



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**ANALÝZA SYTOSTI SPEKTRA A SMĚROVOSTI
VYZAŘOVÁNÍ U BAROKNÍHO, MODERNÍHO A
PLASTOVÉHO POZOUNU**

ANALYSIS OF SPECTRAL DENSITY AND DIRECTIONAL RADIATION OF BAROQUE, MODERN, AND
PLASTIC TROMBONE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Cibuľa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**
Ústav telekomunikací

Student: Marek Cibula

ID: 165034

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Analýza sytosti spektra a směrovosti vyzařování u barokního, moderního a plastového pozounu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Analyzujte spektrum a směrovou vyzařovací charakteristiku u tří druhů pozounů – barokního, moderního, plastového. V prostředí Matlab vytvořte funkci pro zobrazení časově proměnného modulového kmitočtového spektra a funkci pro zobrazení směrové vyzařovací charakteristiky. Proveďte měření mechanických rozměrů všech tří druhů pozounů (délky nástroje, snížce, roztrubu, kónického rozšiřování roztrubu) a nasbírejte co nejvíce informací o složení materiálů u všech nástrojů. Výsledky měření dejte do souvislostí, porovnejte mezi jednotlivými nástroji, všimněte si zvláště četnosti a zastoupení vyšších harmonických a jejich podílu na barvě. Zobecněte, k jakému tónu a proč každý z nástrojů inklinuje a jak se to bude projevat v mixturách a při hraní v hudebním tělese.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GEIST, B. Akustika - jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi. Praha: MUZIKUS s.r.o., 2005. ISBN 978-8086253312.

[2] KRISTENSEN, E. An acoustical study of trombone performance, with special attention to auditory feedback deprivation. Norwegian University of Science and Technology, 2014.

[3] MYERS, A. Characterization and Taxonomy Of Historic Brass Musical Instruments from an Acoustical Standpoint. The University of Edinburgh, 1998.

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 17.8.2016

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

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá měřením a analýzou frekvenčního spektra a směrovosti vyzařování tří druhů pozounů – barokního, moderního a plastového, a to při různých dynamikách hry a hráčských stylech. Je v ní popsán systém mikrofonního pole, použitého pro záznam a technická realizace systému pro zpracování signálu. V závěru se zabývá souvislostmi mezi mechanickými rozměry nástrojů s jejich barvou zvuku a směrovostí.

KLÍČOVÁ SLOVA

barva, pozoun, směrová charakteristika, spektrum, trombón, zvuk

ABSTRACT

This thesis is focused on spectral and directivity analysis of three types of trombones – baroque, modern and plastic, and their experimental measurement. It describes the way of a measurement realization with microphone field used for recording and technical realization of signal processing. It discusses relationships between material, mechanical dimensions and final timbre of sound.

KEYWORDS

directivity, sound, spectrum, timbre, trombone

CIBUĽA, Marek *Analýza sytosti spektra a směrovosti vyzařování u barokního, moderního a plastového pozounu*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2015. 40 s. Vedoucí práce byl MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Analýza sytosti spektra a směrovosti vyzařování u barokního, moderního a plastového pozounu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

1 Úvod	9
Úvod	9
2 Konstrukce a akustika pozounů	10
2.1 Konstrukce	10
2.2 Tvorba tónu a rozsah	10
2.3 Materiál	11
2.4 Barva zvuku	12
2.5 Směrová charakteristika	13
3 Metodika měření	15
3.1 Metodika akustických měření hudebních nástrojů	15
3.2 Požadavky na hráče	16
3.3 Hrané tóny	16
4 Realizace měření	18
4.1 Měřené nástroje	18
4.1.1 Mechanické rozměry nástrojů	18
4.1.2 Materiál měřených nástrojů	19
4.1.3 Vliv materiálu na barvu zvuku	20
4.2 Mikrofonní pole	21
4.3 Signálová cesta a synchronizace	21
4.4 Druhé měření	22
4.5 Program v Matlabu	22
5 Naměřené výsledky	24
5.1 Výběr vzorků	24
5.2 Spektrogramy	24
5.2.1 Dynamika mezzoforte	24
5.2.2 Dynamika forte	25
5.3 Analýza spekter ve Wavelab	27
5.3.1 Dynamika piano	27
5.3.2 Dynamika forte	27
5.4 Směrové charakteristiky	28

6 Závěr	31
6.1 Spektra	31
6.2 Projev v mixturách	31
6.3 Směrovost – doporučení	32
6.4 Možné rozšíření práce	33
Literatura	34
Seznam příloh	35
A Spektra z Wavelabu	36
B Obsah přiloženého CD	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

