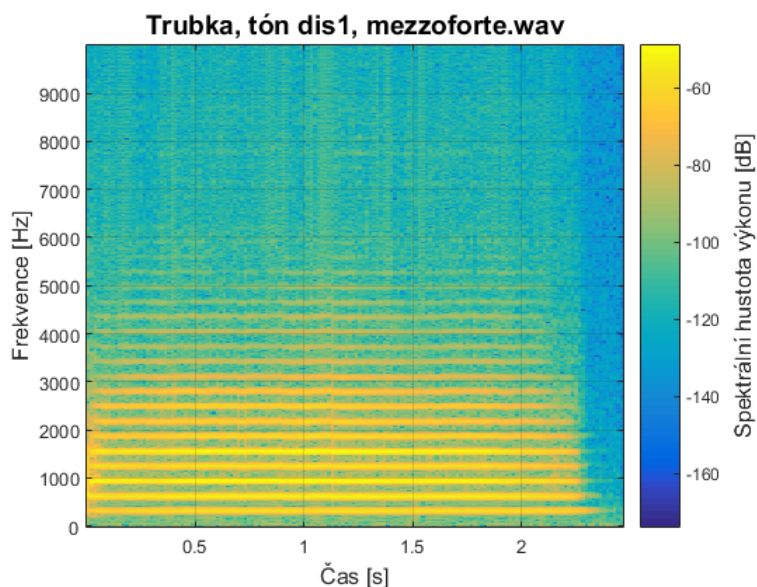
5 Vyhodnocení naměřených dat trubky

V této kapitole budou zhodnoceny výsledky analýz v prostředí MATLAB po použití metod popsanych v předchozí kapitole. Hodnocení bude probíhat pro jednotlivá dusítka postupně. U hodnocení spektrogramů budou k dispozici nejdříve spektrogramy tónů trubky bez dusítka, u FFT a LPC je dané srovnání provedeno přímo v grafech.

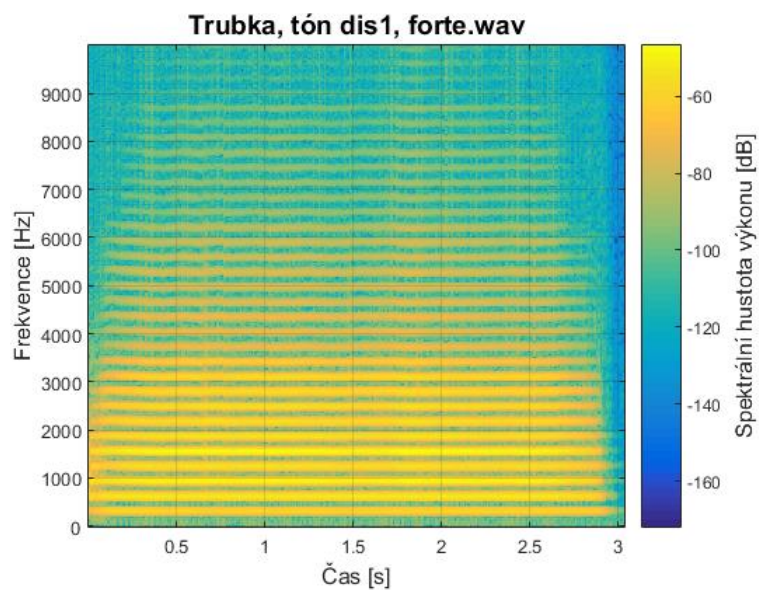
5.1 Spektrogramy trubky bez dusítka



Graf 5.1: Spektrogram trubky bez dusítka, *piano*



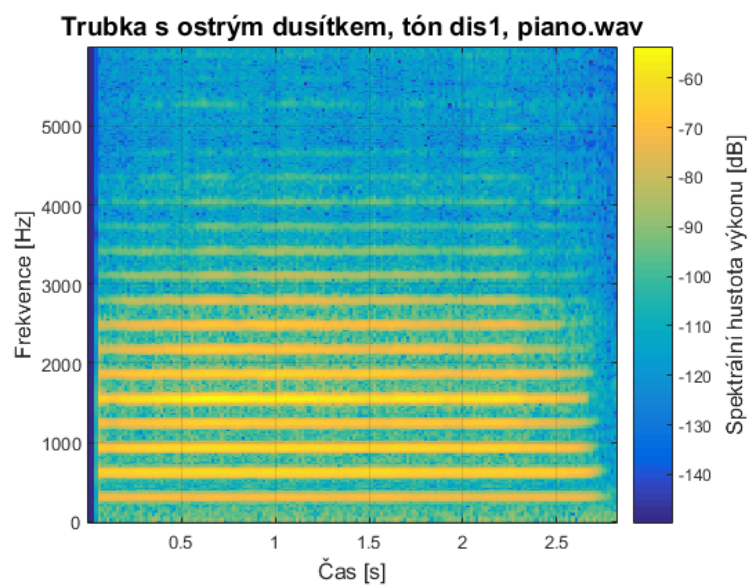
Graf 5.2: Spektrogram trubky bez dusítka, *mezzoforte*



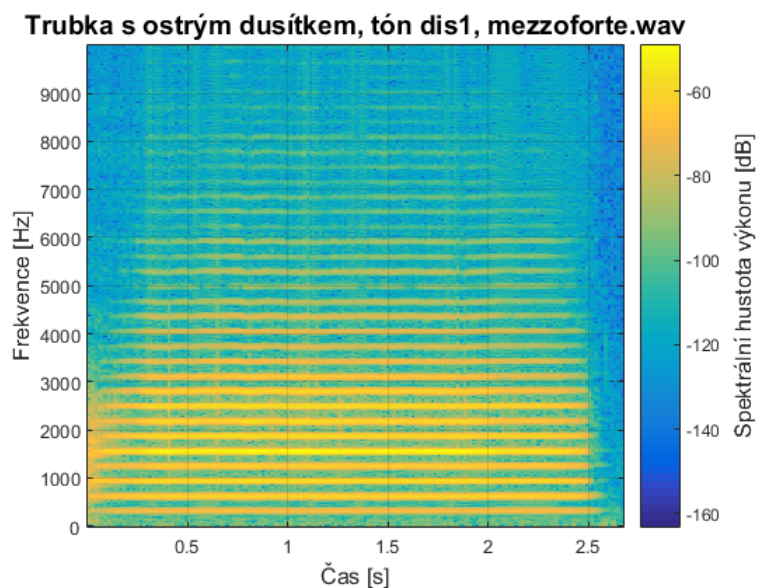
Graf 5.3: Spektrogram trubky bez dusítka, *forte*

5.2 Ostré dusítko

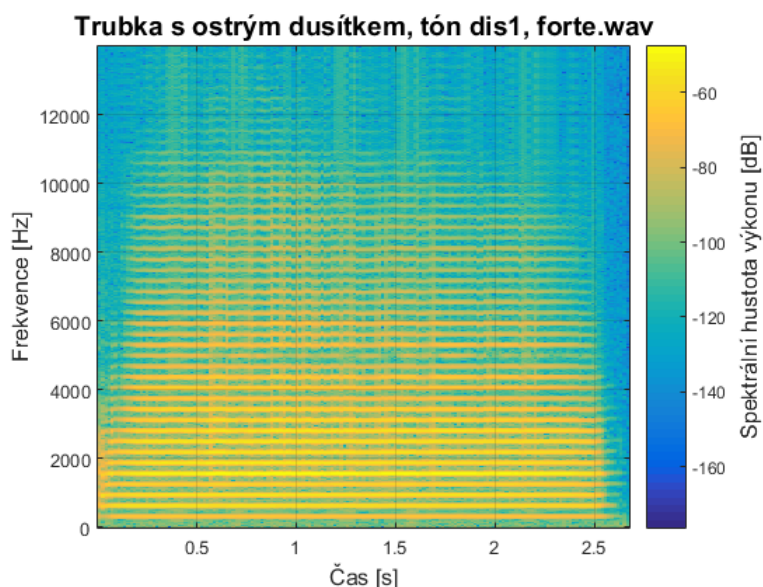
5.2.1 Spektrogramy



Graf 5.4: Spektrogram trubky s ostrým dusítkem, *piano*



Graf 5.5: Spektrogram trubky s ostrým dusítkem, *mezzoforte*



Graf 5.6: Spektrogram trubky s ostrým dusítkem, *forte*

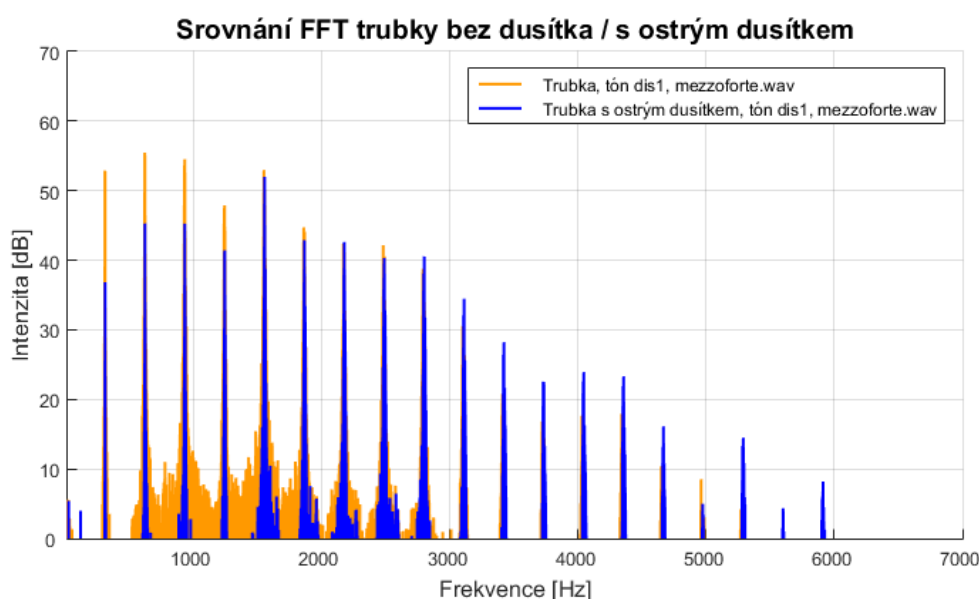
Při srovnání spektrogramů 5.1 a 5.4 lze pozorovat, že ostré dusítko v nízké dynamice výrazně potlačuje pásmo nízkých kmitočtů do 1450 Hz. Tento zásadní vliv je způsoben tím, že dusítko zužuje roztrub nástroje a jak již bylo řečeno v kapitole 1.4, užší roztruby nepodporují nízké kmitočty. Od této hodnoty sice spektrum tónu také tlumí, ale jen minimálně. Zároveň lze vidět, že celé „pozadí“ spektra je s dusítkem mnohem slabší. Je to proto, že při hraní bez dusítka je šum proudícího dechu. To způsobuje „žluté pozadí“ v grafu 5.1. U hry s dusítkem je tento šum slyšitelně zeslaben, jelikož dusítko je duté a nepropouští vzduch ihned přímo na mikrofon.

Při analýze spektrogramů 5.2 a 5.5 vidíme, že stejně jako u slabé dynamiky tlumí ostré dusítko spodní kmitočty do 1650 Hz. Dále je znát opět jisté odšumění vzduchu

a novinkou jde zde jen mírné posílení pásma 5300 – 6000 Hz, což může naznačovat vytvoření nové formantové oblasti, ale o tom se přesvědčíme až později při LPC analýze.

V grafu 5.6 lze vidět, že dusítko ovlivňuje silně zahraný tón velmi podobně jako u *mezzoforte*, ovšem nastal zde zásadní rozdíl, a to, že při kmitočtech 5 – 6 kHz, kde tón bez dusítka ztrácí na intenzitě harmonických, naopak tón zahraný s dusítkem spektrum velmi zesiluje, a to ve velmi širokém pásmu 5200 – 11 000 kHz. Jedná o obecnou vlastnost kónického tvaru dusítek, která se u slabších dynamik projevila jen slabě. Důležité je říci, že se nejedná o zkreslení a tvorbu nových harmonických, tón bez dusítka sice okolo 5 – 6 kHz ve spektru slábne, ale jeho harmonické jsou stále znatelné i do 10 kHz. Dusítko je tedy pouze posiluje.

5.2.2 Porovnání vyšších harmonických



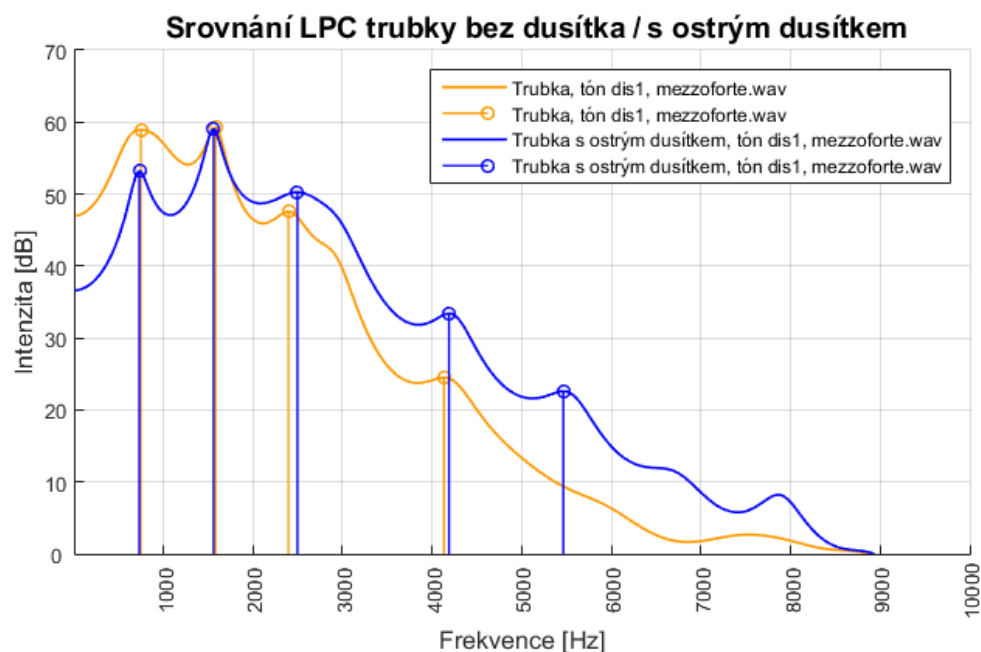
Graf 5.7: FFT trubky s ostrým dusítkem

Srovnání intenzit harmonických složek pro tón dis ¹ , <i>mezzoforte</i>					
	Bez dusítka		S ostrým dusítkem		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
Harmonická	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	310	51,41	311	36,84	14,57
2.	621	54,92	622	45,28	9,64
3.	930	52,66	933	45,25	7,41
4.	1244	47,93	1244	41,42	6,51
5.	1550	51,63	1555	51,98	-0,35
6.	1860	44,36	1866	42,89	1,47
7.	2171	41,9	2177	42,62	-0,72
8.	2481	41,39	2490	40,33	1,06
9.	2791	38,31	2801	40,11	-1,8
10.	3101	30,08	3112	34,48	-4,4

Tab. 5.1: FFT trubky s ostrým dusítkem

V grafu 5.7 jsou zobrazené jednotlivé alikvoty pro tón hraný bez dusítka i s dusítkem. Pro srovnání těchto dvou tónů jsou hodnoty pro prvních 10 harmonických vypsány v tabulce 5.1. Z ní je jasné, že dusítko silně potlačuje fundament, tedy první harmonickou, o 14,57 dB, což ubírá tónu jeho nosnost. Dále potlačuje i 2. – 4. harmonickou, čemuž odpovídá potlačení frekvenčního pásma do 1450 Hz zjištěné u spektrogramů. Tím je tón tedy méně mohutný, tupý, zastřenější.

5.2.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 5.8: LPC trubky s ostrým dusítkem, *mezzoforte*

Trubka s ostrým dusítkem - tón dis ¹ , <i>mezzoforte</i>			
	Bez dusítka		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	748	58,95	524 - 1076
2.	1580	59,26	1452 - 1672
3.	2396	47,57	2104 - 2636
4.	4132	24,5	3824 - 4416
	S dusítkem		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	732	53,17	640 - 852
2.	1560	59,03	1472 - 1652
3.	2496	50,28	2088 - 2908
4.	4188	33,4	3856 - 4408
5.	5464	22,6	5120 - 5728

Tab. 5.2: LPC trubky s ostrým dusítkem, *mezzoforte*

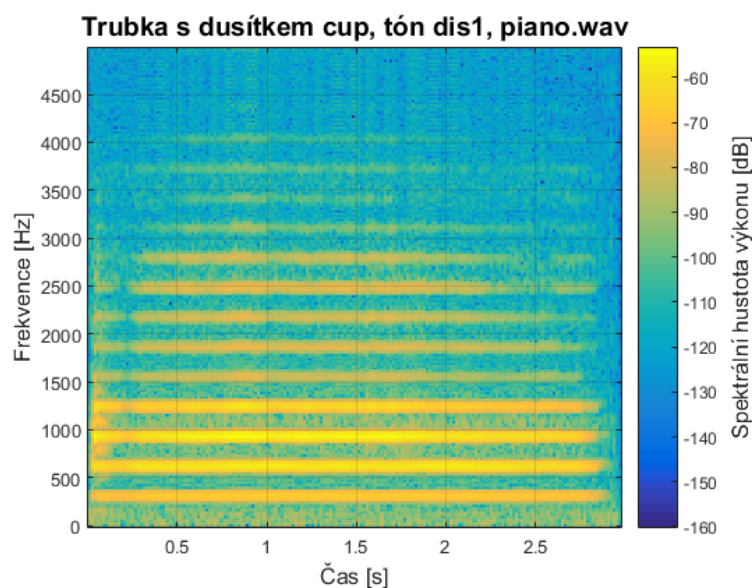
V grafu 5.8 lze vidět ukázkou lineární predikce pro tón dis^1 v dynamice *mezzoforte*. V tabulce 5.2 je tato závislost popsána podrobně z hlediska kmitočtu formantů a dále také jejich intenzity a šířky.

Při slabé dynamice nebyly formantové oblasti nijak ovlivněny. Ale od zvýšení intenzity hraní s větší dynamikou už lze pozorovat větší změny formantových oblastí. První formant na kmitočtu 748 Hz potlačen o necelých 6 dB. Druhý formant zůstává stejný, ale 3. a 4. jsou dusítkem již posíleny, 3. formant o 3 dB a 4, dokonce o 14 dB. Dále můžeme vidět, že dusítko vytvořilo navíc i další, pátý formant na kmitočtu 5464 Hz s intenzitou 22,6 dB. To odpovídá odhadu v kapitole 5.2.1, kdy nastalo podezření na novou formantovou oblast již při srovnání spektrogramu. Dusítko v silné dynamice ještě vytváří 3 další nové formantové oblasti v rozsahu kmitočtů 5800 – 8000 Hz.

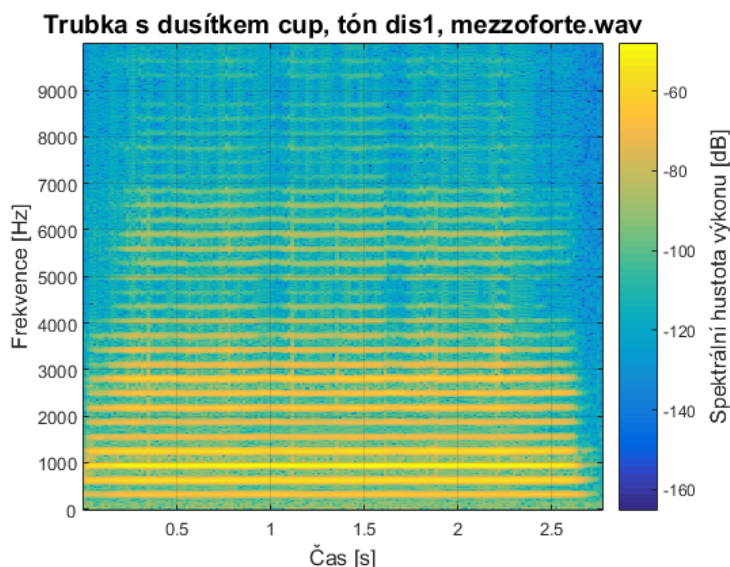
V příloze A.1 lze dále vidět přehled kompletního vyobrazení LPC pro všechny tóny ve všech dynamikách. Lze můžeme pozorovat, že ostré dusítko nijak neovlivňuje pohyb středního kmitočtu formantů nástroje v závislosti na výšce tónů, jak bylo původně očekáváno.

5.3 Dusítko cup

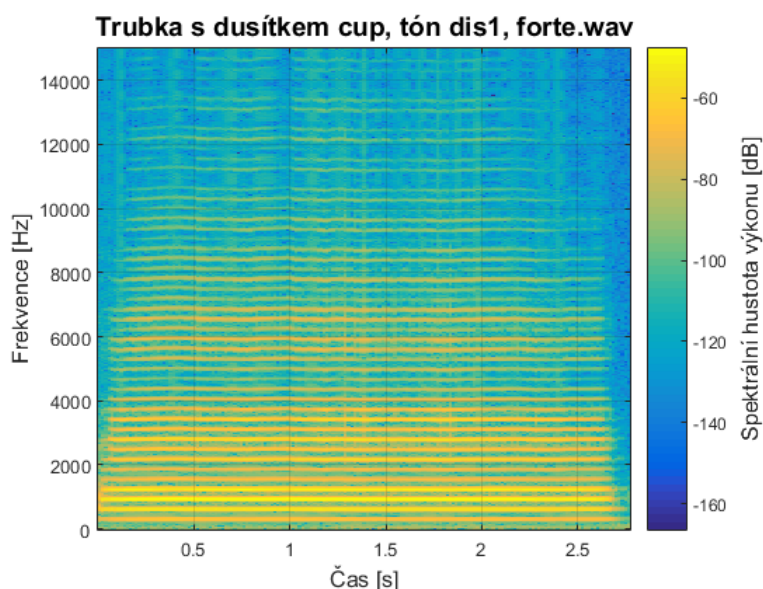
5.3.1 Spektrogramy



Graf 5.9: Spektrogram trubky s dusítkem cup, *piano*



Graf 5.10: Spektrogram trubky s dusítkem cup, *mezzoforte*



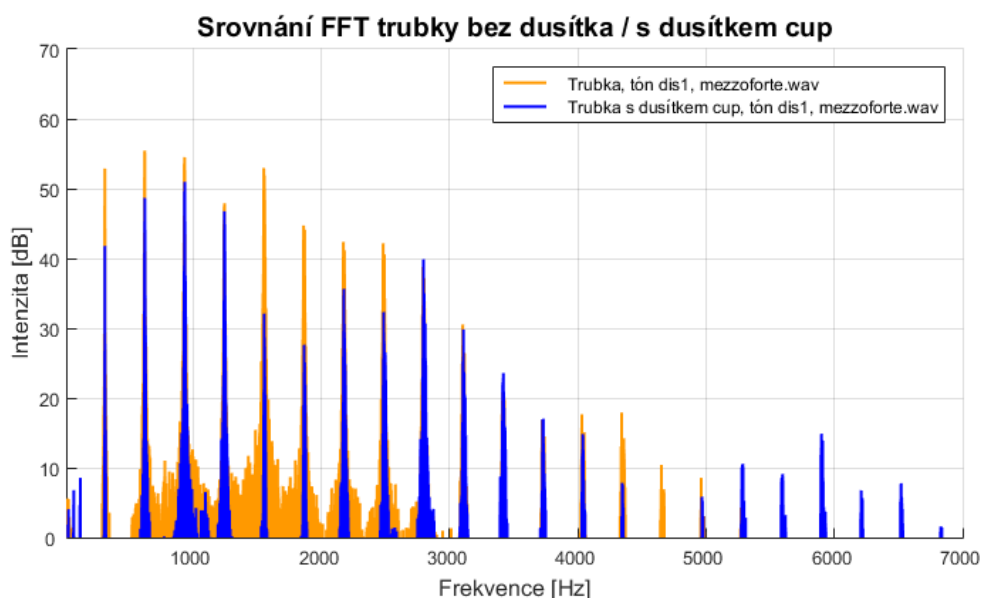
Graf 5.11: Spektrogram trubky s dusítkem cup, *forte*

Spektrum tónu zahraného s dusítkem typu cup vidíme v grafech 5.9 – 5.11. U dynamiky *piano* lze na první pohled jasně říci, že řeší problém šumícího vzduchu stejně, jako u ostrého dusítka. Dále vidíme opět potlačení spodních kmitočtů, ovšem jen do 650 Hz. To způsobuje zúžení roztrubu trubky. Na rozdíl od ostrého dusítka ovšem dusítko cup od kmitočtu 1260 poměrně silně tlumí i další vyšší kmitočty, a to především pásmo 1200 – 2300 Hz. Dále téměř úplně potlačuje všechny vyšší harmonické znějící od 4000 Hz výše.

Při silnějších dynamikách *mezzoforte* a *forte* lze vidět podobný případ, kdy jsou nízké kmitočty opět potlačené obdobně jako dynamiky *piano*, až do 650 Hz a zároveň zde lze pozorovat obdobné potlačení pásma 1200 – 2300 Hz. Další důležité velmi silné potlačení můžeme vidět v pásmu 4300 – 5000 Hz. V následujících kmitočtech 5000 – 7000 Hz naopak přichází posílení výkonu. Mohlo by se jednat o novou formantovou oblast.

V poslední řadě lze vidět ve vysokých kmitočtech 7,8 – 10 kHz mírná zkreslení a vytvoření dalších harmonických. Pro dynamiku *forte* navíc dusítko cup posiluje spektrum i dále ve vysokých kmitočtech. Jedná se o úzká pásma okolo 10, 12 a 13 kHz. Může se jednat o drobné zkreslení dusítkem, pokud by taková periodická zkreslení způsobily také utvoření nových formantových oblastí, byly jen velmi malé.

5.3.2 Porovnání vyšších harmonických



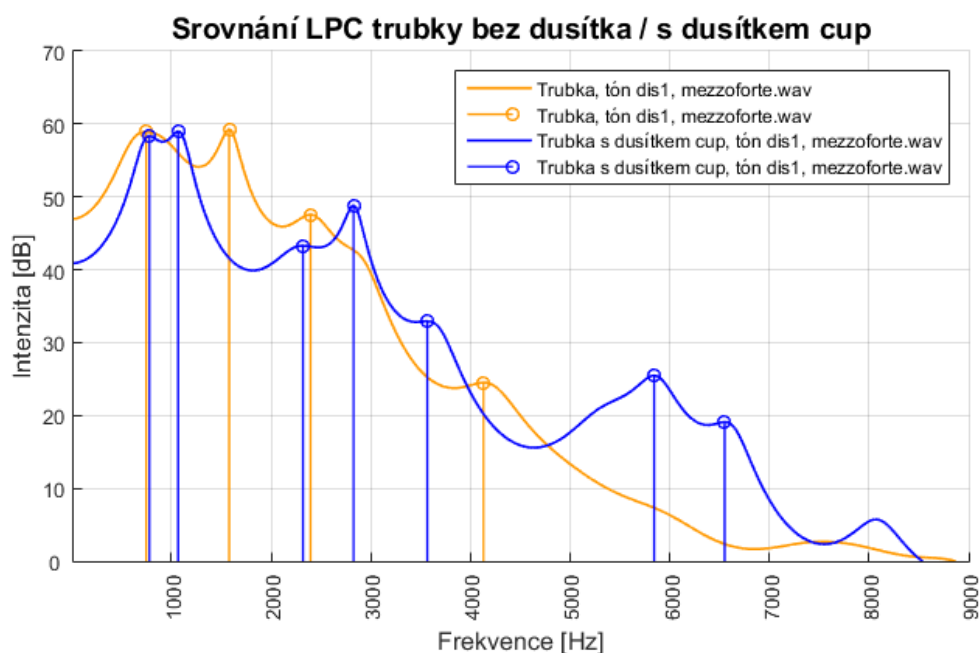
Graf 5.12: FFT trubky s dusítkem cup

Tentokrát můžeme z tabulky 5.3 pozorovat, že ostré dusítko mírně potlačuje nosnost a mohutnost tónu, ale velmi výrazně potlačuje 5. a 6. harmonickou, a to téměř o 20 dB, což tónu prakticky odebírá celou jeho nazálnost a jas. Dále lze pozorovat i potlačení 8. a 9. vyšší harmonické, které tónu ubírají jasnost ještě více.

Srovnání intenzit harmonických složek pro tón dis ¹ , mezzoforte					
Harmonická	Bez dusítka		S dusítkem cup		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	310	51,41	311	41,78	9,63
2.	621	54,92	622	48,67	6,25
3.	930	52,66	934	50,97	1,69
4.	1244	47,93	1242	44,96	2,97
5.	1550	51,63	1553	32,09	19,54
6.	1860	44,36	1864	27,63	16,73
7.	2171	41,9	2175	35,63	6,27
8.	2481	41,39	2485	32,33	9,06
9.	2791	38,31	2796	28,89	9,42
10.	3101	30,08	3107	23,58	6,5

Tab. 5.3: FFT trubky s dusítkem cup

5.3.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 5.13: LPC trubky s dusítkem cup, *mezzoforte*

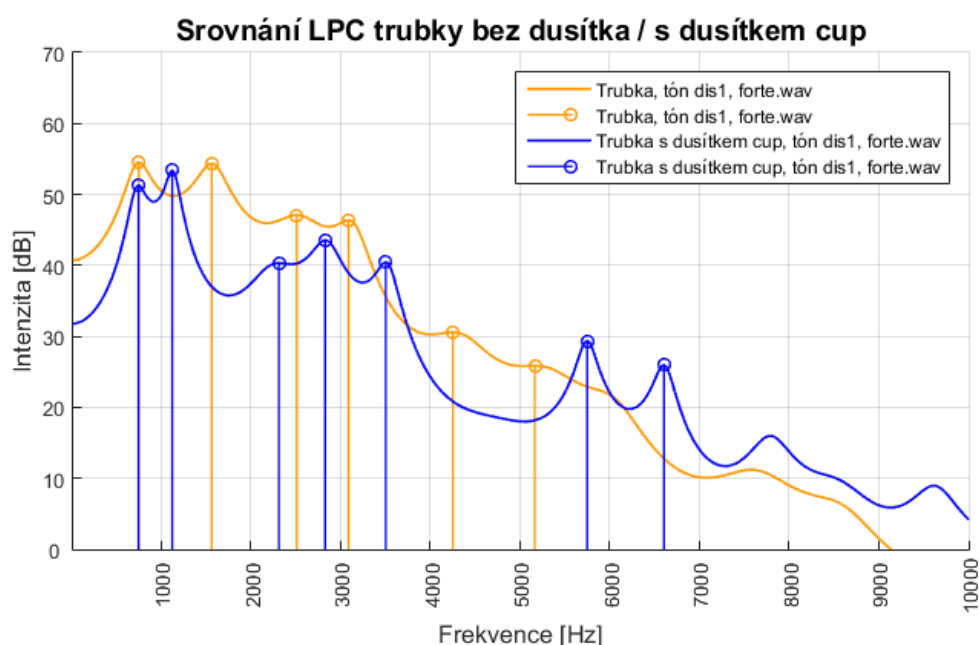
Trubka s dusítkem cup - tón dis ¹ , <i>mezzoforte</i>			
	Bez dusítka		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	748	58,95	524 - 1076
2.	1580	59,26	1452 - 1672
3.	2396	47,57	2104 - 2636
4.	4132	24,5	3824 - 4416
	S dusítkem		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	780	58,38	664 - 904
2.	1068	58,98	904 - 1168
3.	2320	43,3	1944 - 2508
4.	2828	48,82	2708 - 2916
5.	3568	32,93	3412 - 3772
6.	5844	25,47	5500 - 6048
7.	6552	19,1	6048 - 6720

Tab. 5.4: LPC trubky s dusítkem cup, *mezzoforte*

Zde je opět vyobrazena ukázka LPC se zobrazením formantových oblastí pro jeden tón trubky v dynamice *mezzoforte* a tabulkové hodnoty této konkrétní závislosti. V příloze A.2 lze vidět tyto grafické závislosti i pro ostatní tóny a dynamiky.

V nízké dynamice trubka tvoří 3 formantové oblasti jak pro tóny hrané bez dusítka, tak s dusítkem. První dva formanty se při hře s dusítkem drží na stejné intenzitě, ale dusítko je posouvá kmitočtově níž. První o 160 Hz a druhý dokonce o téměř 600 Hz. Třetí formant je o 112 Hz posunut výše, ale zároveň je dusítkem mírně potlačen, a to o necelých 9 dB.

U dynamiky *mezzoforte* lze zde v zobrazeném grafu 5.13 pozorujeme, že dusítko má první tři formanty velmi podobný vliv, jako i *piana*. První je téměř totožný, tentokrát i na podobné frekvenci, druhý je opět o posunut kmitočtově níže, a to o 500 Hz a třetí je potlačen o 4 dB. Zároveň posouvá níž i poslední formant tónu hraného bez dusítka o 600 Hz, ale naopak ho posiluje. Dále ale dusítko s takto mírně vyšší dynamikou vytváří navíc další formanty. Na kmitočtu 2828 Hz vidíme nově vytvořený silný formant a dva další na vyšších kmitočtech – jeden široký na 5844 Hz a druhý slabší s centrem na 6552 Hz. To je oproti původnímu tónu bez dusítka velké posílení a odpovídá mu posílení až zkreslení celého frekvenčního pásma 5000 – 7000 Hz zjištěné při pojednání o získaných spektrogramech.



Graf 5.14: LPC trubky s dusítkem cup, *forte*

Trubka s dusítkem cup - tón dis ¹ , forte			
	Bez dusítka		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	752	54,51	632 - 936
2.	1564	54,35	1344 - 1740
3.	2512	47,1	2176 - 2868
4.	3088	46,36	2868 - 3252
5.	4252	30,6	3992 - 4640
6.	5164	25,85	5032 - 5760
	S dusítkem		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	748	51,26	660 - 910
2.	1124	53,37	1020 - 1200
3.	2312	40,32	1992 - 2456
4.	2828	43,56	2564 - 3011
5.	3504	40,46	3228 - 3612
6.	5748	29,37	5636 - 5856
7.	6604	25,96	6468 - 6708

Tab. 5.4: LPC trubky s dusítkem cup, forte

Pro lepší porovnání dynamiky *forte* je tentokrát zobrazena grafická i tabulková ukázka i pro tuto dynamiku. V grafu 5.14 vidíme, že dusítko má na první dvě formantové oblasti trubky v silné dynamice opět stejný účinek, jako u předchozích dvou dynamik. Jistá podobnost mezi tóny hranými bez dusítka a s dusítkem je i u dalších dvou formantů, které dusítko posouvá kmitočtově níž a mírně je potlačuje.

Dále ale působí mnohem větší změny než doposud – v podobné oblasti vytváří další formant a poslední dva formanty trubky bez dusítka úplně ničí, místo nich vytváří dva jiné, úzké na vyšších frekvencích. Tomu odpovídá i zesílení stejného pásma kmitočtů, které bylo analyzováno v kapitole 5.3.1 u srovnávání spektrogramů. Konkrétní hodnoty formantových oblastí lze vidět v tabulce č. 5.8.

Stejně jako u ostrého dusítka, z vyobrazení LPC závislostí pro všechny tóny a dynamiky je také hledána závislost změny kmitočtu formantů na výšce hraného tónu trubky. U ostrého dusítka žádná závislost nalezena nebyla, ovšem u dusítka cup ano a hned několik. U dynamiky *piano* byla nalezen kmitočtově pohyblivý jeden formant s hodnotami v tabulce 5.5, kdy kmitočty tónů odpovídají pěti tónům měřeným při nahrávání nástroje z kapitoly 3.2.

f tónu [Hz]	196	264	311	392	523
f formantu [Hz]	720	720	536	577	473

Tab. 5.5: Závislost kmitočtu formantu trubky v dynamice *piano* na kmitočtu tónu

Pro tento formant tedy platí, že čím vyšší tón, tím klesá jeho střední kmitočet. Tento pokles není nijak matematicky popsateľný, ovšem dá se s drobnou odchylkou zprůměrovat a můžeme ho popsat následující lineární rovnicí.

$$f = -0,7701 * ft + 864,43 \quad (5.1)$$

kdy f je střední kmitočet tohoto formantu a ft je kmitočet hraného tónu.

Další podobně závislý formant byl nalezen také u dynamiky *mezzoforte*, ale tentokrát již na vyšších frekvencích mezi 5400 – 5800 Hz. Nejedná se o nijak zásadní pohyb, nicméně pokud na takovém kmitočtu vytvoříme úzkou kmitočtovou rezonanci, jedná se v takovém rozmezí o slyšitelnou změnu. Jedná se o následující průběh:

f tónu [Hz]	196	264	311	392	523
f formantu [Hz]	5470	5619	5794	5508	5740

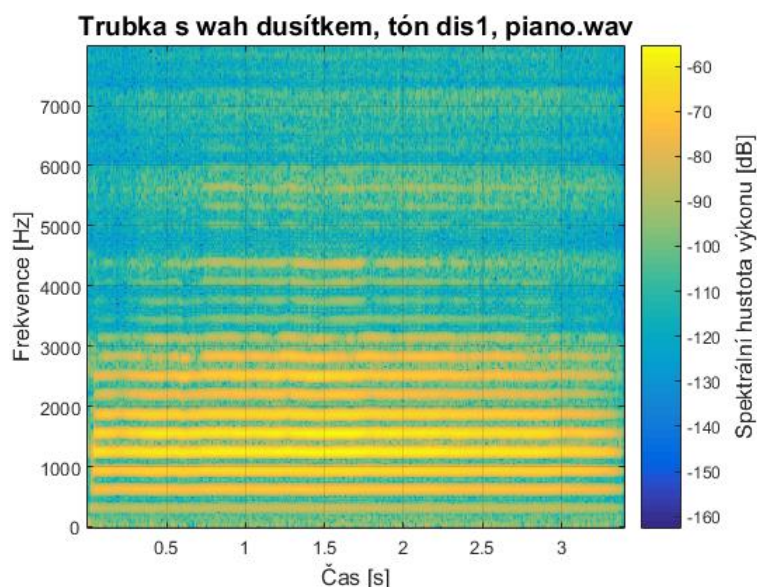
Tab. 5.6: Závislost kmitočtu formantu trubky v dynamice *mezzoforte* na kmitočtu tónu
Takový průběh se dá opět zjednodušit tentokrát na logaritmickou závislost:

$$f = 186,13 * \ln(ft) + 4553,6 \quad (5.2)$$

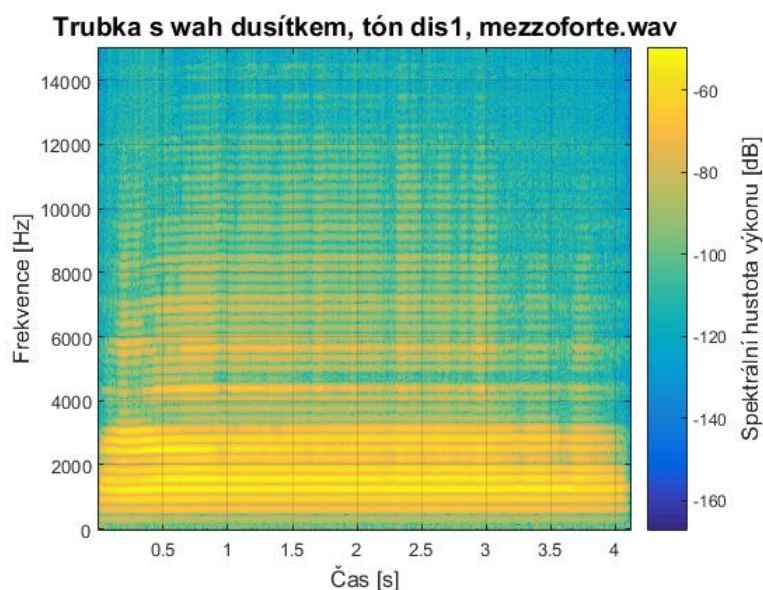
kdy f je opět střední kmitočet formantu a ft je kmitočet hraného tónu. Tyto zjištěné funkce budou později využity při simulaci dusítka jakožto parametr nastavení kmitočtu filtru.