3.1	Sled hraných tónů - přirozená řada	17
4.1	Měřené nástroje bez snižce	18
5.1	Spektrogramy pro všechny tři pozouny, tón b, dynamika mezzoforte	25
5.2	Spektrogramy pro všechny tři pozouny, tón b, dynamika forte	26
5.3	Směrová charakteristika tónu B1	29
5.4	Směrová charakteristika tónu F	29
5.5	Směrová charakteristika tónu d	30
5.6	Směrová charakteristika tónu d1	30
A.1	Spektrum moderního pozounu, f piano	36
A.2	Spektrum barokního pozounu, f piano	37
A.3	Spektrum plastového pozounu, f piano	37
A.4	Spektrum moderního pozounu, tón f, dynamika forte	38
A.5	Spektrum barokního pozounu, tón f, dynamika forte	38
A.6	Spektrum plastového pozounu, tón f, dynamika forte	39

SEZNAM TABULEK

4.1	Mechanické rozměry nástrojů	19
4.2	Průběh rozšiřování roztrubu	19
4.3	Přehled zastoupení mědi a zinku v jednotlivých slitinách mosazi . . .	20
4.4	Hustota mědi a zinku	20

1 ÚVOD

Práce se zabývá experimentálním měřením akustických vlastností tří druhů pozounů – moderního, barokního a plastového, především jejich sytostí frekvenčního spektra a směrovostí vyzařování do prostoru při různých tónech rozsahu a dynamice hry. Budou uvedeny aspekty měření v reálném prostoru a v bezodrazové komoře i hlediska metody měření pomocí umělého generování tónu a buzení nástroje reálným hráčem.

Bude popsán vztah mezi barvou zvuku a frekvenčním spektrem hraného tónu, což může být pro interpreta klíčem k porozumění, jak jeho nástroj zní a čím je to způsobeno. Stejně tak je užitečné znát, jakými směry nástroj v prostoru svůj zvuk vyzařuje.

Cílem práce je také dát do souvislosti materiál a mechanické rozměry nástrojů s jejich naměřenými spektry a směrovými charakteristikami.

2 KONSTRUKCE A AKUSTIKA POZOUNŮ

Pozoun, nebo také trombón, je dechový žestový hudební nástroj. Je znám již od 15. století a během let se jeho konstrukce i využití v hudbě měnily. V období baroka sloužil jako sólový nástroj, v klasicismu se výrazněji neprosadil, kdežto v období romantismu našel své místo ve velkých symfonických orchestrech. Důležitou roli má také v hudbě jazzové[4]. Označení trombón se často používá pro pozouny s ventilovou mechanikou. Tato kapitola se zabývá jejich konstrukcí, principem tvorby tónu a jejich akustickými vlastnostmi, jako jsou barva zvuku nástroje a směrovost vyzařování.

2.1 Konstrukce

Snižcové pozouny, kterými se bude tato práce zabývat, se skládají z roztrubové části cylindrického tvaru a teleskopického mechanismu ve tvaru písmene „U“ zvaného snižec, který je od roztrubu odnímatelný. Nepostradatelnou součástí je také odnímatelný nátrubek miskovitého profilu, na který interpret přikládá rty a tvoří tón. Nátrubků je mnoho druhů od různých výrobců a mohou výrazně ovlivnit výslednou barvu zvuku. Pro interpreta je však především důležitá pohodlnost nátisku rtů a intonace. Každý hráč má unikátně tvarovaná ústa i rty, proto je volba nátrubku individuální záležitost¹.

2.2 Tvorba tónu a rozsah

Tón vzniká rozvibrováním rtu na nátrubku dechem hráče. Tím se rozkmitá vzduchový sloupec uvnitř nástroje a rozezní rezonátor, v případě pozounu korpus. Zvuk se nakonec vyzáří do prostoru cylindrickým zakončením roztrubu - radiátorem. Výška tónu závisí na rychlosti kmitání rtů a objemu vzduchového sloupce. Ten je závislý na velikosti zvukovodu. Větší nástroj má větší objem vzduchového sloupce a zní níže než nástroj menších rozměrů. Pomalejší kmitání rtů znamená nižší tón a naopak.