5.4 Wah dusítko

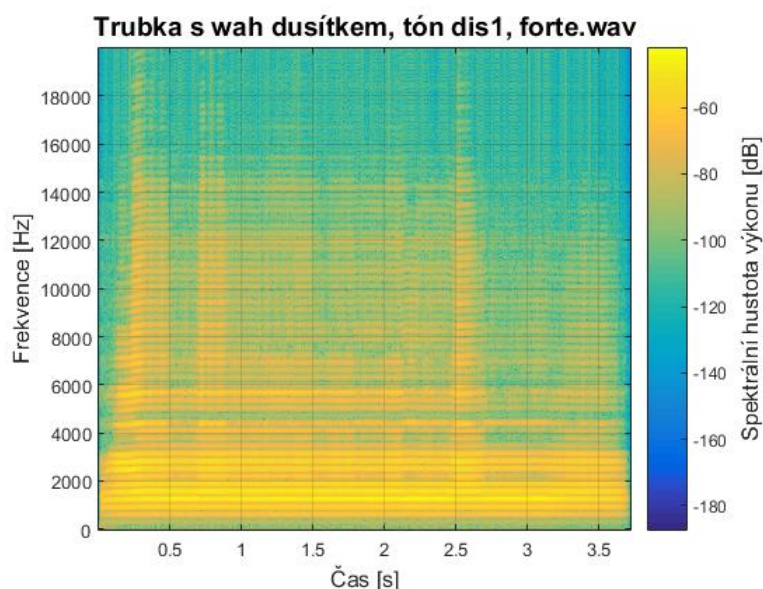
5.4.1 Spektrogramy



Graf 5.15: Spektrogram trubky s wah dusítkem, *piano*



Graf 5.16: Spektrogram trubky s wah dusítkem, *mezzoforte*



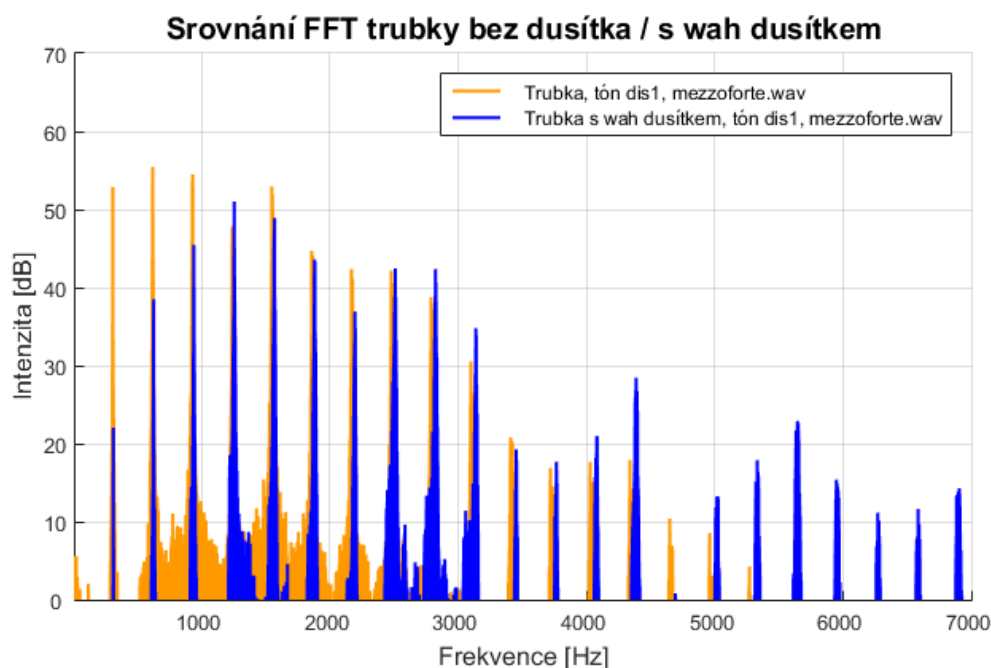
Graf 5.17: Spektrogram trubky s wah dusítkem, *forte*

Dusítko typu wah ve slabé dynamice potlačuje především dvě širší kmitočtová pásma. Jedním pásmem jsou celé spodní kmitočty do 1100 Hz. To je způsobeno opět zúžením roztrubu, jako u předchozích dusítek. Dalším potlačeným pásmem je 3150 – 4000 Hz. Navíc v okolí 5700 Hz a 7000 Hz dochází k malým rezonancím ve spektru. V tak slabé dynamice to způsobuje spíše kónický tvar růženého roztrubu.

Dusítko má specifický tvar dutiny, ve které se tvoří další rezonance. To je princip fungování wah dusítká a pravděpodobně takové rezonance vytváří další formanty. U dynamiky *mezzoforte* se tato rezonance projevuje již zásadně více, kdy oproti tónu bez dusítká vidíme aktivní spektrum až do 12 kHz. Od 4 kHz dochází ke zkreslení a posílení spektra na takové úrovni. Dusítko zároveň potlačuje stejná pásma kmitočtů, jako u dynamiky *piano*.

Při pohledu na graf 5.17 vidíme účinek wah dusítka při maximální resonanci zvuku v jeho dutině ve *forte*. Zde je jasné, že se jedná o zkreslení celého spektra, které je plné až do 16 kHz. Opět jsou potlačena dvě zmíněná pásma jako u předchozích dynamik, ovšem již ne tolik, vzhledem k tomu, že zkreslení dusítkem posiluje nejen vyšší kmitočty, ale i celou spodní část spektra, kterou v místech původně oslabilo.

5.4.2 Porovnání vyšších harmonických

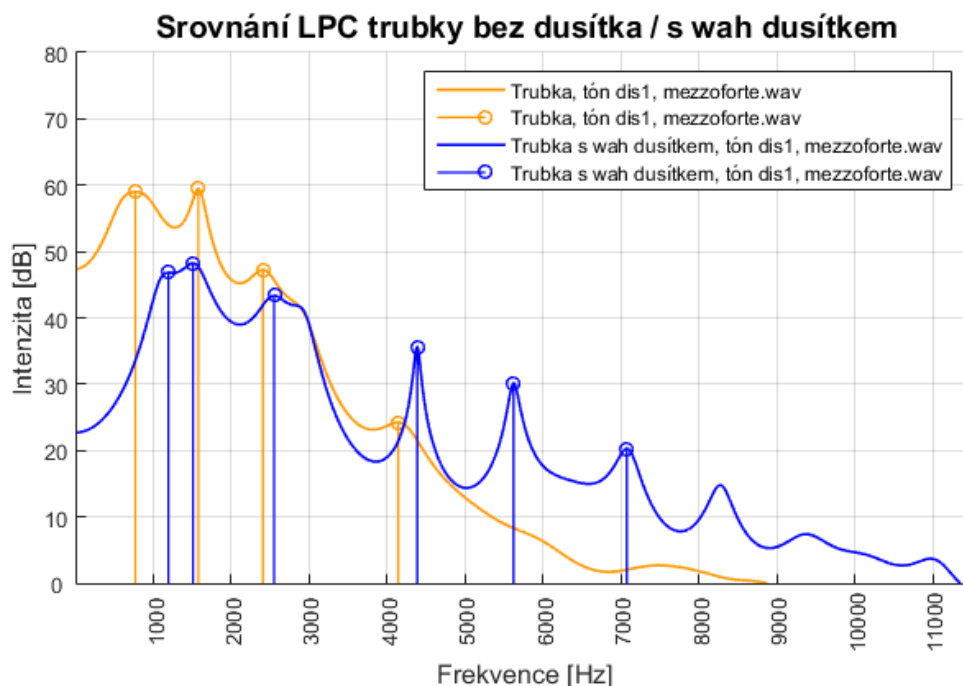


Srovnání intenzit harmonických složek pro tón dis ¹ , mezzoforte					
Harmonická	Bez dusítka		S wah dusítkem		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	310	51,41	313	21,98	29,43
2.	621	54,92	623	39,08	15,84
3.	930	52,66	932	46,27	6,39
4.	1244	47,93	1245	50,09	-2,16
5.	1550	51,63	1555	49,61	2,02
6.	1860	44,36	1862	44,85	-0,49
7.	2171	41,9	2173	37,44	4,46
8.	2481	41,39	2487	41,4	-0,01
9.	2791	38,31	2799	41,38	-3,07
10.	3101	30,08	3110	35,11	-5,03

Tab. 5.7: FFT trubky s wah dusítkem

Dusítko typu wah má největší vliv především na první tři harmonické. V grafu a tabulce výše lze pozorovat velmi výrazné potlačení první harmonické o téměř 30 dB. To tóny prakticky zcela odebírá jeho nosnost. Zároveň dusítko zatlumí velkou část mohutnosti trubky, jelikož druhá harmonická je potlačena téměř o 16 dB. Mírné potlačení třetí harmonické způsobí menší dutost. Těmto útlumům odpovídá potlačení celé spodní části spektra do 1100 Hz zmíněné dříve v kapitole o spektrogramech. Dále je vidět navíc menší zeslabení sedmé vyšší harmonické, která by do tónu jinak přidala bryslnost.

5.4.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 5.19: LPC trubky s wah dusítkem

Trubka s wah dusítkem - tón dis ¹ , mezzoforte			
Bez dusítka			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	748	58,95	524 - 1076
2.	1580	59,26	1452 - 1672
3.	2396	47,57	2104 - 2636
4.	4132	24,5	3824 - 4416
S dusítkem			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	1192	46,82	1024 - 1328
2.	1508	48,23	1328 - 1680
3.	2548	43,35	2292 - 2952
4.	4384	35,94	4336 - 4424
5.	5620	30,19	5552 - 5696
6.	7072	20,31	6888 - 7212

Tab. 5.8: LPC trubky s wah dusítkem

Pro vhodné popsání vlivu dusítka na formanty trubky byl pro ukázkou opět zvolen tón *dis*¹ v dynamice *mezzoforte*. Z grafu 5.19 a tabulky 5.8 můžeme vyčíst, že dusítko typu wah snižuje intenzitu prvních dvou formantů o 10 – 12 dB, kdy první navíc posouvá téměř o 450 Hz výše. Třetí formant dusítko zachovává téměř stejný, o 4 dB ho snižuje a posouvá o necelých 200 Hz také výše. Důležité změny nastávají ve vyšších kmitočtech, kdy čtvrtý formant zesiluje a především velmi zužuje a přidává 2 velmi úzké formanty na 5620 Hz a 7072 Hz. Zde se jedná o charakteristické rezonance dusítka tohoto typu, viditelné už v spektrogramech.

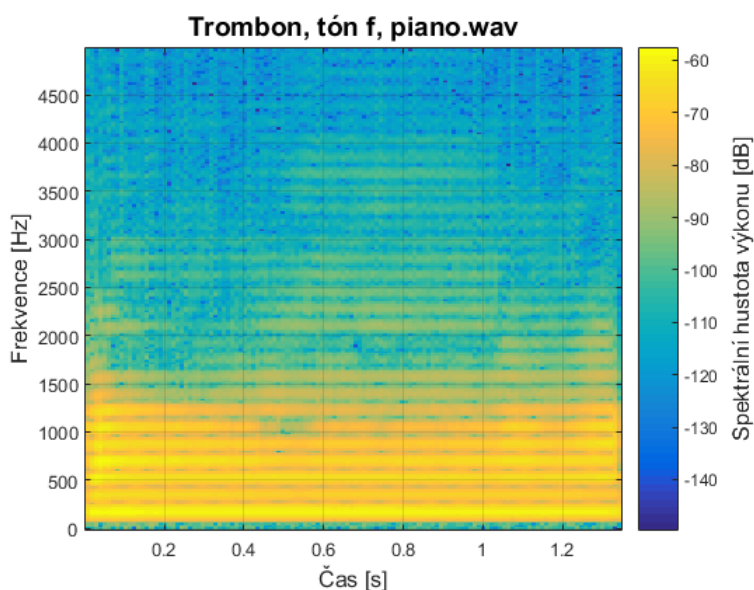
V příloze A.3 je k dispozici před LPC pro všechny měřené tóny všech dynamik. Stejně jako u předchozích dusítek, i zde byly hledané formanty, které se dají frekvenčně popsat v závislosti na změně výšky tónu. U dusítka typu wah bylo nejvíce očekáváno, že jeho formanty budou takto pohyblivé, ovšem není to pravda. Dusítko u většiny predikcí vytváří větší množství úzkých formantů na vysokých kmitočtech – jednak díky svému kónickému tvaru zúžení a také díky svému tvaru a rezonanční dutině, ovšem všechny formanty jsou poměrně pevně dané a pro libovolnou výšku tónu.

6 Vyhodnocení naměřených dat trombonu

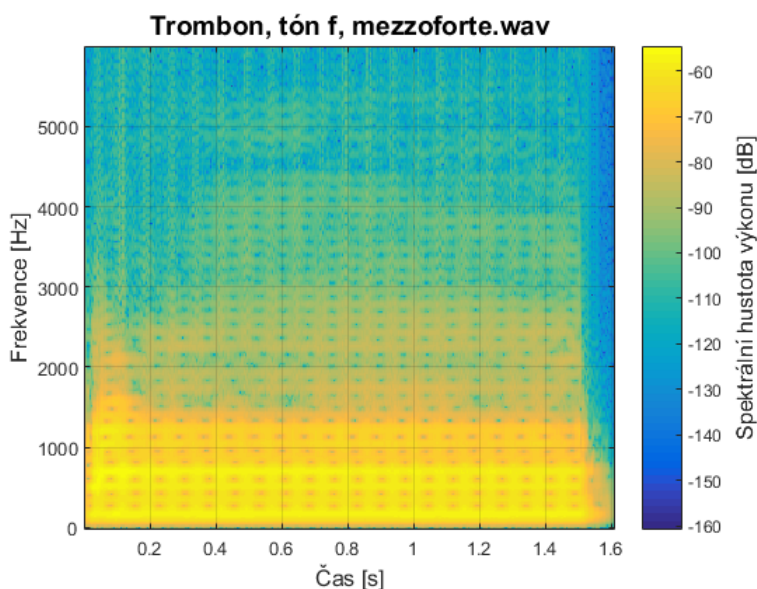
Podobně jako u předchozí kapitoly s trubkou, tentokrát zde budou hodnoceny výsledky analýz v prostředí MATLAB po použití metod popsanych v kapitole 4. Obdobně jako při hodnocení trubky, hodnocení bude probíhat pro jednotlivá dusítka postupně.

Po získání těchto analýz budou získané informace o vlivu dusítek na trubku a trombon použity již v další kapitole pro samotnou simulaci těchto dusítek.

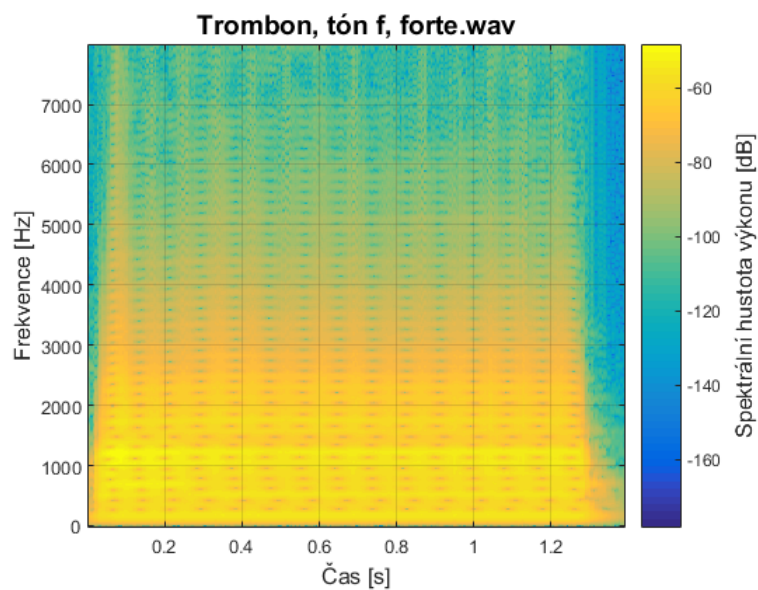
6.1 Spektrogramy trombonu bez dusítka



Graf 6.1: Spektrogram trombonu bez dusítka, *piano*



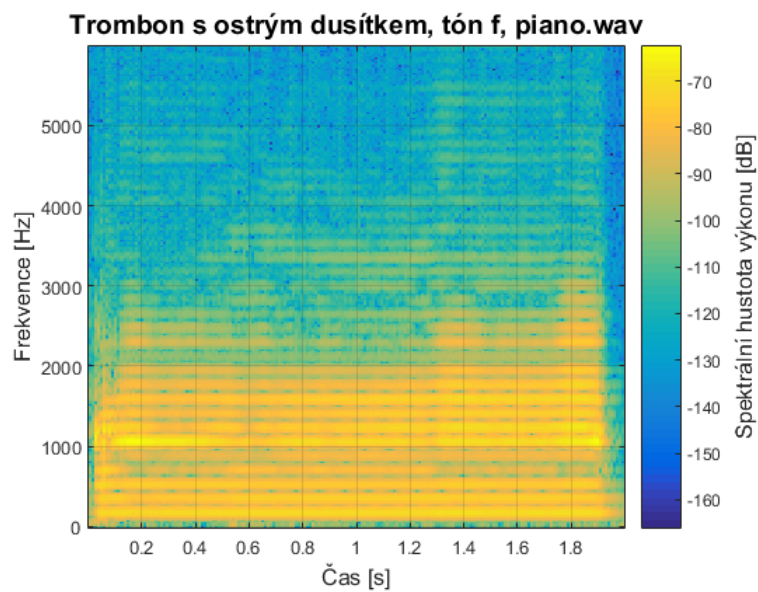
Graf 6.2: Spektrogram trombonu bez dusítka, *mezzoforte*



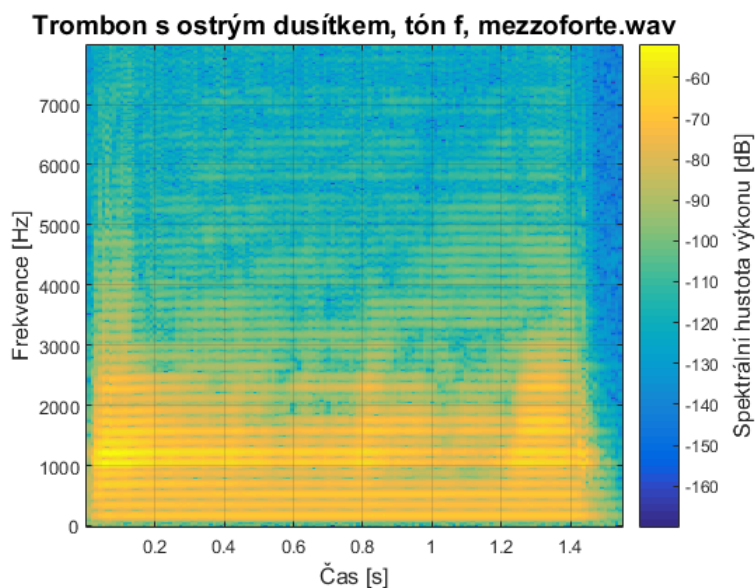
Graf 6.3: Spektrogram trombonu bez dusítka, *forte*

6.2 Ostré dusítko

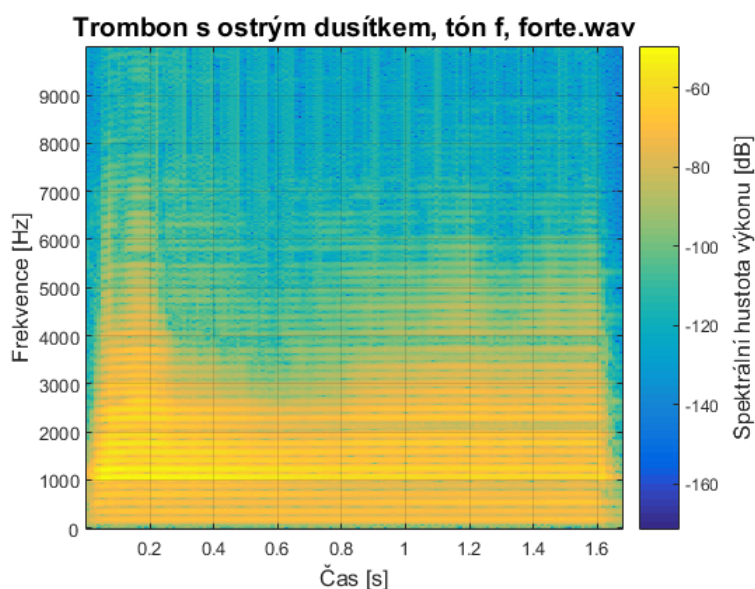
6.2.1 Spektrogramy



Graf 6.4: Spektrogram trombonu s ostrým dusítkem, *piano*



Graf 6.5: Spektrogram trombonu s ostrým dusítkem, *mezzoforte*



Graf 6.6: Spektrogram trombonu s ostrým dusítkem, *forte*

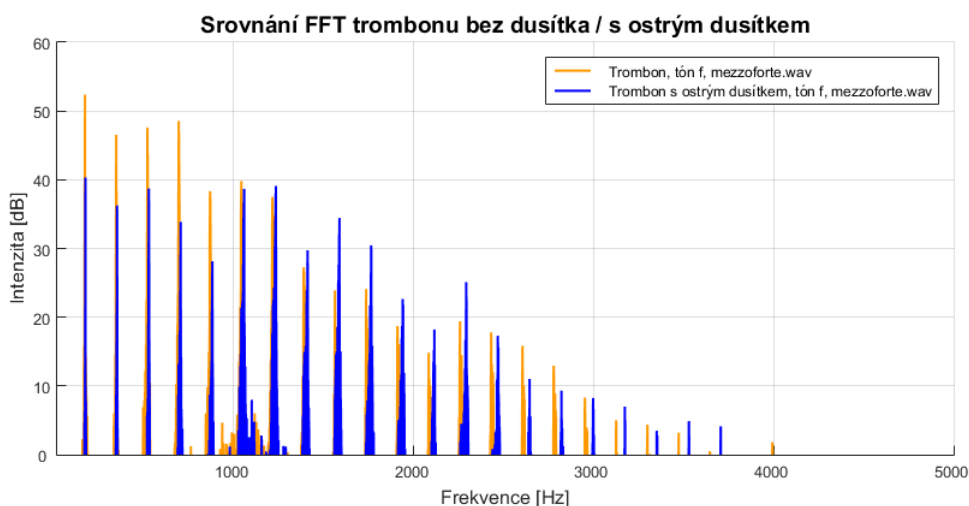
Ostré dusítko potlačuje při dynamice *piano* ve spektru trombonu jeho nižší kmitočty do 1270 Hz, kromě kmitočtů 1000 – 1100 Hz. Podobně jako u trubky, to je způsobeno zúžením roztrubu nástroje dusítkem. Naopak od 1270 Hz do 2000 Hz dusítko spektrum zesiluje a zvyšuje tím délku aktivního rovnoměrného spektra trombonu při této slabé dynamice.

V dynamice *mezzoforte* dusítko ovlivňuje zvuk trombonu stejným způsobem, jako u *piana*, s rozdílem, kdy navíc velmi mírně posiluje i kmitočtové pásmo 3 – 5 kHz. To může být projeveno rezonancí zvuku uvnitř dusítka, jelikož dusítko jako takové je uzavřené a duté.

Při silném hraní v dynamice *forte* je oblast středních kmitočtů 1270 – 2000 Hz posílena ještě více, nicméně oproti třaskavému zvuku trombonu ve *forte* dusítko ve zvuku na vyšších kmitočtech neposiluje ani příliš nezkruskuje ve velké míře. Mírné zkruslení nastane jen při silném nasazení tónu, tedy na spektrogramu 6.6 do času 0,2 s, kdy vidíme

posílené spektrum až do 10 kHz, ovšem v naší ukázce při ustáleném tónu tento efekt klesá. Při hodnocení je přihlédnuto k faktu, že hráč silně nasazený tón spíše neudržel delší dobu a lze to považovat za chybu během měření. Proto bude při simulaci zmíněné mírné zkreslení bráno v potaz. Zároveň při subjektivním poslechu hraných tónů a kontrole spektrogramů u jiných tónů v silné dynamice dochází ke stejnému efektu.

6.2.2 Porovnání vyšších harmonických



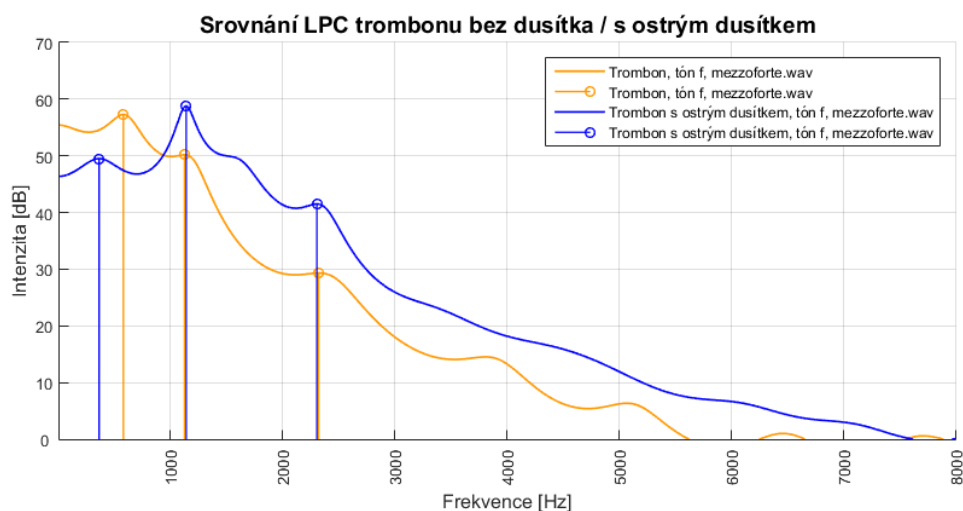
Graf 6.7: FFT trombonu s ostrým dusítkem

Srovnání intenzit harmonických složek pro tón f, mezzoforte					
	Bez dusítka		S ostrým dusítkem		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
Harmonická	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	174	52,36	176	40,31	12,05
2.	348	46,54	352	36,26	10,28
3.	522	47,6	529	38,72	8,88
4.	696	48,23	705	33,88	14,35
5.	869	38,34	882	28,14	10,2
6.	1043	39,83	1058	38,52	1,31
7.	1216	37,42	1235	39,1	-1,68
8.	1389	27,27	1411	29,75	-2,48
9.	1562	23,9	1588	34,43	-10,53
10.	1737	24,1	1764	30,46	-6,36

Tab. 6.1: FFT trombonu s ostrým dusítkem

V grafu 6.7 lze pozorovat vliv ostrého dusítka na jednotlivé harmonické složky tónu. Nejvíce se zde projevuje již zmíněné potlačení spodních kmitočtů dusítkem, což odpovídá zeslabením prvních pěti vyšších harmonických o 8 – 14 dB. Tón tedy není tak mohutný a nosný a vynikne spíše jeho ostrost.

6.2.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 6.8: LPC trombonu s ostrým dusítkem

Trombon s ostrým dusítkem - tón f, <i>mezzoforte</i>			
	Bez dusítka		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	588	57,29	331 - 736
2.	1131	50,18	1000 - 1276
3.	2328	29,32	2100 - 2594
	S dusítkem		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	372	49,51	68 - 704
2.	1148	58,8	1072 - 1228
3.	2312	41,51	2116 - 2472

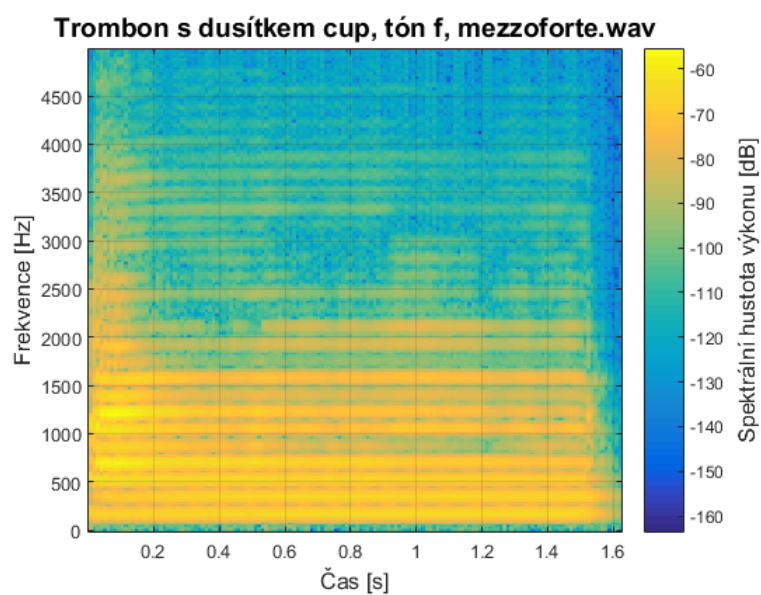
Tab. 6.2: LPC trombonu s ostrým dusítkem

Ostré dusítko nijak výrazně nemění formanty trombonu. Jako ukázkou lze vidět tón f v dynamice *mezzoforte*. Trombon má v tomto případě sám o sobě 3 formanty. Dusítko žádné další nevytvoří, jen mírně změní stávající. První formant oslabí o 8 dB a posouvá o 216 Hz níže. Druhý je kmitočtově stejný, ale je zúžen a naopak posílen o 8 dB. Třetí je také na stejném kmitočtu, ale o 12 dB posílen.

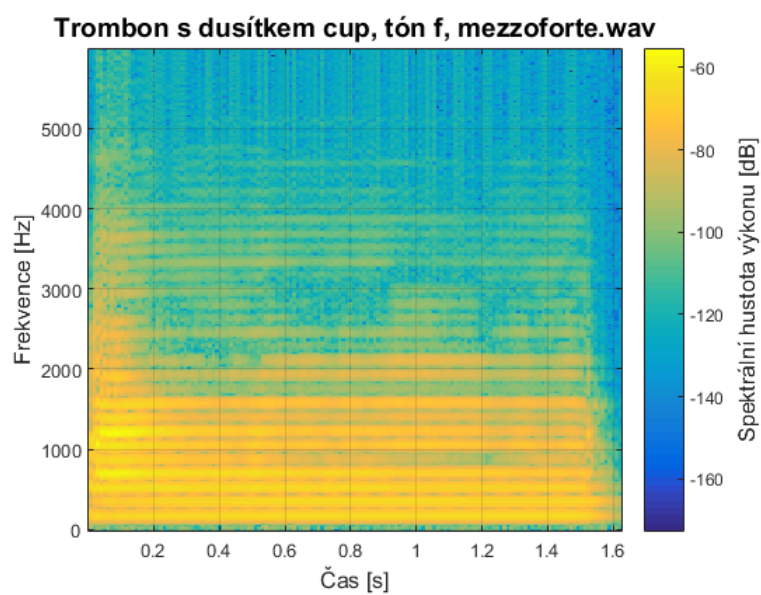
V příloze B.1 lze nahlédnout na lineární predikce pro všechny měřené tóny ve všech dynamikách. I u trombonu je zkoumáno, zda je některý formant kmitočtově závislý na výšce tónu, avšak obdobně jako u trubky, ani u tohoto ostrého dusítka žádný takový závislý formant nalezen nebyl.

6.3 Dusítko cup

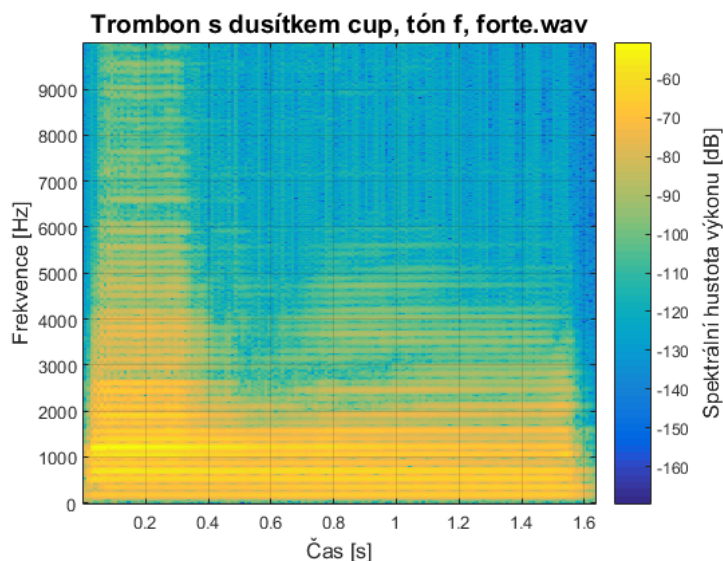
6.3.1 Spektrogramy



Graf 6.9: Spektrogram trombonu s dusítkem cup, *piano*



Graf 6.10: Spektrogram trombonu s dusítkem cup, *mezzoforte*

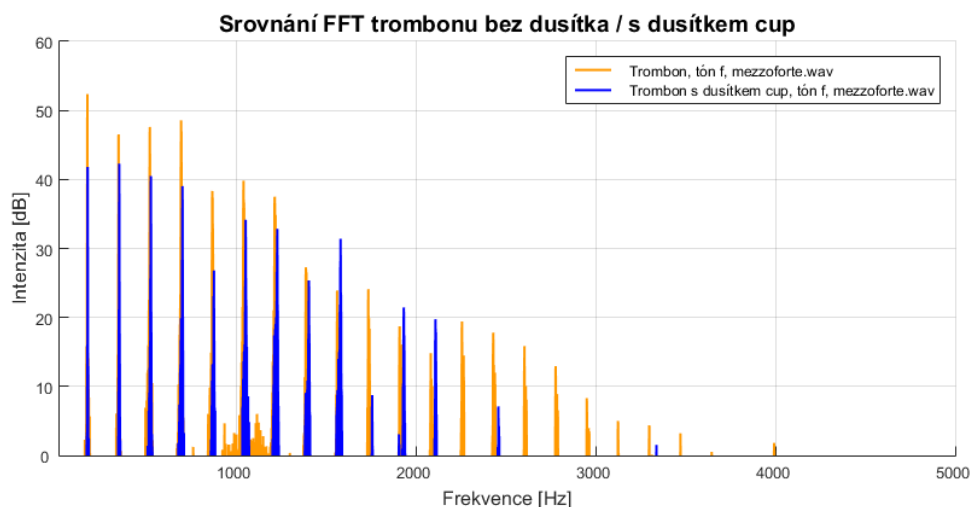


Graf 6.11: Spektrogram trombonu s dusítkem cup, *forte*

Dusítko typu cup má ve všech dynamikách poměrně podobný vliv. Vždy se jedná o námi známé potlačení nižších kmitočtů tentokrát do 1000 Hz, což je opět způsobeno zúžením roztruby; kromě kmitočtů 715 Hz a 1250 Hz. Takové potlačení ale v tomto pásmu není jediné. Je zde také vidět potlačení velmi úzkého pásma 900 – 1000 Hz ještě silněji, než okolní kmitočty. Dusítko navíc dále zkresluje na vyšších kmitočtech, konkrétně 3300 – 4000 Hz.

U dynamiky *forte* je zajímavé, že v porovnání se slabšími dynamikami se zdá, že dusítko posiluje kmitočty navíc až do 10 kHz, nicméně prakticky se jedná oproti trombonu bez dusítka výkonově slabší spektrum, na vysokých kmitočtech jen málo zkreslené. To proto, že trombon bez dusítka má ve *forte* velmi agresivní a třeskavý zvuk, kdy se celé jeho tělo rozrezonuje a zkresluje celé spektrum sám o sobě. Při použití dusítka je ovšem tělo nástroje fyzicky dusítkem tlumeno a nedochází k takové rezonanci. K tomuto faktu bude přihlédnuto také při simulaci této dynamiky.

6.3.2 Porovnání vyšších harmonických



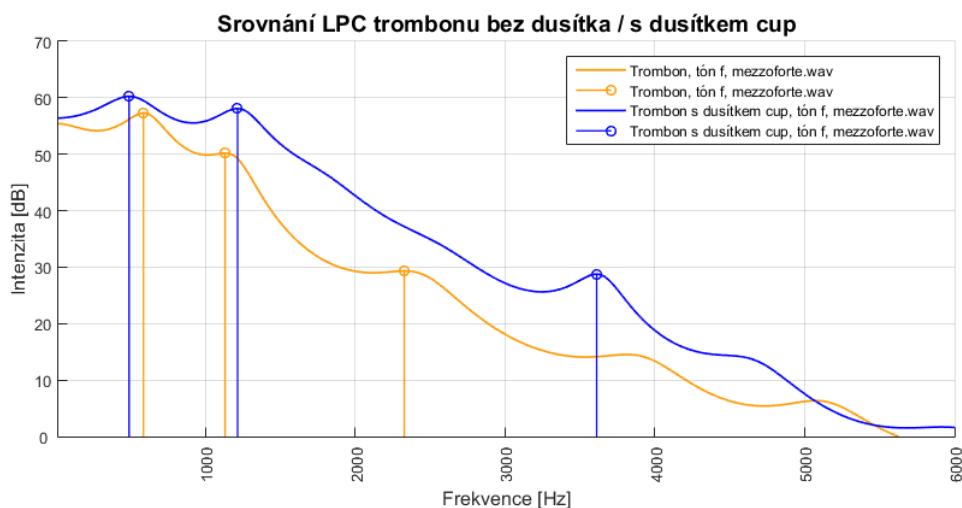
Graf 6.12: FFT trombonu s dusítkem cup

Srovnání intenzit harmonických složek pro tón f, mezzoforte					
Harmonická	Bez dusítka		S dusítkem cup		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	174	52,36	176	41,74	10,62
2.	348	46,54	351	42,3	4,24
3.	522	47,6	526	40,48	7,12
4.	696	48,23	701	39,03	9,2
5.	869	38,34	876	26,81	11,53
6.	1043	39,83	1051	34,16	5,67
7.	1216	37,42	1226	32,83	4,59
8.	1389	27,27	1401	25,37	1,9
9.	1562	23,9	1576	31,4	-7,5
10.	1737	24,1	1751	8,75	15,35

Tab. 6.3: FFT trombonu s dusítkem cup

Dusítko dup nejvíce potlačuje první a pátou harmonickou, až o téměř 12 dB. To by mělo tónu ubrat jeho nosnost a nazálnost, která se v barvě projeví poměrně výrazně. Dále je dle tabulky 6.3 silné potlačení 10. vyšší harmonické, která by uměla v tónu ubrat část jeho jasu. Mírné potlačení nastává také ve třetí a čtvrté alikvotě, o 7 – 9,2 dB, které v tónu zobrazují dutost a mírně také jasnost. Celkově zní tón s dusítkem ostřeji a zároveň zastřeně.

6.3.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 6.13: LPC trombonu s dusítkem cup

Trombon s dusítkem cup - tón f, <i>mezzoforte</i>			
	Bez dusítka		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	588	57,29	331 - 736
2.	1131	50,18	1000 - 1276
3.	2328	29,32	2100 - 2594
	S dusítkem		
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	492	60,25	208 - 720
2.	1220	58,09	959 - 1376
3.	3612	28,76	3320 - 3760

Tab. 6.4: LPC trombonu s dusítkem cup

Pro ukázkou lineární predikce trombonu byl zvolen tón f v dynamice *mezzoforte*. Zde dusítko nevytváří nové formanty, ale mírně upravuje první dva – první formant posouvá o necelých 100 Hz níže a druhý naopak o necelých 100 Hz výše. Výrazně ale posouvá třetí formant trombonu, a to o 1300 Hz výše s podobnou intenzitou.

V příloze B.2 lze opět pozorovat obdobné lineární predikce pro zbylé tóny i dynamiky. Z těchto závislostí byly dále hledány formanty, které mění svůj kmitočet v závislosti na změně výšky tónu a podobně jako u dusítka cup u trubky, i tentokrát jich bylo několik nalezeno. V dynamice *mezzoforte* se jedná o jeden formant s následující závislostí:

f tónu [Hz]	87	130	174	261	348
f formantu [Hz]	4300	4700	4700	4820	5600

Tab. 6.5: Závislost kmitočtu formantu trombonu v dynamice *mezzoforte* na kmitočtu tónu

Kmitočet tohoto formantu se tedy pohybuje v rozmezí 1300 Hz a se zvyšujícím se tónem roste. Tato závislost lze vyjádřit polynommickou rovnicí 3. řádu:

$$f = 0,0003 * ft^3 - 0,1732 * ft^2 + 35,114 * ft + 2385,3 \quad (6.1)$$

kdy f je kmitočet formantu a ft kmitočet hraného tónu. Další tři takové pohyblivé formanty byly nalezeny také u dynamiky *forte*. Jejich závislosti na výšce měřených tónu vypadají takto:

f tónu [Hz]	87	130	174	261	348
f formantu [Hz]	4400	4520	4660	6070	6666

Tab. 6.6: Závislost kmitočtu formantu trombonu v dynamice *forte* na kmitočtu tónu (1)

f tónu [Hz]	87	130	174	261	348
f formantu [Hz]	4400	4520	4660	6070	6666

Tab. 6.7: Závislost kmitočtu formantu trombonu v dynamice *forte* na kmitočtu tónu (2)

f tónu [Hz]	87	130	174	348
f formantu [Hz]	5700	5830	5600	7760

Tab. 6.8: Závislost kmitočtu formantu trombonu v dynamice *forte* na kmitočtu tónu (3)

Tento třetí formant nabyl značné výchylky středního kmitočtu pro tón g^1 , pro zjednodušení funkce závislosti byl zprůměrován.