Změnou rychlosti vibrace rtů na nátrubku je hráč schopen zahrát tzv. přirozenou řadu alikvótních tónů. Aby však mohl zahrát celou chromatickou řadu dvanácti tónů, je zapotřebí použít snižec. Ten má sedm od sebe různě vzdálených poloh. Každá poloha snižuje základní tón o půltónový interval. Snižcový pozoun má tedy díky své konstrukci jako jediný dechový nástroj možnost zahrát spojitě glissando. Velkou výhodou je také možnost přirozeného ladění, narozdíl od žestových nástrojů s ventilovou mechanikou, které ladí jen temperovaně².

¹[1], kap. 3 a 4.

²[1], kap. 1.

Pozoun má také díky snížkové mechanice největší tónový rozsah ze všech žesťových nástrojů. Většinou se u tenorového nástroje udává od B1 do d2[11], což však nelze považovat za nepřekonatelnou hranici. Jeho úplný rozsah závisí především na schopnostech hráče. Ten může pomocí zvláštní techniky nátisku zahrát tzv. „pedálový tón“, neboli oktávu pod prvním alikvótním tónem přirozené řady. Moderní trombóny navíc často mívají kvartovou klapku, která může spodní hranici nepedálového rozsahu prodloužit až do C. Obvykle se pak hovoří o tenor/bas trombónech.

Do not se party pro trombónisty zapisují v basovém klíči tak, jak skutečně zní. Pro vyšší polohy se používá i tenorový a altový klíč. Existují speciální techniky nátisku rtů a hry, které dokáží významně ovlivnit výslednou barvu. Těmi se ale tato práce zabývat nebude.

2.3 Materiál

Nejpoužívanější materiál pro výrobu plechových dechových nástrojů je mosaz, tedy slitina mědi a zinku. Používají se tři druhy této slitiny v různém poměru. Eirik Kristensen ve své práci [5] tyto tři slitiny popsal a na základě zkušeností profesionálních pozounistů určil, jaké mají nástroje z nich vyrobené zvukové vlastnosti. V témbu se různé slitiny od sebe znatelně liší.

Výrobci udávají, že nástroj z červené mosazi (90 % mědi, 10 % zinku) produkuje tmavší, teplejší zvuk, kdežto nástroj ze zlaté (nebo také růžové) mosazi (85 % mědi, 15 % zinku) vydává zvuk světlejší s čitelnější artikulací. Nejvíce zinku je pak obsaženo ve slitině zvané žlutá mosaz (70 % mědi, 30 % zinku). Tato mosaz je mezi muzikanty velkých uskupení nejvíce používaná pro svůj velmi jasný a dobře rezonující zvuk. Jazzoví sólisté naopak preferují více zastřený, měkčí zvuk a proto hojně využívají nástrojů vyrobených z červené mosazi. Pozouny se v menší míře vyrábí i z oceli, niklu či různých druhů plastových materiálů[5].

Literatura [1] uvádí, že nástroje vyráběné v Německu a Americe jsou převážně ze zlaté mosazi. Tyto nástroje pak mají větší hmotnost, jsou dražší a vypadají lépe. Jestli se ale použitý materiál skutečně projeví na lepších zvukových vlastnostech nástroje je sporné.

Kapitola 4.1.3 se bude zabývat podrobněji jednotlivými slitinami s ohledem na zastoupení materiálů ve slitině, jejich hustotou a vlivem na rezonanční vlastnosti a barvu zvuku.

2.4 Barva zvuku

Jednou ze čtyř základních subjektivních vlastností hudebního tónu je (vedle výšky, délky a hlasitosti) barva zvuku. Protože se narozdíl od dalších tří vlastností jedná o vlastnost vícerozměrnou, nelze jednoduše stanovit její objektivní ekvivalent. Literatura ³ uvádí, že jde o odraz fyzikální struktury tónu v našem vědomí. Zároveň tato vlastnost funguje jako identifikátor zdroje zvuku. Norma [6] definuje barvu zvuku jako „vlastnost sluchového vnímání, která umožňuje posluchači usoudit, že dva neidentické zvuky mající stejnou hlasitost a stejnou výšku si nejsou podobné“.

Významným krokem v historii zkoumání barvy zvuku bylo, když francouzský matematik Joseph Fourier představil v roce 1811 svůj matematický popis rozkladu obecného periodického i neperiodického signálu na nekonečnou řadu sinových a kosinových složek s různou amplitudou a frekvencí, jež je celočíselným násobkem frekvence zkoumaného signálu. To dalo vzniknout vědnímu oboru zvanému harmonická analýza. Akustika tak získala přímý matematický prostředek pro popis hudebního signálu. Subjektivní vnímání barvy zvuku však nebylo s těmito charakteristikami zprvu spojováno [10], [8].