Získané závislosti lze proložit polynomickými funkcemi 2. či 3. řádu a získat tak tři následující kmitočtové závislostní funkce pro jednotlivé formanty:

$$f = -0,0003 * ft^3 + 0,1861 * ft^2 - 30,602 * ft + 4991,4 \quad (6.2)$$

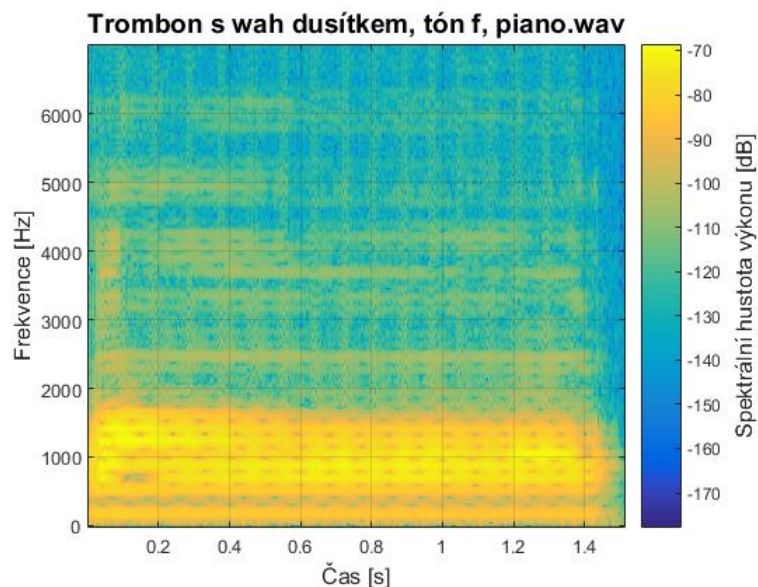
$$f = -0,0004 * ft^3 + 0,2628 * ft^2 - 44,199 * ft + 6551 \quad (6.3)$$

$$f = 0,0478 * ft^2 - 13,234 * ft + 6564,3 \quad (6.4)$$

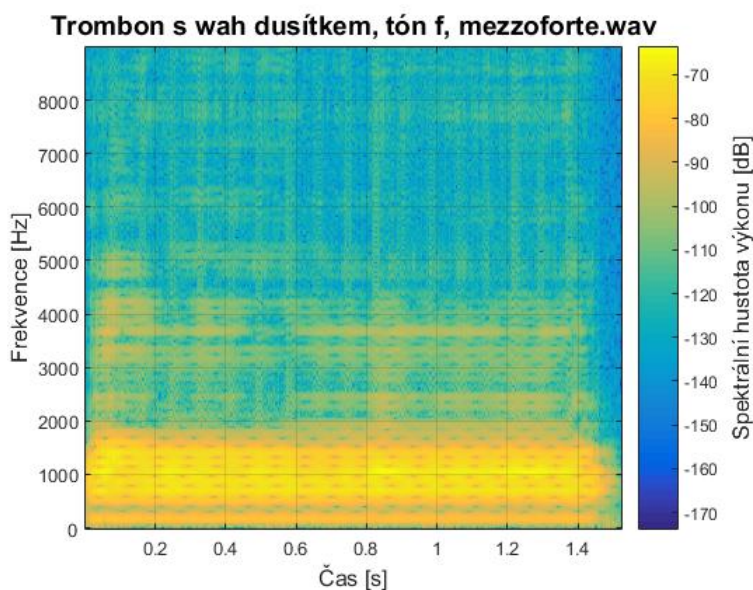
Těchto získaných funkcí bude využito v další kapitole při nastavení kmitočtu filtrů při simulaci dusítka.

6.4 Wah dusítko

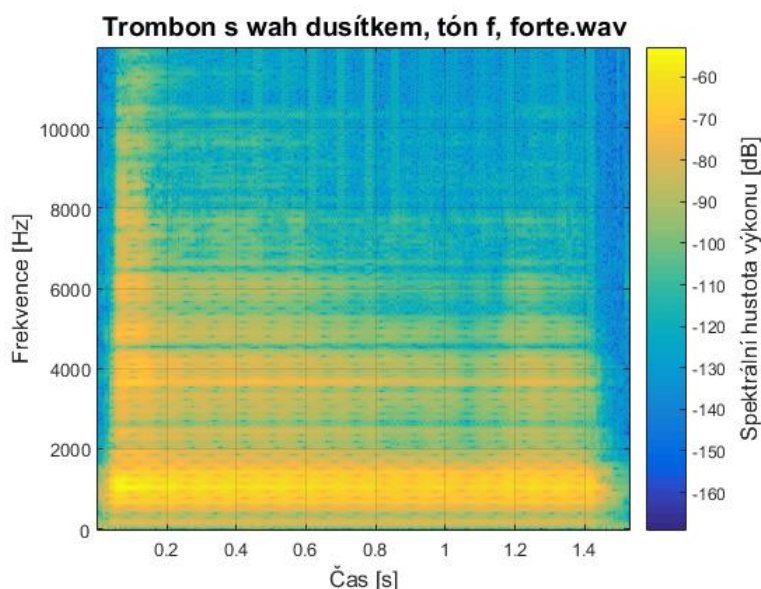
6.4.1 Spektrogramy



Graf 6.14: Spektrogram trombonu s wah dusítkem, *piano*



Graf 6.15: Spektrogram trombonu s wah dusítkem, *mezzoforte*



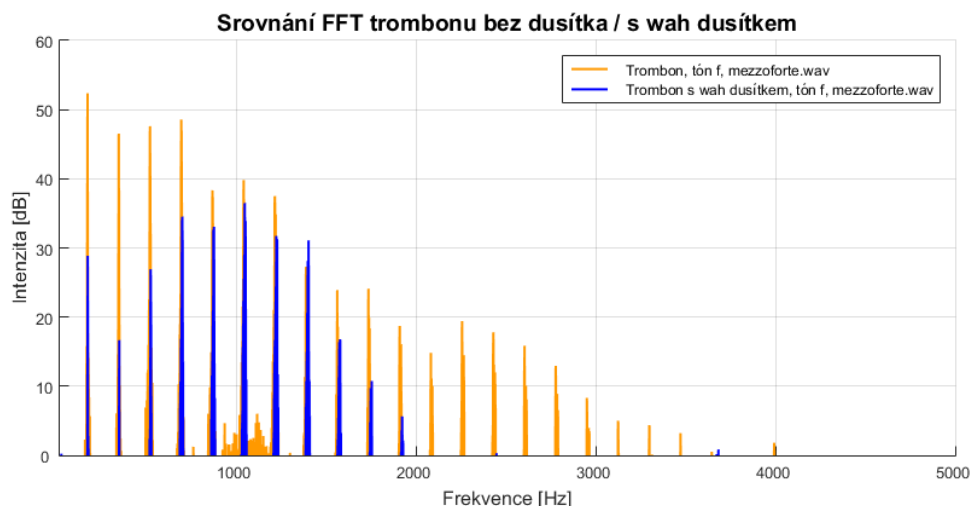
Graf 6.16: Spektrogram trombonu s wah dusítkem, *forte*

Porovnání vlivu dusítka typu wah na spektrum trombonu je velmi podobné jako vliv stejného typu dusítka na tóny trubky. U všech dynamik se jedná o podobné vlastnosti. Především je to opět potlačení spodních kmitočtů v pásmu do 700 Hz a výraznější posílení v následujícím pásmu 700 – 1650 Hz, které je způsobeno rezonancí zvuku v dutině dusítka. Oproti wah dusítku pro trubku je trombonové velmi široké a dutina uvnitř něj je mnohem větší, proto nastává silná rezonance i takto ve středních kmitočtech.

Dusítko dále zkresluje spektrum na vyšších kmitočtech, v dynamice *piano* to jsou úzká pásma okolo 2500 Hz, 3200 Hz, 4 kHz, 5 kHz a 5 kHz; u *mezzoforte* se jedná o podobné posílení, avšak je zde více výrazné pásmo 3300 – 4500 Hz a u dynamiky *forte* je téměř vyplněné celé spektrum až do 12 kHz. Dusítko je z měkkého hliníku a snadno podpoří třaskavost nástroje v takové dynamice v kombinaci s rezonancí dusítka. Z grafu

6.16 Lze vidět, že takto plné spektrum lze stále rozdělit na několik pásem, čehož využijeme při simulaci.

6.4.2 Porovnání vyšších harmonických



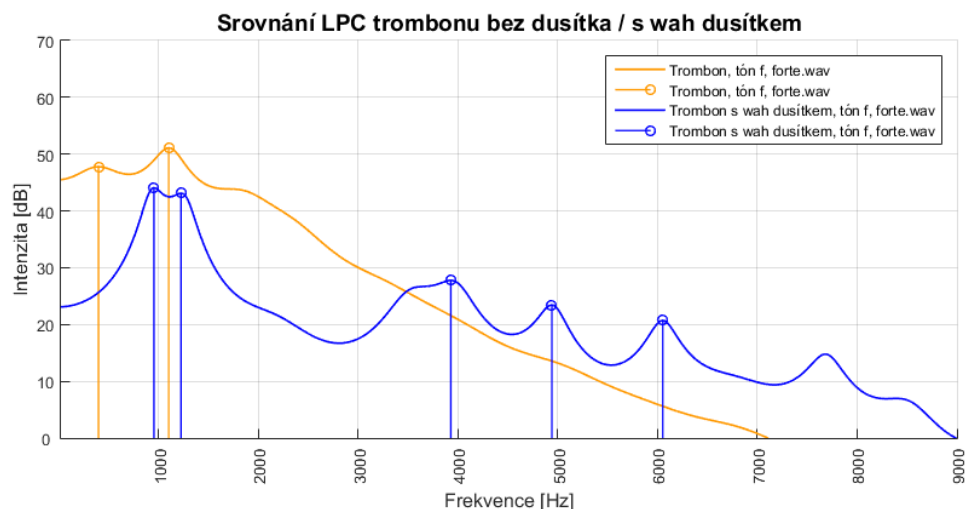
Graf 6.17: FFT trombonu s wah dusítkem

Srovnání intenzit harmonických složek pro tón f, mezzoforte					
Harmonická	Bez dusítka		S wah dusítkem		Rozdíl intenzit [dB] (Bez dusítka - s dusítkem)
	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	
1.	174	52,36	175	28,86	23,5
2.	348	46,54	350	16,65	29,89
3.	522	47,6	525	26,92	20,68
4.	696	48,23	700	34	14,23
5.	869	38,34	877	33,06	5,28
6.	1043	39,83	1049	36,49	3,34
7.	1216	37,42	1224	31,73	5,69
8.	1389	27,27	1404	31,1	-3,83
9.	1562	23,9	1579	16,79	7,11
10.	1737	24,1	1755	10,76	13,34

Tab. 6.9: FFT trombonu s wah dusítkem

V grafu 6.17 lze pozorovat, že dusítko typu wah potlačuje poměrně výrazně první čtyři vyšší harmonické. Tomu odpovídá potlačení kmitočtového pásma do 700 Hz, které bylo objeveno u spektrogramů. Nejvíce je potlačena druhá harmonická, a to o téměř 30 dB, čím prakticky zcela odebrává tónu jeho mohutnost. Zbylé tři zmíněné harmonické jsou potlačeny o 14 – 23,5 dB, kdy dusítko dále v tónu trombonu snižuje jeho nosnost a zvuk se stává ostrý a zastřený. To také odpovídá pocitu při poslechu tónů hraných s tímto dusítkem. Konkrétní hodnoty útlumu dusítkem lze pozorovat výše v tabulce 6.9.

6.4.3 Porovnání formantových oblastí



Graf 6.18: LPC trombonu s wah dusítkem

Trombon s ostrým dusítkem - tón f, forte			
Bez dusítka			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	396	47,78	36 - 692
2.	1100	51,1	908 - 1268
S dusítkem			
Formanty	Frekvence [Hz]	Intenzita [dB]	Šířka [Hz]
1.	952	44,07	860 - 1116
2.	1224	43,12	1116 - 1332
3.	3928	27,77	3404 - 4108
4.	4940	23,44	4768 - 5076
5.	6052	20,71	5904 - 6200

Tab. 6.10: LPC trombonu s wah dusítkem

Pro ukázkou vlivu dusítka wah na formanty trombonu byl tentokrát zvolen tón f v dynamice *forte*. V kapitole 6.4.1 bylo pojednáno o potlačení spodních kmitočtů. V grafu 6.18 lze vidět, že tomu odpovídá fakt, že dusítko v tomto pásmu úplně odebralo první formant trombonu na 396 Hz. Jeho druhý formant na kmitočtu 1100 Hz mírně oslabilo a rozdělilo na dva formanty symetricky okolo původního.

Na vyšších kmitočtech vidíme typický účinek dusítka typu wah – vytvoření nových poměrně úzkých formantů na vyšších kmitočtech vždy blízko kmitočtů 4 kHz, 5 kHz a 6 kHz. Tomu také odpovídá hodnocení spektrogramů, kde už podobné rezonance byly naznačeny.

Stejně jako u všech dosavadních dusítek, i zde bylo provedeno LPC pro všechny měřené tóny ve všech dynamikách, tyto grafické závislosti lze pozorovat v příloze B.3. Z nich byly taktéž hledány formanty s pohyblivým středním kmitočtem závislým na aktuální výšce tónu, ale obdobně jako u trubky, žádný se zde nenachází. Jedná se většinou o pevné kmitočty většího množství úzkých formantů.

7 Simulace dusítek v prostředí Reaktor 6

7.1 Úvod do prostředí Reaktor 6

Pro vytvoření zásuvného pluginu s funkcí simulací měřených dusítek bylo vybráno prostředí Reaktor 6. Je to program firmy Native Instruments a jedná se o grafické mudální softwarové hudební studio umožňující navrhovat a stavět vlastní nástroje, samplery, efekty a další prostředky pro lepší zvuk. [10]

Jednou z hlavních částí tohoto programu je tzv. *Build mode*. V tomto režimu je možno od nejmenších základů tvořit vlastní fantazii v hudebním světě. Pomocí objektového programování je možné vybrat jednotlivé bloky a kombinovat je, skládat je, vymýšlet a počítat. Těmito bloky jsou například matematické operátory, nízkofrekvenční generátory, a další. Reaktor 6 nachází své největší využití především ve tvorbě syntezátorů a umělých zvuku právě za pomoci jeho mnoha druhů oscilátorů a možností úprav a kombinací. [10]

Další velikou zbraní tohoto prostředí je jeho možnost využít jak signály midi, tak i zvukové signály. Reaktor 6 navíc umí fungovat jako samostatná aplikace bez hostitelského softwaru, ale umí být načten i v DAW buď jako vst instrument, nebo i jako zásuvní plugin nastavený na zvukové stopě. Obou těchto variant v dalších částech práce bude využito.

Reaktor 6 je placený software, který lze pořídit na webu Native Instruments, ale zároveň tato firma poskytuje demo verzi aktivní vždy 30 minut po otevření, a to bez omezení počtu otevření. Neobsahuje další pokročilé funkce a možnosti, ale pro naši práci tato demo verze bohatě stačí.

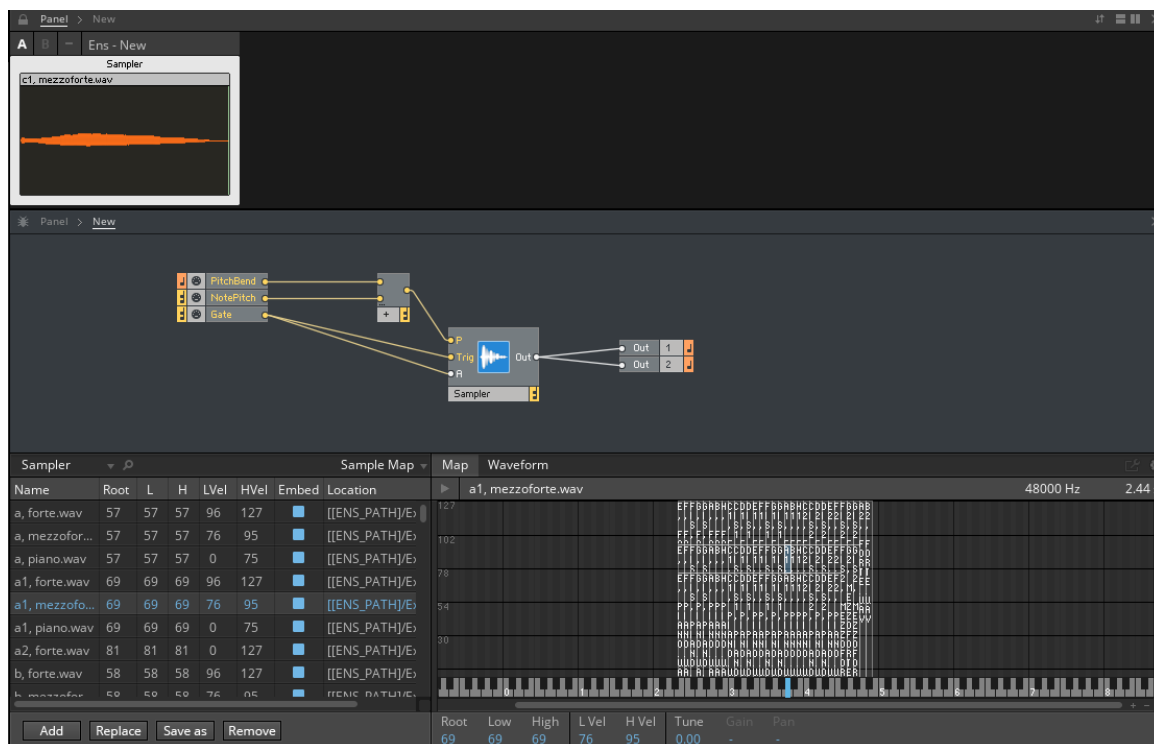
Reaktor 6 je sice prostředí pro vytvoření různých funkčních programů, ale nenabízí možnost vytvoření samostatné aplikace, je tedy nutné vždy vytvořené programy otevřít přímo v prostředí Reaktor 6. Proto je nutné pro použití námi vytvořených programu mít alespoň zmíněnou demo verzi programu vždy k dispozici. Více v manuálech vytvořených programů v příloze.

7.2 Tvorba virtuálního nástroje

Při měření vzorků trubky byl nahrán také celý rozsah trubky bez dusítka ve 3 dynamikách. Dle zadání práce bylo třeba tyto vzorky nahrát do sampleru a vytvořit tak použitelný virtuální nástroj.

V prostředí Reaktor 6 pro tento účel slouží přímo blok *Sampler*, který přijímá vstupní hodnoty dynamiky a výšky tónu a do kterého lze postupně nahrát všechny nahrané vzorky. Dále bylo třeba nastavit rozsah jednotlivých tónů, v našem případě vždy jen jeden tón na jednu klávesu a podobně bylo nastaven i dynamický rozsah pro daný tón. Pro midi je obecně dán hrubý rozsah hodnot *velocity* pro každou dynamiku. *Velocity* reprezentuje rychlost stisku klávesy, čímž simuluje hranou dynamiku. Pro naše tři nahrané dynamiky tedy byly určeny rozsahy *velocity*:

- *piano*: 0 – 75
- *mezzoforte*: 76 – 95
- *forte*: 96 – 127



Obr. 7.1: Struktura virtuálního nástroje v Reaktor 6

Na obrázku 5.1 lze vidět strukturu virtuálního nástroje s nahranými vzorky trubky. Hodnoty z přicházejícího signálu midi určují v jaké výšce a v jaké dynamice má být hraný tón a podle toho je vybrán nahraný vzorek trubky. Proměnnou *A*, což je amplituda hraného zvuku, ovlivňuje také vstupní brána *Gate*, která pro nalezení intenzity využívá hodnotu *velocity*. Po selekci výšky tónu, dynamiky a jeho hlasitosti je tón přehran do výstupů *Out*.

7.3 Simulace dusítek

Tato práce je primárně zaměřená na vytvoření zásuvného modulu v rámci pluginu, který bude simulovat námi měřená a analyzovaná dusítka. K tomu je prostředí Reaktor 6 také velmi výhodné. Pro vytvoření takového simulátoru se očekává použití různých filtrů, případně zkreslovačů a jiných modulů ovlivňující spektrum a Reaktor 6 jejich implementaci do struktury programu nabízí.

Při tvorbě simulátoru a i při zkoušení výsledných podob byl program zkoušen na vytvořeném virtuálním nástroji a dále na virtuálních nástrojích Session Horns opět od firmy Native Instruments a Miroslav Philharmonik od firmy IK Multimedia.

7.3.1 Použití simulátoru

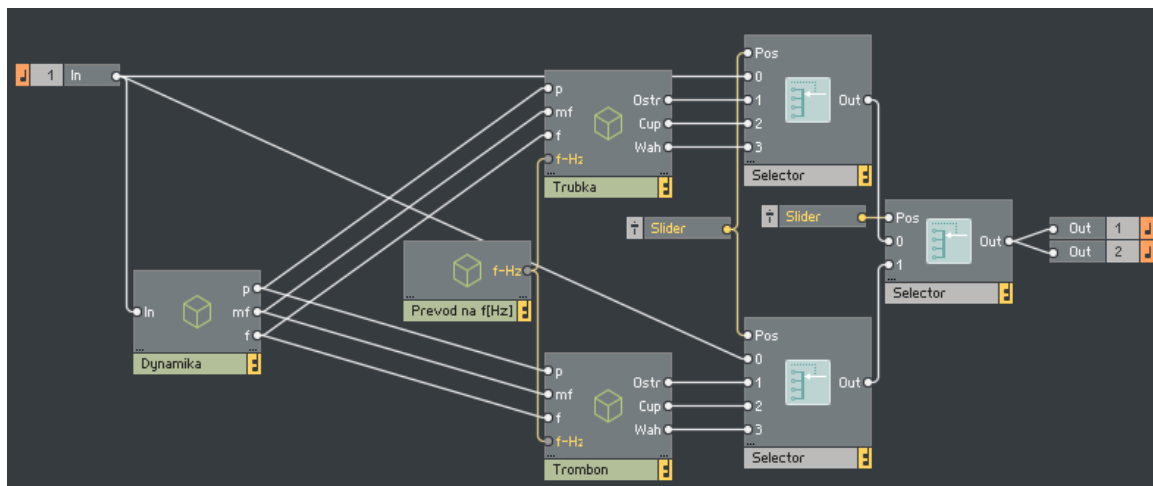
Při tvorbě tohoto programu byla základem popsána analýza spektra pomocí spektrogramů a formantových oblastí. To umožnilo použít sérii filtrů s posilovacím či potlačovacím charakterem a možností nastavit jakost filtru Q , kmitočtové centrum filtru a jeho *boost*, tedy posílení či potlačení v dB. Někdy bylo potřeba použít i *overdrive* či *saturator* pro vytvoření harmonických v pásmech vysokých kmitočtů, kde se v tónech hraných bez dusítka už žádné nenacházely.

Tento simulátor simuluje tři již popsaná dusítka pro každý nástroj, tedy ostré, cup, a wah a umožňuje simulace na základě hrané dynamiky a tam, kde bylo zjištěno, že je třeba, také v závislosti na výšce tónů. U obou nástrojů se v takovém případě jedná o dusítko typu cup. Reaktor 6 jako samotný plugin je zde potřeba načíst jako klasický plugin přímo na zvukovou stopu, na rozdíl od vytvořeného virtuálního nástroje. Do takového insert pluginu ale přichází jen samotný zvuk a identifikovat dynamiku na základě amplitudy zvuku není praktické, jelikož nástroj může hrát *forte*, ale stopa bude velmi slabá nebo naopak, nebo na začátku tónu určí *forte* a s klesající intenzitou tónu přepne na slabší dynamiky, což způsobí nepříjemné skoky. Proto je výhodné využít schopnosti Reaktor 6 nasměrovat midi z používaného virtuálního nástroje přímo do tohoto pluginu. A pokud se nejedná o virtuální nástroj, ale přímo hranou zvukovou stopu, stačí z ní získat midi, což dnes většina DAW jednoduše umožňuje a opět tyto midi nechat poslat přímo do pluginu Reaktor 6. Postup je popsán v manuálu simulátoru v příloze.



Obr. 7.2 Simulátor dusítek

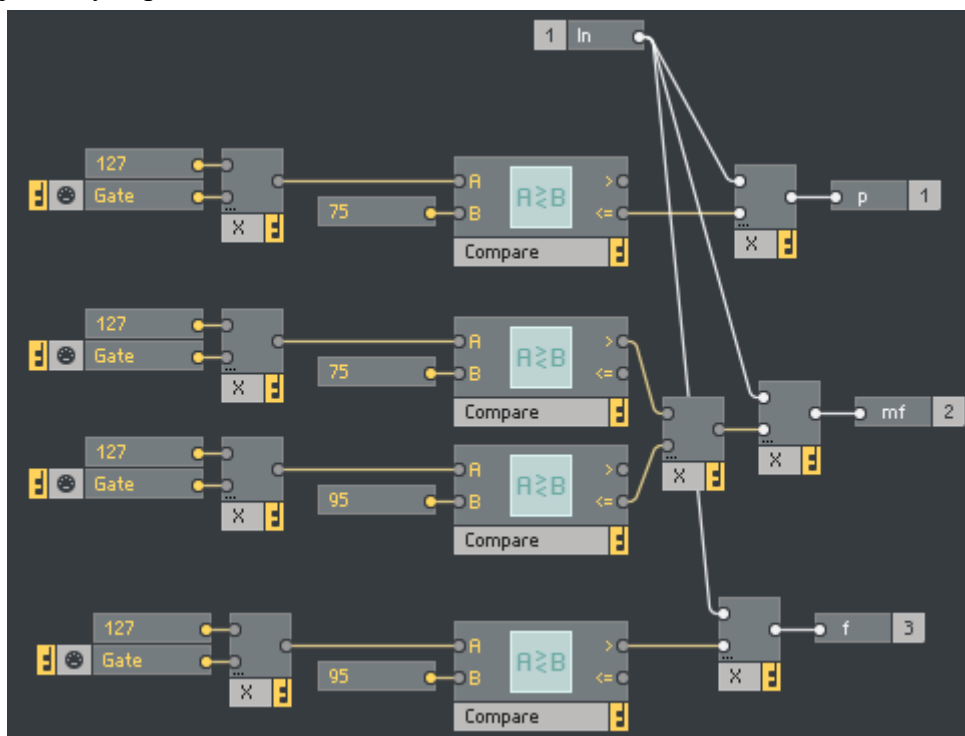
Na obrázku 5.2 lze vidět samotnou podobu pluginu při otevření vytvořeného programu. Jedná se o velmi jednoduché ovládání – v levé části je posuvník, pomocí kterého lze zvolit možnost simulace dusítka wah, cup, ostrého dusítka, nebo nechat hrát nástroj úplně bez dusítka. V prostřední části je druhý posuvník, kterým lze zvolit, jaký typ dusítka pro daný nástroj se má použít. Výhodou k dosažení takové jednoduché podoby pluginu je shoda typů dusítek pro trubku i trombon.



Obr. 7.3: Struktura programu

7.3.2 Struktura programu

Signál ze zvukové stopy vstupuje do programu modulem *In*. Následuje proces selekce hrané dynamiky v makru s názvem „Dynamika“ a na základě toho posílání signálu příslušným výstupem.



Obr. 7.4: Struktura makra Dynamika

Modul *gate* sice násobí hodnotu *velocity*, ale jeho rozsah je pouze v intervalu $<0,1>$. Je tedy nutno tento rozsah vynásobit číslem 127, abychom mohli správně rozeznat hranou dynamiku. Toto rozlišení proběhne pomocí matematického porovnání čísel vstupní hodnoty *velocity* a nastavenou hranici dynamiky, které byly vypsány v předchozí kapitole. Pokud je porovnání úspěšné, modul *Compare* vyše ze svého výstupu hodnotu 1. Ta je poté vynásobena s čistým vstupním signálem a poslána do výstupu, který odpovídá dané dynamice. Celý proces je vidět na obrázku 7.4 výše.



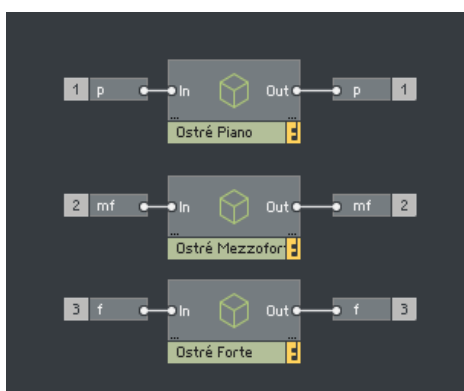
Obr. 7.5: Struktura makra pro přepočítání midi klávesy na kmitočet

Po selekci dynamiky následuje samostatné makro pro převedení čísla midi klávesy rozpoznané z příchozího signálu midi na příslušný kmitočet hraného tónu v Hz. Převod probíhá pomocí vzorce

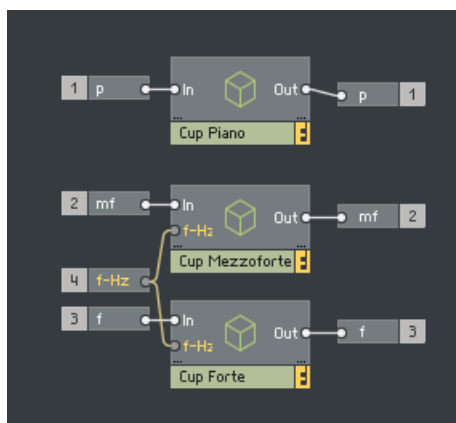
$$f = 2^{\frac{m-69}{12}} * 440 \quad (7.1)$$

kde f je hledaný kmitočet tónu a m je číslo midi klávesy, které do makra přichází pomocí modulu *NotePitch*. Tento vztah vychází z referenčního tónu a^1 , který má číslo midi klávesy 69 a kmitočet 440 Hz.

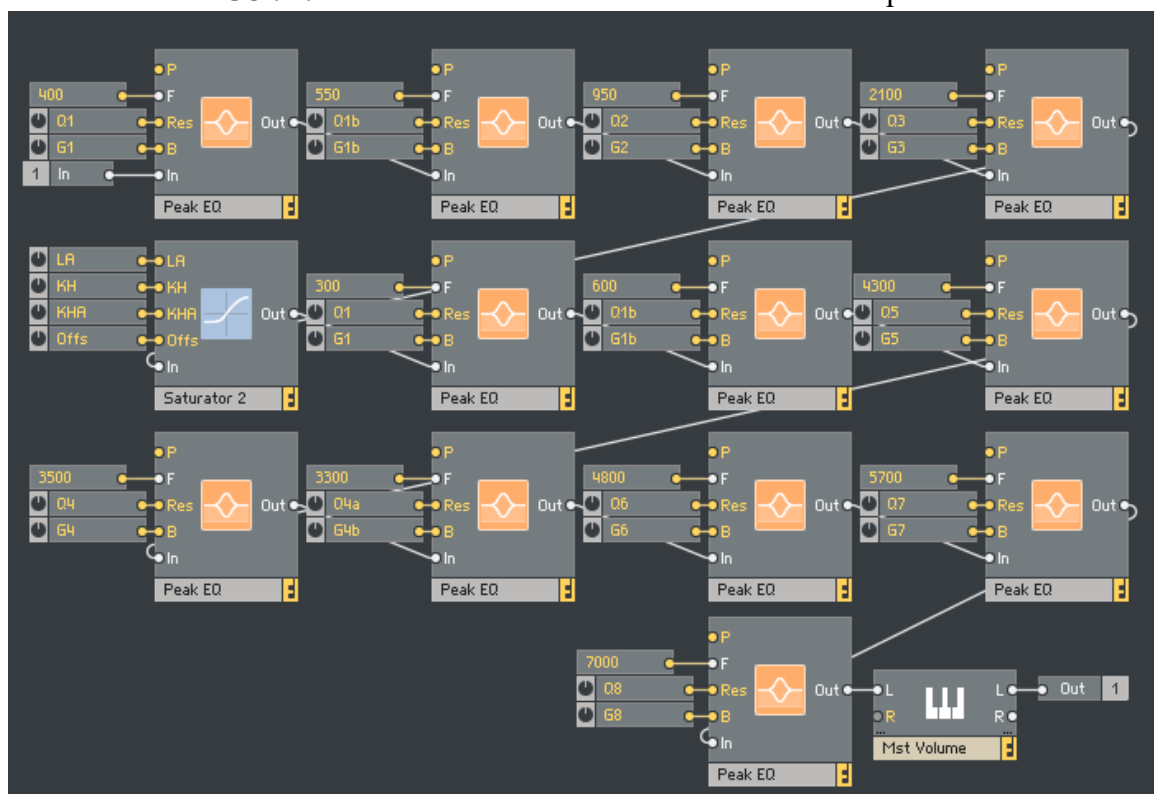
Dále následují makra pro jednotlivé nástroje. V každém z nich jsou tři makra pro simulaci jednotlivých dusítek. A v každém z nich jsou zabudované tři další makra, každé pro jednu dynamiku. Struktury jednotlivých dynamik jsou podobné, rozdíl je počet filtrů a jejich parametry, případně použití zkreslovačů či saturátorů, proto zde bude ukázáno jen několik příkladů. Pro zobrazení kompletní struktury se dá po otevření pluginu v Reaktor 6 za pomoci tlačítka „Edit“ otevřít celá struktura programu.



Obr. 7.6: Struktura makra ostrého dusítka trubky



Obr. 7.7: Struktura makra trombonového dusítka cup

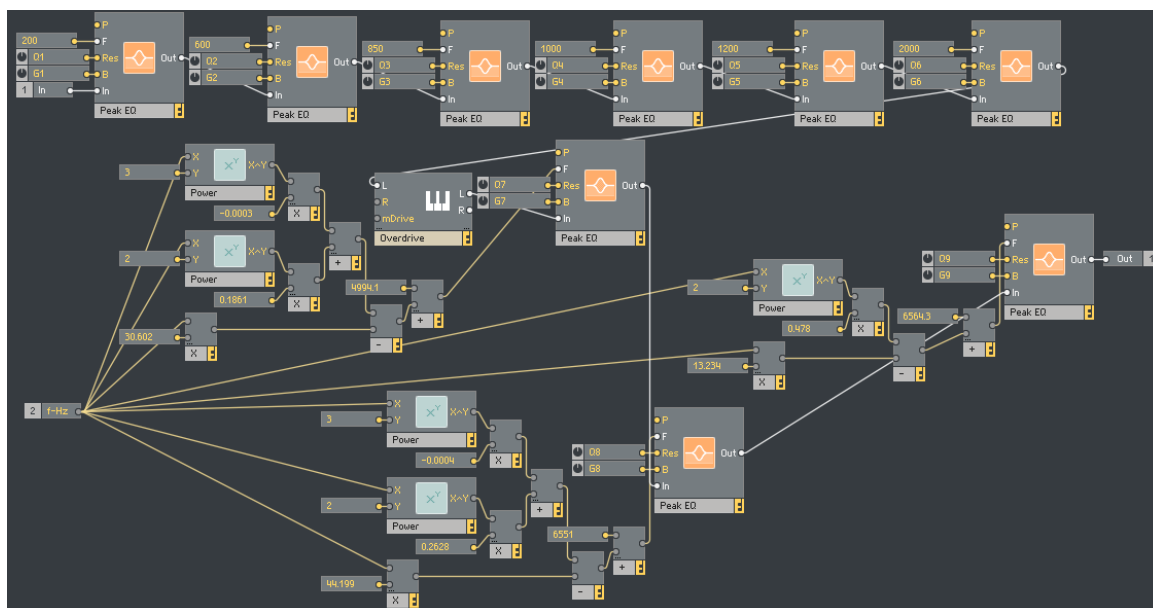


Obr. 7.8: Struktura makra dynamiky mezzoforte pro trubkové dusítka wah

Na obrázku 7.8 výše lze vidět kompletní strukturu makra určeného pro dynamiku mezzoforte trubkové dusítka typu wah. Vidíme zde použití mnoha filtrů, kdy každý filtr dále obsahuje různou jakost a úroveň posílnění či potlačení. Dále lze vidět použití dvou saturátoru pro mírné zkreslení spektra a získání především vyšších kmitočtů. Všechny tyto hodnoty byly použity na základě analýzy spektra a analýzy formantových oblastí z kapitoly 5. Před posledním modulem *Out*, kterým signál putuje dále, lze vidět modul *Mst Volume*. Jedná se pouze o hlasitostní úpravu, kdy použití velkého množství filtrů celý signál utlumilo a tím byla narušena původní úroveň dynamiky. Tímto modulem se dá snadno dojít zpět ke správně hladině hlasitosti.

Tyto moduly jsou za sebou řazeny sériovým spojením tak, že výstup jednoho vždy směřuje do vstupu následujícího. Ve struktuře jde vidět, že každý modul má své

nastavitelné parametry. U filtrů s názvem Peak EQ s jedná o tři námi nastavované parametry kmitočtu F , jakosti filtru Res a hodnota posílení (potlačení pokud je záporná) B . Tyto parametry lze nastavit buď napevno pomocí hodnoty, jak lze vidět u všech kmitočtů, nebo pomocí otočného potenciometru použitého u jakosti a zesílení. Tyto potenciometry jsou vždy po nastavení skryté, jinak by byly k dispozici v základním zobrazení simulátoru. Pokud bude chtít s tímto vytvořeným simulátorem experimentovat více, lze kterékoli makro nebo potenciometr zobrazit pomocí pravého kliknutí – properties – view – visibility – on/off.



Obr. 7.9: Struktura makra dynamiky *forte* pro trombonové dusítko cup

Jako druhá ukázka je výše na obrázku 7.9 zobrazena sktruktura simulace dynamiky *forte* trombonového dusítka typu cup. Na první pohled možná složitější struktura obsahuje mimo již zmíněné filtry *overdrive*, který slouží k vytvoření a zvýraznění vyšších kmitočtů, který původní tón tolik sám o sobě nemá.

Dalším prvkem, kvůli kterému je zde konkrétně tato struktura vyobrazena, jsou proměnné parametry kmitočtu pro některé filtry. Zde se jedná o použití rovnic 6.2, 6.3 a 6.4, kdy se využívá vstup $f-Hz$, který nese kmitočet hraného tónu, a dále krok po kroku následující matematické úpravy, kterými Reaktor 6 disponuje, až do výsledné funkce. Takto zjištěný kmitočet formantu je použit jako jednoduchý parametr pro daný konkrétní filtr.

Podobných struktur jako zde dvě zobrazené je v programu pro každé dusítko v každé dynamice pro oba nástroje celkem 18.

7.4 Zhodnocení kvality simulace

Vytvořený simulátor byl testován především na vytvořených samplech trubky a trombonu a dále také na virtuálních nástrojích Session Horns také od firmy Native Instruments a Miroslav Philharmonik od firmy IK Multimedia. K vytvoření co

nejvěrohodnější simulace byly použity získané informace z oblasti hodnocení spektrogramů a srovnání formantů pomocí lineární predikce. Dále při každém kroku úprav následoval zvukový poslech a subjektivní hodnocení, zda se jedná o správný směr úpravy a zda naměřená teorie odpovídá praktickému poslechu.

K vytvoření tohoto pluginu byly použity poměrně jednoduché prvky ve velkém množství kombinací a v mnoha variacích nastavení. Navzdory tomu se jedná o poměrně věrohodné simulace, které lze snadno použít na nasazení virtuálního dusítka na trombon či trubku v jakékoli zvukové úpravě, ať už na virtuální nástroj, nebo i živý, za předpokladu správného nastavení.

U použití simulace na vytvořený sampler ubírá její kvalita úroveň šumu v použitých vzorcích. Pro lepší použití by bylo třeba kvalitní prostředí nahrání vzorků pro sampler a analýzu barvy zvuku a kvalitnější technika, např. mikrofon, s nižší úrovní šumu. U některých úprav, především použití zkreslovačů nebo filtry na vyšších kmitočtech zesilují zvuk šumu a ačkoli zní simulace dusítka velmi věrohodně, může dojem a zážitek právě tento problém zkazit.

U ostatních zmíněných virtuálních nástrojů byl účinek simulace o mnoho lepší, kvalita původního zvuků, který prochází úpravami je opravdu znát. U těchto kvalitních samplerů dojem místy ale kazí také jeden fakt, a to, že většinou jsou zvuky, které tyto nástroje vyluzují, jít efektové zpracovány a obsahují např. dozvuk. Tento dozvuk poté prochází naší úpravou simulace také, což v porovnání s reálnou situací není správně. Nicméně nejedná se o zásadní problém. Díky tomu, že obecně je každé dusítko trochu jiné, zde není nijak dané, do jaké míry je něco špatně či dobře. Důležitý je výsledný dojem.

Pokud bychom chtěli výslednou úpravu zvuku více zdokonalit, možný směr je ještě vytvořit v reaktoru modul pro crossfade, který Reaktor 6 v základní verzi nenabízí a pro tuto práci nebyl sestrojen. Přehrání sampleru a následný náhlá změna samplu někdy způsobí cvaknutí ve střihu mezi vzorky daných zvuků, což kvalitu také snižuje. Dá se ale do programu přidělat. Jedná se ovšem o problém sampleru, u komerčních virtuálních nástrojů za použití simulace k tomuto problému nedochází.

Po vytvoření simulátoru byl také vyzkoušen jeho efekt na živý zvuk nástroje, kdy je důležitá správně extrakce midi ze živého signálu a následně správné nastavení. Výsledek byl velmi uspokojující, ze subjektivního pohledu příjemnější než u virtuálních nástrojů. To je pravděpodobně největší výhoda práce v prostředí Reaktor 6, kdy je v nabídce široká variabilita použití výsledného produktu.

8 Závěr

Ke konci této práce bych chtěl stručně shrnout, čeho všeho bylo ve výsledku dosíleno. V první řadě proběhlo nahrávání trubky a trombonu bez dusítek a se třemi dusítky v různých dynamikách. Nahrané vzorky byly následně analyzovány – bylo srovnáno spektrum tónů hraných bez dusítek a s dusítky, byly porovnány harmonické složky a také vliv dusítek na formantové oblasti nástroje.

V dalším kroku byl kompletní rozsah trubky i trombonu ve všech nahraných dynamikách použit pro vytvoření funkčního virtuálního nástroje pomocí sampleru v prostředí Reaktor 6.