První souvislosti těchto dvou fenoménů popsal až ve 2. polovině 19. století německý vědec Hermann von Helmholtz, kdy zkoumáním různých tónů definoval elementární vztahy mezi typem jejich spektra a odpovídajícím vjemem barvy jejich zvuku. Na základě těchto pozorování posléze představil dvě základní teorie barvy zvuku - relativní a absolutní [10].

Podle nich je barva zvuku určena počtem a intenzitou jednotlivých harmonických složek. U tónů hudebních nástrojů se uplatňuje spíše relativní teorie, která říká, že poměry intenzit jednotlivých složek spektra jsou na absolutní výšce těchto složek nezávislé. U vokálů pak převažuje absolutní teorie – barva je určena existencí několika charakteristických harmonických, které jsou ve zvuku zdůrazněny. Poloha těchto složek je fixována na jejich absolutní výšce. Tyto charakteristické harmonické složky označil v roce 1890 L. Hermann jako formanty [10].

Kromě struktury vyšších harmonických mají na barvu vliv také přechodové jevy při nakmitávání a dokmitávání zvuku, a také šumy související bezprostředně s technikou hry na konkrétní hudební nástroj [2].

Pro slovní popis barvy zvuku se používají obvykle tzv. pojmové páry, které sledují vždy určitou dimenzi této vícerozměrné vlastnosti. První, kdo tuto techniku používal a teoreticky ukotvil, byl Carl Stumpf, jeden ze zakladatelů psychoakustiky. Podrobnosti k tomuto způsobu hodnocení můžeme najít například v [9].

Co se týče barvy tónu žesťových nástrojů, literatura [1] uvádí pět konstrukčních parametrů, které ji bezprostředně ovlivňují:

³[10], str. 73.

1. poměr průměru k délce nástrojové trubice,
2. vnitřní uspořádání nátrubku,
3. tvar (vrtání) trubice,
4. zakřivení a velikost roztrubu,
5. tloušťka a materiál stěny trubice.

2.5 Směrová charakteristika

Následující kapitola vychází především z [10].

Důležitou vlastností každého akustického nástroje je směrovost jeho vyzařování. Žádný sestrojitelný zdroj zvuku nevyzařuje stejnou akustickou energii ve všech směrech.

Platí, že čím větší je rozměr zdroje vlnění a čím kratší je vlnová délka jím vyzařovaného zvuku, tím směrovější jsou vyzařovací vlastnosti zdroje a naopak. V případě hudebního nástroje jsou rozměry zdroje určeny rozměry oscilátoru a rezonátoru. Všesměrové vyzařování je však u hudebních nástrojů většinou omezeno pouze na 1. harmonickou složku nejnižších tónů rozsahu, a to pouze do frekvence 500 Hz.

Na vyšších frekvencích je vyzařování nástroje soustředěno do tzv. hlavních směrů vyzařování, ve kterých neklesá hladina akustického tlaku o více než 3 dB nebo 10 dB pod maximální hodnotu pro zvolenou frekvenci. Ve společném průniku těchto laloků nedochází (pro dané frekvence) ke změně barvy, což je hlavním důvodem, proč jsou směrové charakteristiky zjišťovány – v praxi se těchto poznatků využívá při volbě umístění snímacího mikrofону.

Směrové charakteristiky se obvykle stanovují pouze pro vzdálené pole, které se nachází v dostatečné vzdálenosti od zdroje zvuku. Nedochází v něm už k interferencím v důsledku nenulových rozměrů zdroje zvuku a mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí zde fungují relativně jednoduché vztahy. Pro účely měření směrových charakteristik hudebních nástrojů je dostatečná vzdálenost obvykle dána největším rozměrem nástroje a vlnovou délkou jeho nejhlubšího tónu.

Směrové charakteristiky jsou klasicky znázorněny v polárních grafech pro daný tón. Nejčastěji se jedná o závislost akustického tlaku na úhlu uvažovaného směru od hudebního nástroje. Další možností znázornění je sonogram⁴.

V teorii akustických vysílačů jsou směrové vlastnosti dány rozložením tzv. rychlostního potenciálu[7] v okolí zdroje. Pro jednoduché tvary zdrojů zvuku lze tedy charakteristiky přibližně odvodit výpočtem, v praxi se však obvykle zjišťují měřením.

⁴[10], str. 347.