V posledním bodě a zároveň hlavním tématem této práce bylo vytvořit program simulující funkci dusítek. Pro tento program bylo zvoleno opět prostředí Reaktor 6 a pomocí informací zjištěné z analýzy vzorků v předchozích krocích práce byly sestaveny série filtrů a zkreslovačů upravujících zvuk do finální podoby tak, aby reálně simulovaly vliv dusítek na skutečný nástroj. Takto byl sestaven funkční plugin který plní funkci simulaci dusítek úpravou živé stopy za přítomnosti signálu midi dodávajícího informaci o vstupních hodnotách hraných tónů.

Na tuto práci lze navázat nahráním většího množství dusítek, jelikož je na světě mnoho dalších typů, které zvuk trubky nebo trombonu upravují všelijakým směrem. Zároveň se dá simulátor rozšířit o jakékoli další části – jedná se o „open source“ preset, ve které se dá nadále dále experimentovat.

Nicméně směr, jak na práci skutečně navázat, je vytvořené simulace používat a využít rčení „v hudbě není nic dané“ – vytvořené úpravy lze koneckonců použít nejen na původně zadaný trombon a trubku, ale na libovolný zvukový signál a využít digitálních úprav naplno, např. zní zajímavě zkusit simulovaný vliv dusítek na lidský zpěv, jiné dechové nástroje a další libovolné zdroje zvuku za účelem rozšíření fantazie možností, které mohou inspirovat další studenty nebo kohokoli, kdo rád experimentuje.

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] FLETCHER, Neville H. a Thomas D. ROSSING. *The physics of musical instruments*. 2nd ed. New York: Springer, 1998. ISBN 0-387-98374-0.
- [4] KOŠAŘ, Vojtěch. *Analýza účinku dusítek na barvu pozounu a trubky*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] 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.
- [6] GEIST, Bohumil. *Akustika: jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi*. Praha: Muzikus, c2005. ISBN 80-86253-31-7.
- [7] SMÉKAL, Zdeněk. *Analýza signálů a soustav – BASS*. Elektronická skripta. Brno, 2012
- [8] 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.
- [9] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. *MATLAB: tvorba uživatelských aplikací*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-730-0133-0.
- [10] Native instruments reaktor 4. (2003, May). *Canadian Musician*, 25, 70. Retrieved from <https://www.proquest.com/magazines/native-instruments-reaktor-4/docview/216496459/se-2?accountid=17115>

Seznam zkratek

p	dynamika piano
mf	dynamika mezzoforte
f	dynamika forte
cm	centimetr
Hz	Hertz
FFT	Fourierova transformace
STFT	krátkodobá Fourierova transformace
LPC	lineárně predikční analýza
dB	decibel

Seznam příloh

A Přehled všech LPC trubky

A.1 LPC trubky s ostrým dusítkem

A.2 LPC trubky s dusítkem cup

A.3 LPC trubky s wah dusítkem

B Přehled všech LPC trombonu

B.1 LPC trombonu s ostrým dusítkem

B.2 LPC trombonu s dusítkem cup

B.3 LPC trombonu s wah dusítkem

C Manuály..... 38

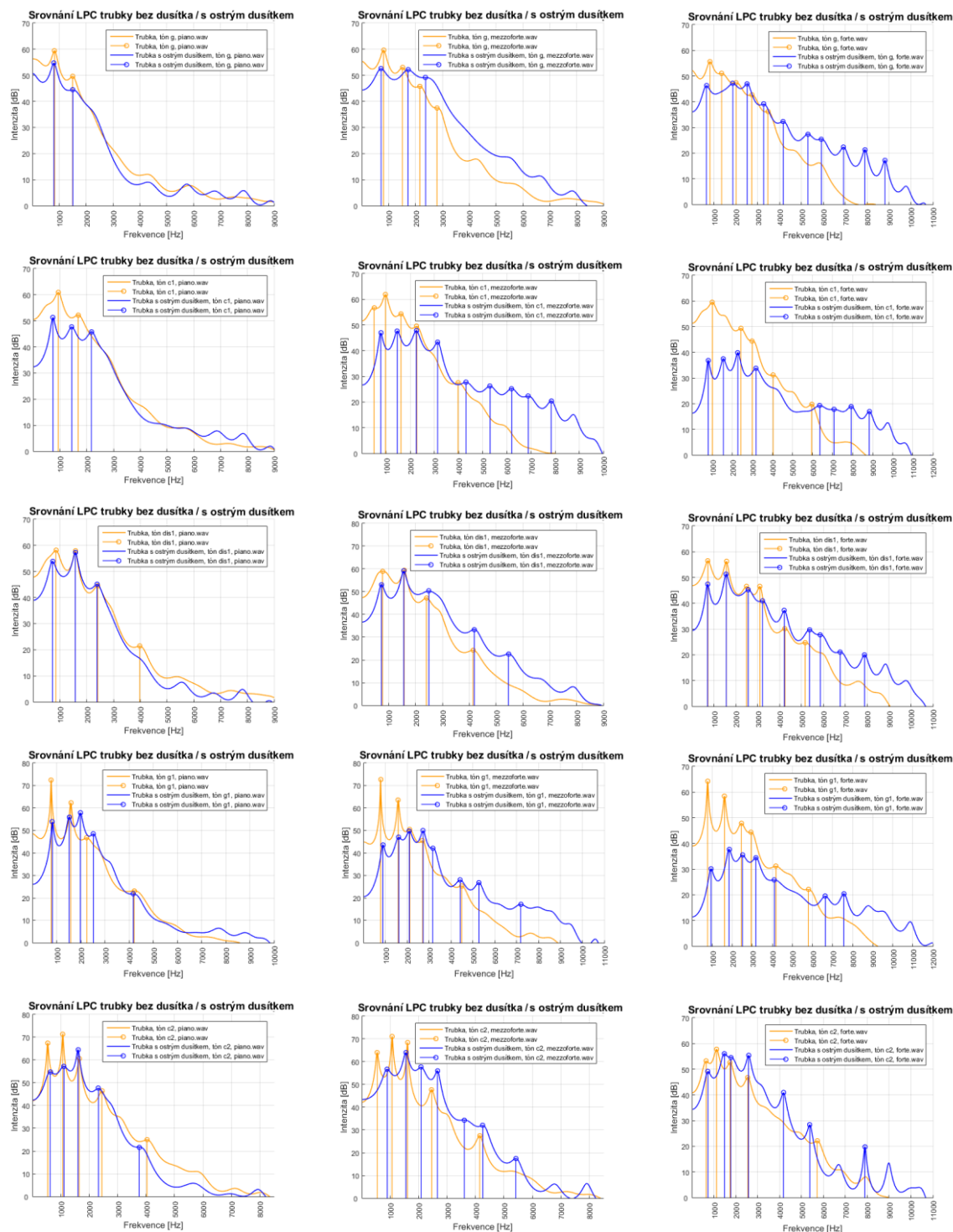
C.1 Sampler – manuál..... 38

C.2 Simulátor dusítek – manuál..... 40

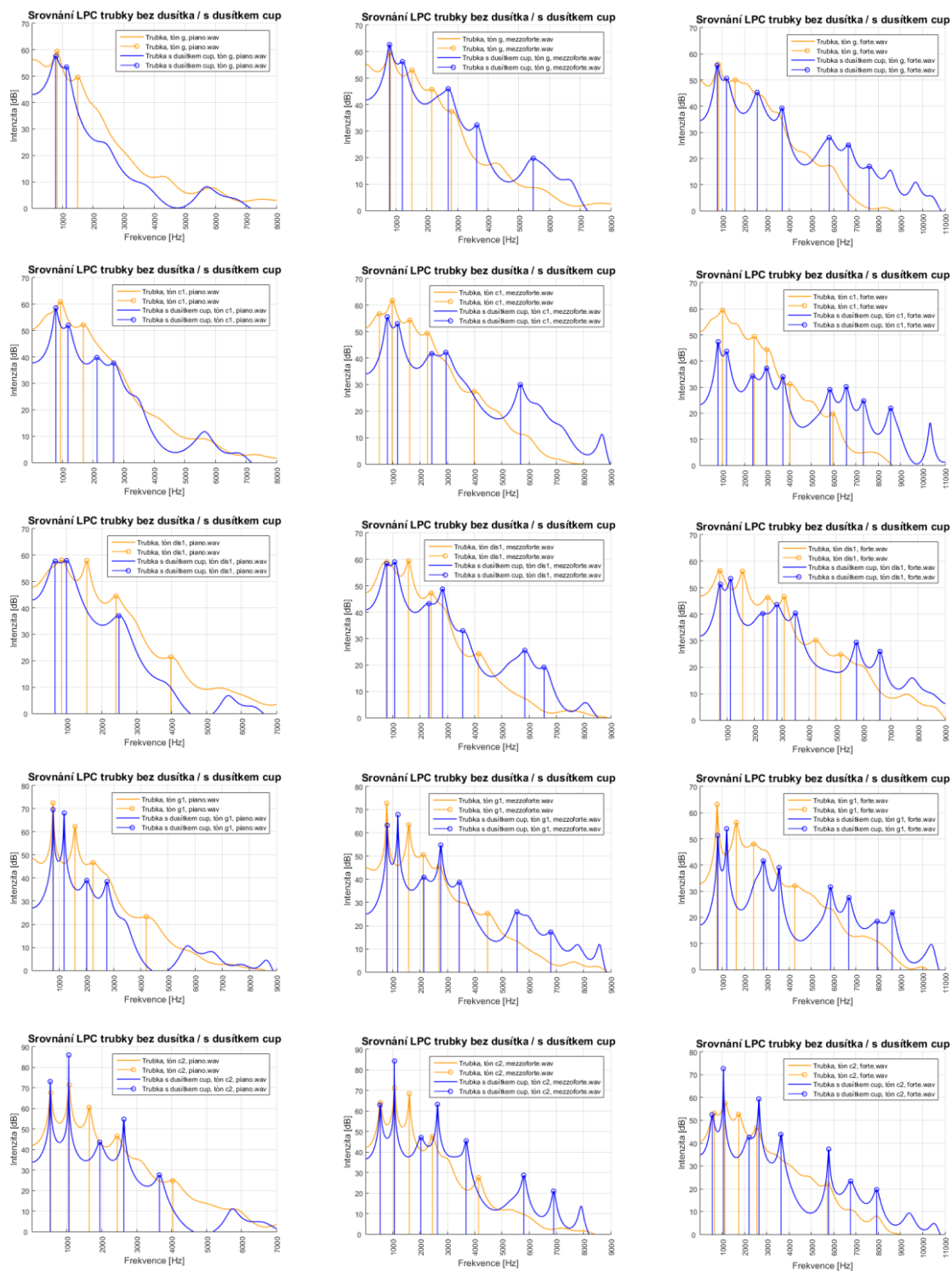
D Obsah přiloženého CD..... 42

A Přehled všech LPC trubky

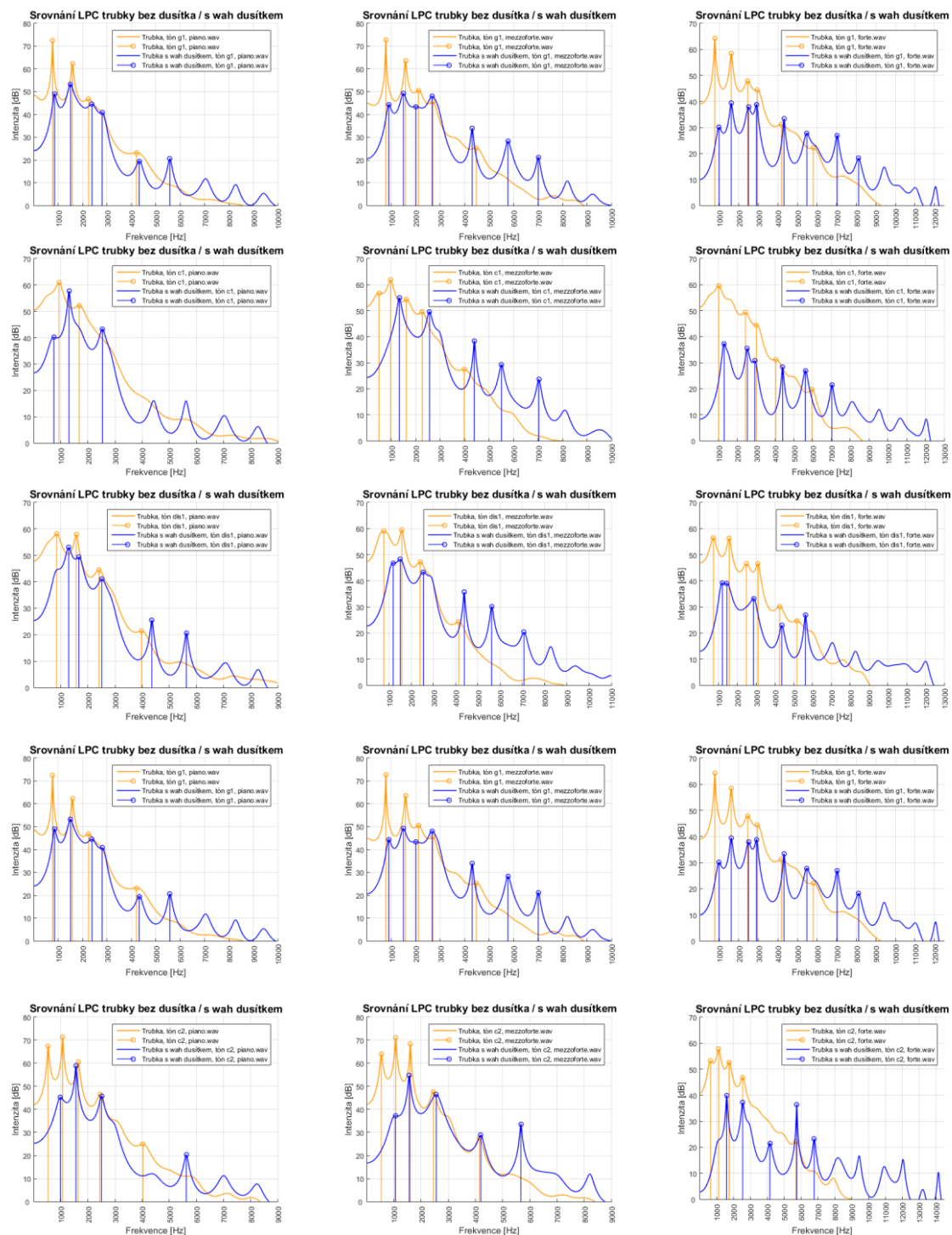
A.1 LPC trubky s ostrým dusítkem



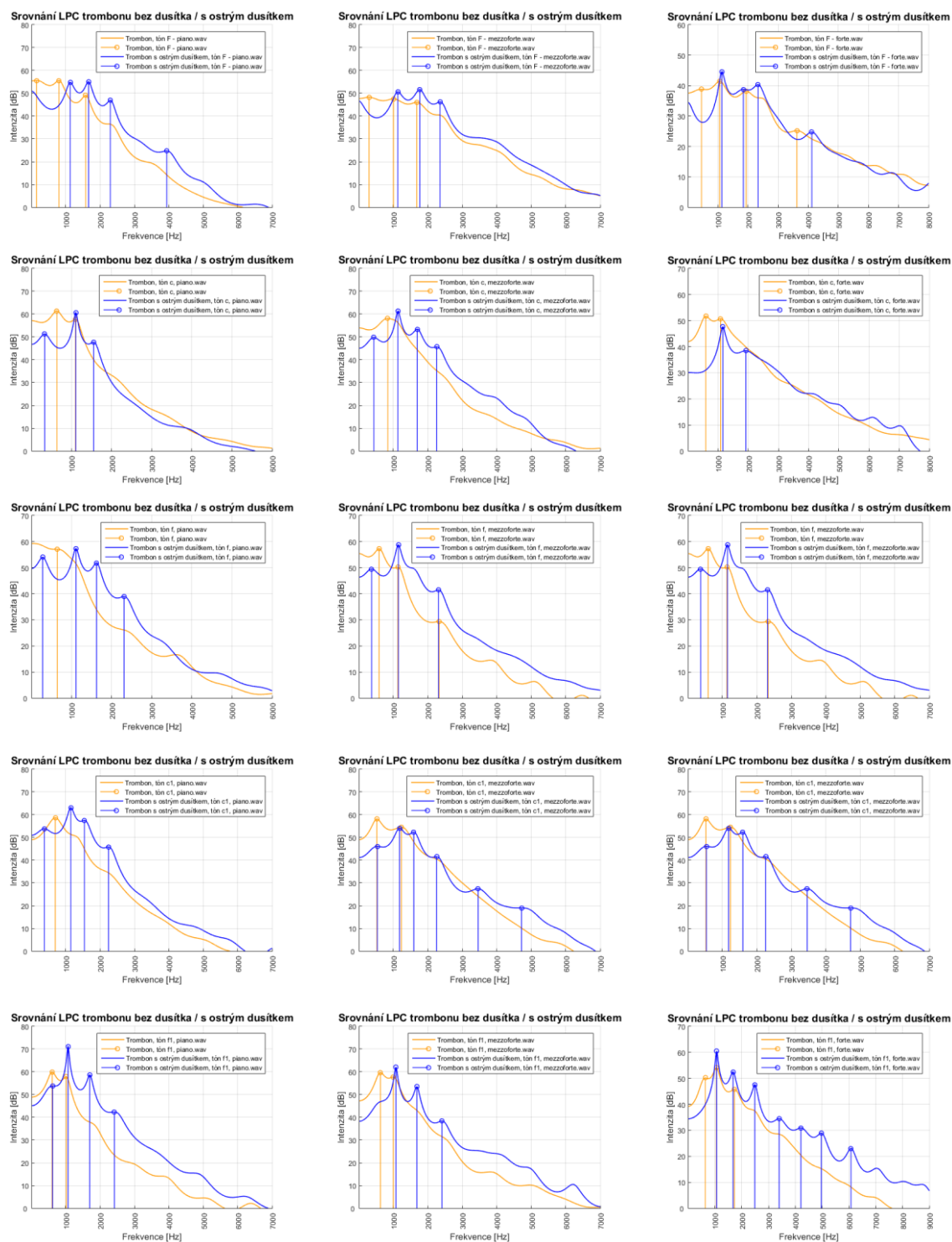
A.2 LPC trubky s dusítkem cup



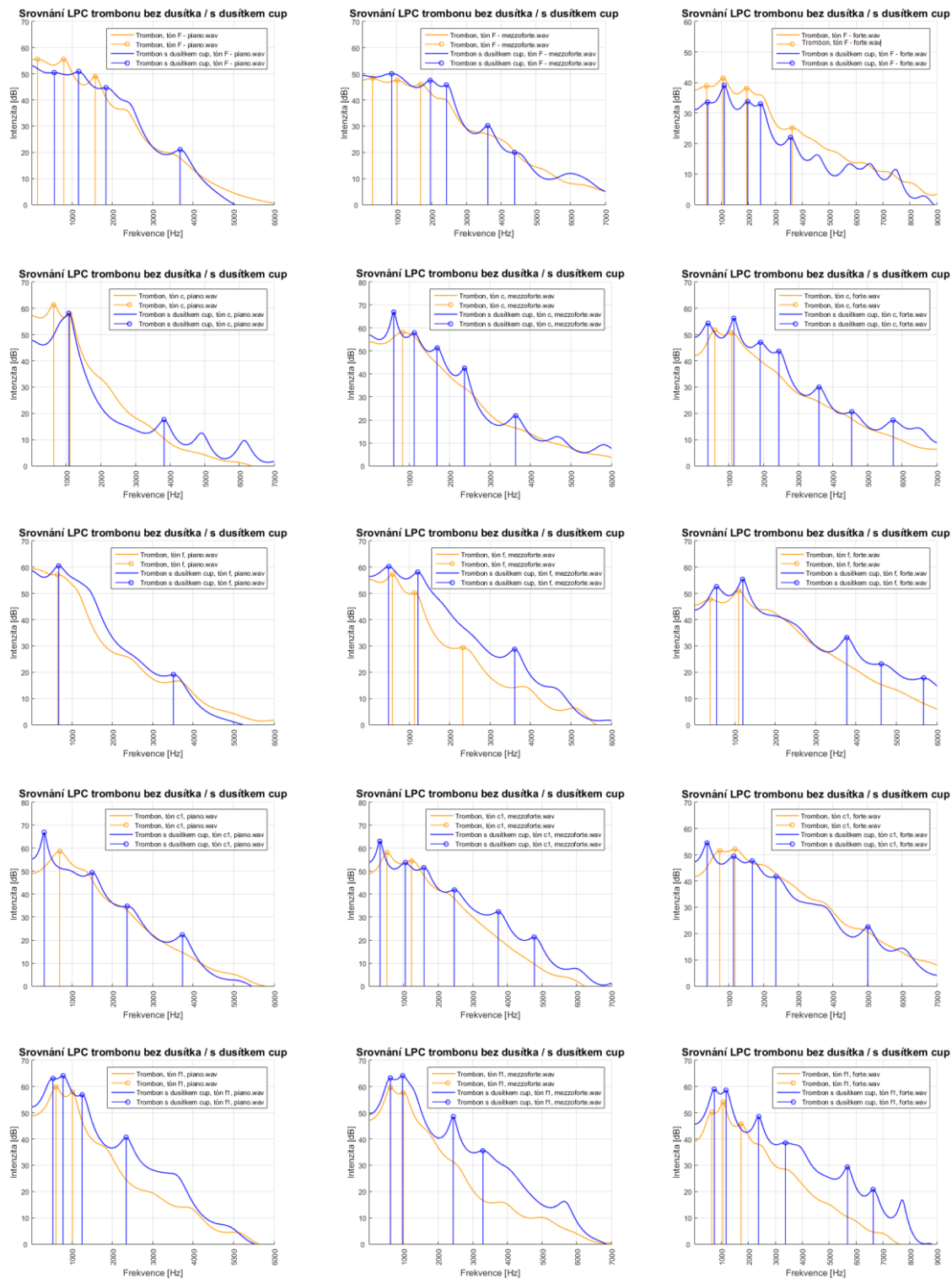
A.3 LPC trubky s wah dusítkem



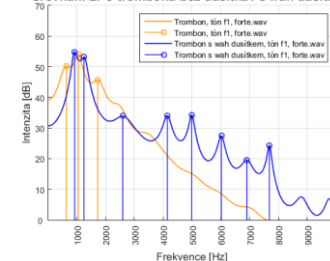
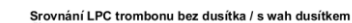
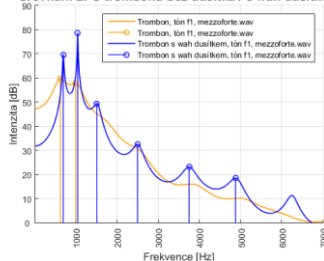
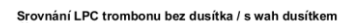
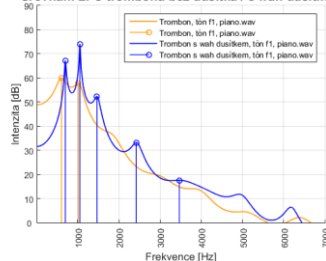
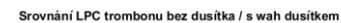
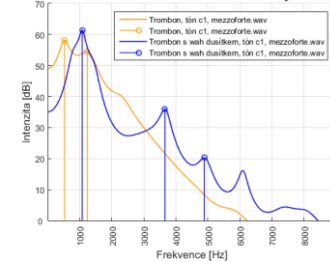
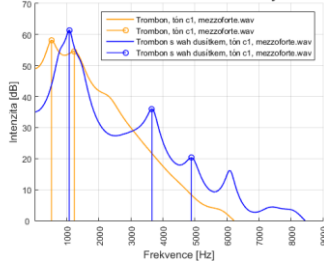
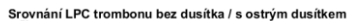
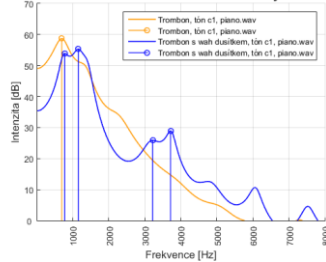
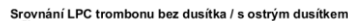
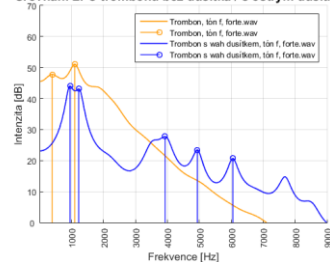
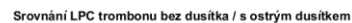
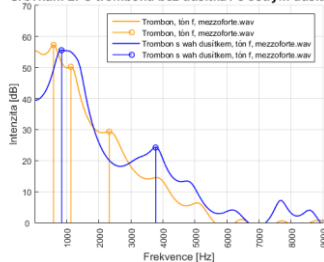
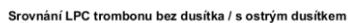
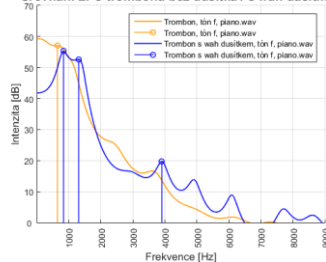
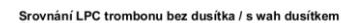
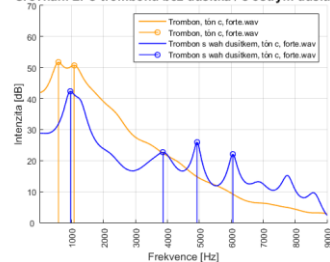
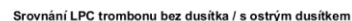
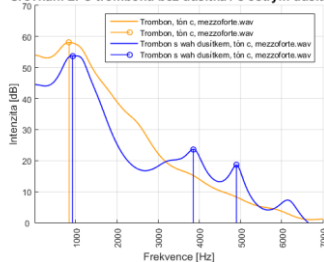
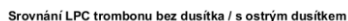
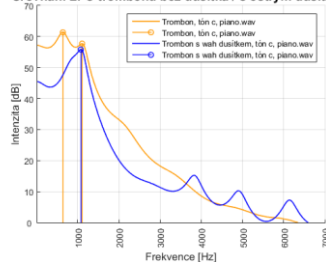
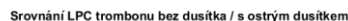
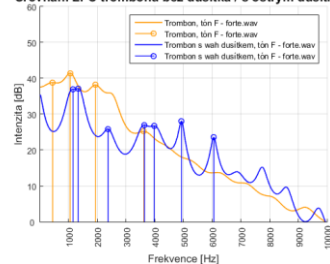
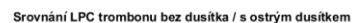
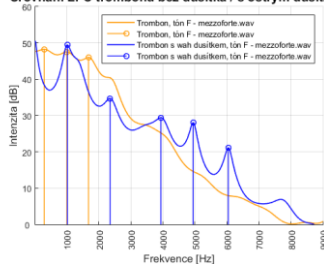
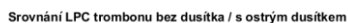
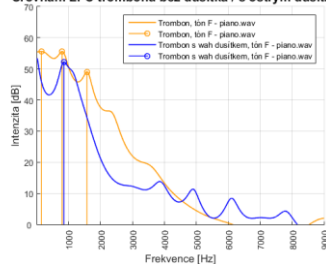
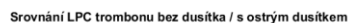
B.1 LPC trombonu s ostrým dusítkem



B.2 LPC trombonu s dusítkem cup



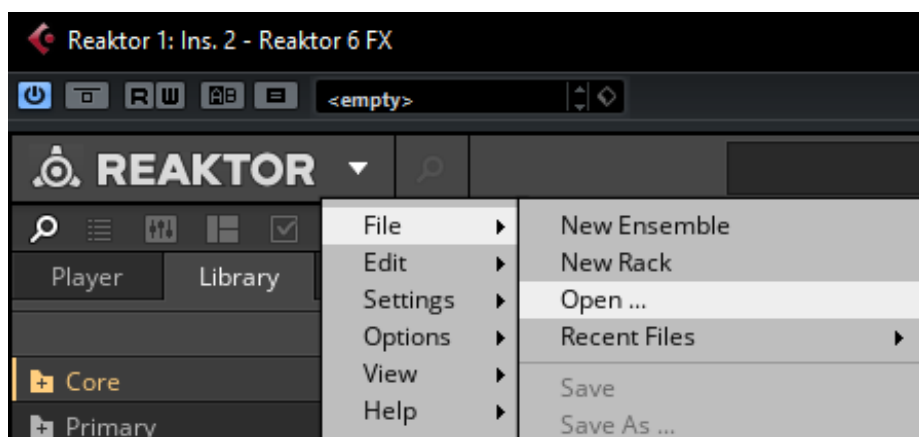
B.3 LPC trombonu s wah dusítkem



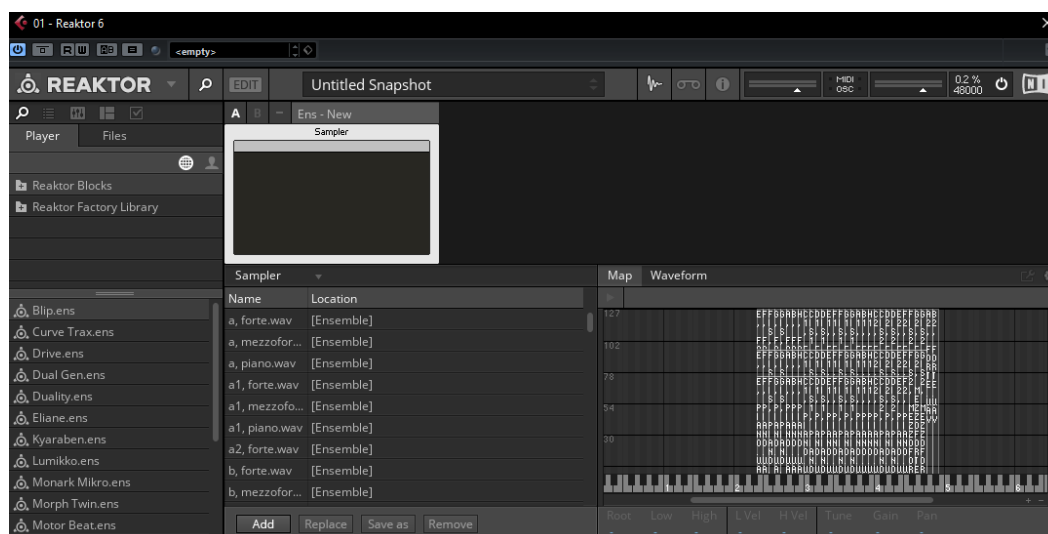
C Manuály

C.1 Sampler – manuál

- 1) Pro použití samplerů je potřeba mít nainstalovanou alespoň demo verzi programu Reaktor Player od firmy Native Instruments – odkaz: [zde](#). Tato demo verze je plně funkční a pro plný chod simulace dostačující. Je omezená na 30 minut, ale poté lze projekt znovu načíst a tento limit čerpat znovu a znovu.
- 2) Před použitím je důležité, aby programy Sampler_Trubka.ens a Sampler_Trombon.ens zůstaly ve stejné složce, ve které se nachází jejich odpovídající složka Export s nahrávanými zvuky.
- 3) Po otevření DAW maštete Reaktor jako klasický vst instrument.
- 4) Po otevření pluginu Reaktor načtete program Sampler.ens pomocí Menu -> File -> Open -> (Vaše složka) -> Sampler -> Sampler.ens



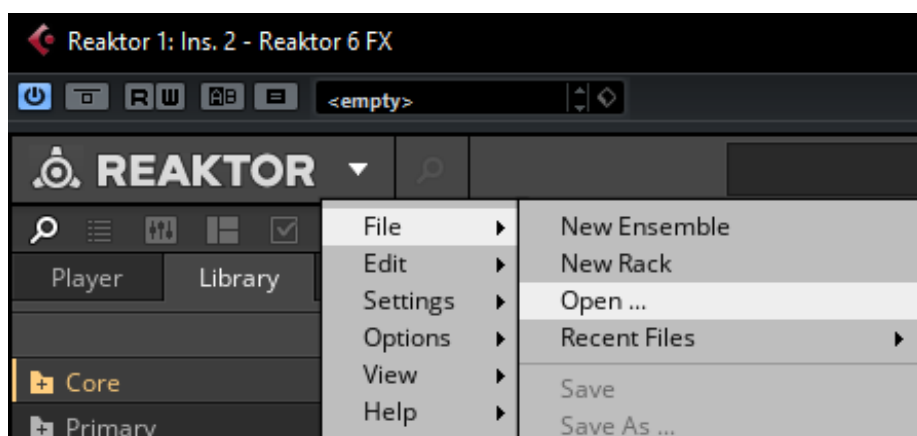
Po načtení by měl být vidět program sampleru:



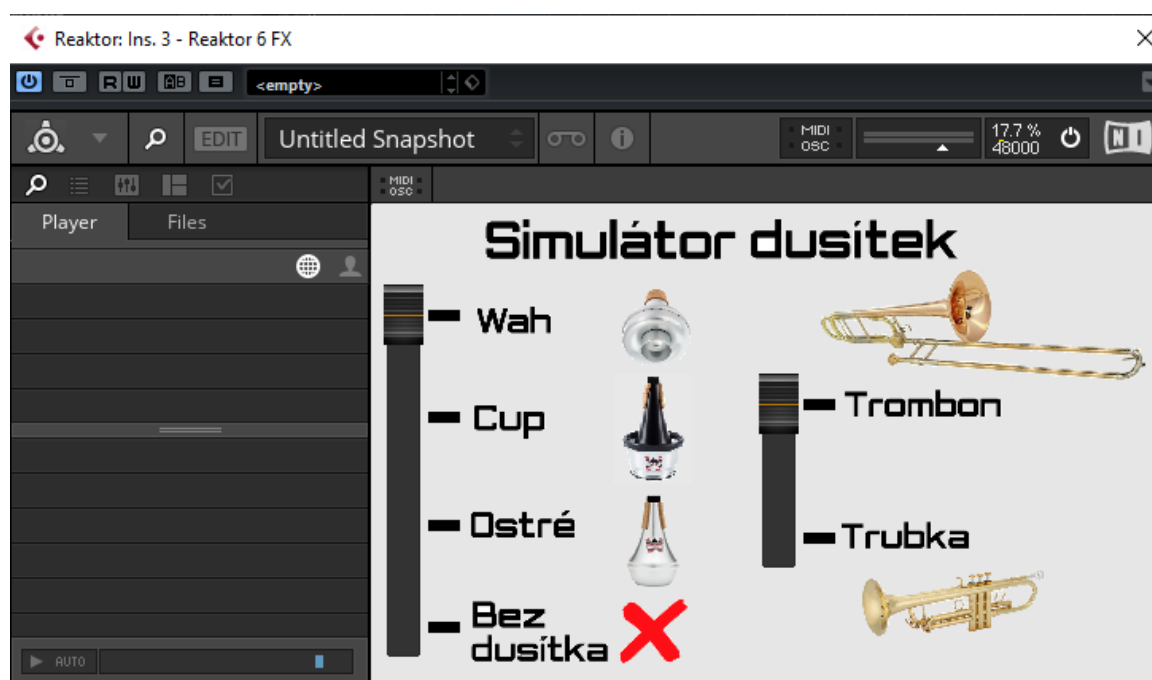
- 5) Nyní je sampler v provozu a bude přehrávat vaše midi stopy jako klasický vst instrument.
- 6) Pro nahlédnutí do tvorby programu lze použít tlačítko EDIT, kdy se okno Reaktoru zvětší a v dolní polovině lze vidět použité nástroje, makra apod. Ovšem je třeba upozornit že, v tuto chvíli můžete sami program plně editovat a hrozí, že při neopatrnosti bude narušen chod programu.

C.2 Simulátor dusítek – manuál

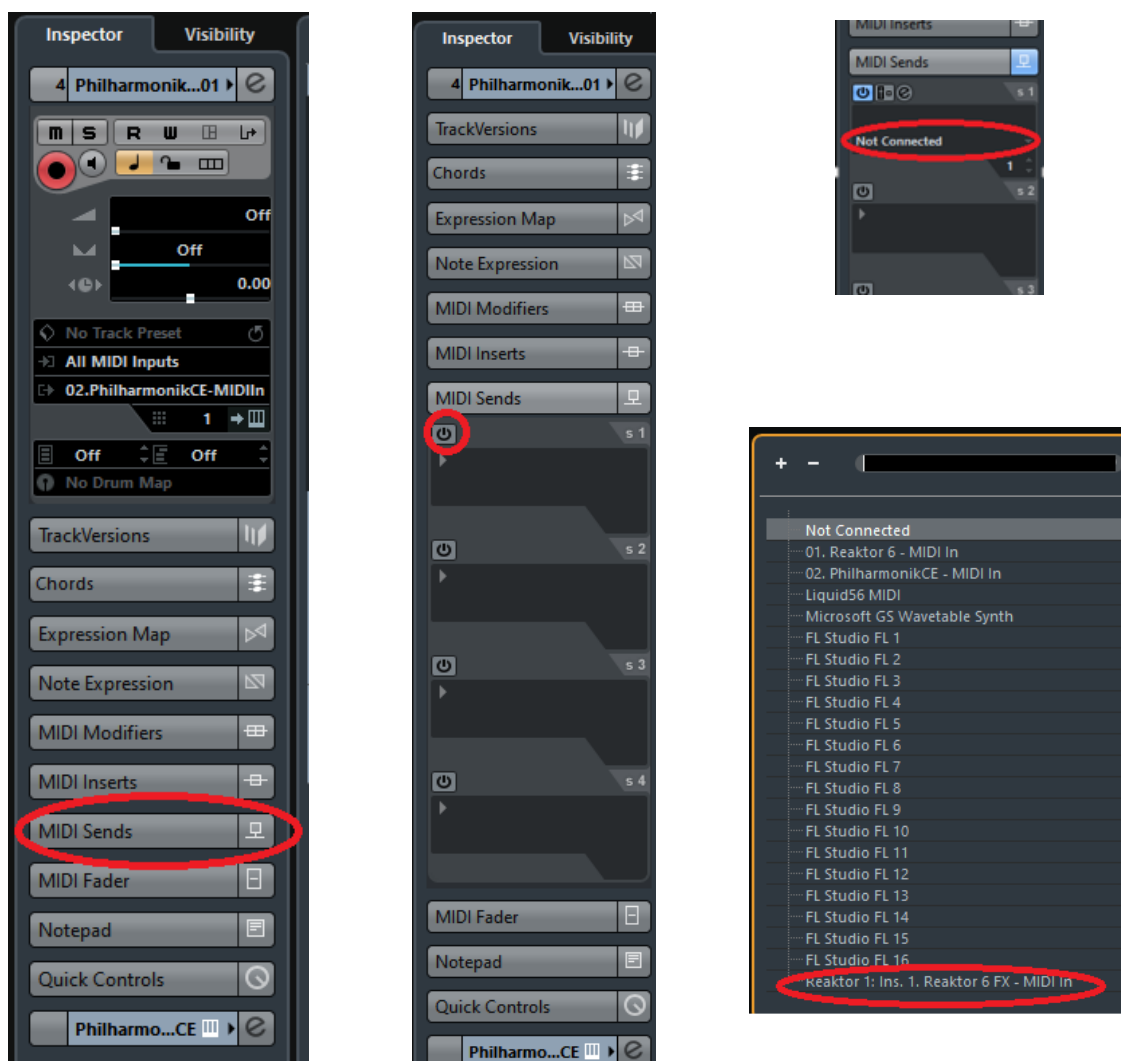
- 1) Pro použití programu simulace je potřeba mít nainstalovanou alespoň demo verzi programu Reaktor Player od firmy Native Instruments – odkaz: [zde](#). Tato demo verze je plně funkční a pro plný chod simulace dostačující. Je omezená na 30 minut, ale poté lze projekt znovu načíst a tento limit čerpat znovu a znovu.
- 2) Po otevření DAW načtete Reaktor jako klasický vst plugin typu insert na zvukový kanál použitého vst instrumentu.
- 3) Po otevření pluginu Reaktor načtete program Simulace.ens pomocí Menu -> File -> Open -> (Vaše složka) -> Simulace.ens



Po načtení by měl být vidět program simulace:



- 4) Dále je potřeba nastavit správný routing midi z vst instrumentu přímo do Reaktoru.
Ukázka v Cubase:



Pokud DAW takovou funkci nemá, lze jednoduše vytvořit další midi stopu, kam zkopírujete stejné midi noty jako ve stopě Vašeho nástroje a jako její nástroj zvolte používaný insert plugin Reaktor, který se v tu chvíli ukáže i mezi nabízenými vst nástroji.

- 5) Nyní je program simulace v provozu. Po spuštění vaší midi stopy ve vst instrumentu trubky můžete v programu měnit presety wah dusítka cup dusítka, ostrého dusítka nebo bez dusítka a také použití pro trubku nebo trombon.
- 6) Simulace lze provést i na zvukové stopě živého nástroje, je potřeba ale vytvořit stopu midi se stejnou melodií a dynamikou, jako hraje živý nástroj a stejným způsobem jako u vst nástroje nastavit routing midi send do pluginu Reaktor. Dnes většina DAW umí takové midi z melodie živého nástroje bez problému získat.
- 7) Pro nahlédnutí do tvorby programu lze použít tlačítko EDIT, kdy se okno Reaktoru zvětší a v dolní polovině lze vidět použité nástroje, makra apod. Ovšem je třeba upozornit že, v tuto chvíli můžete sami program plně editovat a hrozí, že při neopatrnosti bude narušen chod programu.

D Obsah přiloženého CD

Přiložené CD obsahuje složku se všemi nahranými vzorky, složku s vytvořeným samplerem spolu s jeho kořenovou složkou pro používané vzorky a program simulátoru dusítek.