Nejjednodušší experimentální metoda měření těchto charakteristik je měření akustického tlaku v konstantní vzdálenosti od zdroje, tedy na poloměru kružnice v horizontální či vertikální poloze. Velikost poloměru je obvykle volena v rozsahu 2 až 4 m. Zpravidla neklesá pod velikost nástroje a polovinu vlnové délky nejhlubšího tónu. Měření se provádí v bezodrazové komoře, jelikož v reálném prostoru je průběh charakteristik poznamenán přítomností difuzního zvukového pole a působením jednotlivých odrazů.

Pro zjednodušené vyjádření směrových vyzařovacích vlastností slouží činitel směrovosti:

$$Q = \frac{I_0}{I_k}, \quad (2.1)$$

kde I_0 je intenzita v daném místě pole, I_k je intenzita ve stejném místě pole pro všesměrový zářič stejného výkonu,

a index směrovosti:

$$I_Q = 10 \log Q. \quad (2.2)$$

Žestové nástroje nemají rozdíl od dřevěných dechových nástrojů po své délce tónové otvory, proto je jejich vyzařování soustředěno prakticky výhradně do akustické osy nástroje, z roztrubu. Obecně platí, že čím vyšší frekvence hraného tónu, tím užší je prostorový úhel vyzařování nástroje.

Z konstrukčních parametrů má na směrovost vyzařování žestů patrně největší vliv tvar roztrubu. Zdroj [1] uvádí, že trombón má ze čtyř orchestrálních žestů nejvyšší „vyzařovací koeficient“, tedy číselnou charakteristiku popisující způsob rozšiřování roztrubu (u trubky, tuby i lesního rohu je tento koeficient roven 1,25, u trombonu 1,3). Z toho lze usuzovat, že směrovost vyzařování trombónu bude vykazovat odlišnosti oproti ostatním žestům.

3 METODIKA MĚŘENÍ

Kapitola uvádí aspekty metod měření akustických nástrojů, rozdíly mezi umělým generováním tónu a buzením nástroje člověkem. Dále jsou uvedeny požadavky na hráče, jimiž se musel při měření řídit.

3.1 Metodika akustických měření hudebních nástrojů

Tato kapitola představuje výtah z kapitoly 6.9 zdroje [10].

Akustická měření se obecně zabývají zjišťováním (často frekvenčně závislého) přenosu akustické soustavy. Při měření hudebních nástrojů (na rozdíl od elektronických soustav) je však zjišťování této objektivní kvality nutně spjato i se subjektivním pozorováním přenosových vlastností, protože neexistuje přesně daná ideální podoba přenosu. Platnost výsledků měření hudebních nástrojů je dána existencí vztahu mezi objektivními výsledky měření a subjektivním vjemem zvuku nástroje.

Chyby při tomto typu měření jsou způsobeny buď vlivy vnějšího rušení, nebo vlastním měřeným objektem. V prvním případě lze chyby korigovat opakováním měření a průměrováním jejich výsledků. Druhou skupinu chyb obvykle není možné korigovat a může vést k získání nepoužitelných výsledků. Původcem tohoto typu chyb však není nástroj jako takový, jsou to spíše tzv. vstupní podmínky, tedy všechny proměnné parametry, přímo či nepřímo související se vznikem tónu, jeho přenosem, snímáním a percepcí. Kromě toho k nim patří také klimatické či mechanické vlivy a podmínky, za nichž je prováděno subjektivní hodnocení kvality tónu.

U dechových nástrojů jsou tyto vstupní podmínky dány tlakem, vlhkostí a teplotou vzduchu v ústech hráče, místem a silou přítlaku rtů a teplotou okolního vzduchu. Je prakticky nemožné tyto náhodné vlivy zcela odstranit, pro získání použitelných výsledků měření je však nutné pokusit se je aspoň co nejvíc minimalizovat.

Jednou z možností je použití umělé generace tónu na hudebním nástroji, která sice značně tyto vlivy potlačí, vytváří ale otázku přirozenosti takového buzení nástroje při subjektivním hodnocení a problém stupně náhrady reálného hráče. Možnosti náhrady jsou dány typem vazby mezi excitátorem a oscilátorem nástroje. Čím těsnější tato vazba je, tím je složitější je vytvořit ekvivalentní náhradu.

Poměrně bezproblémové je vytvoření takových náhrad pro strunné nástroje, u dechových nástrojů je situace podstatně obtížnější a tím spíše u žesťů. Dokonalá imitace reálného nasazení tónu si žádá počítačem řízený pohyb umělého jazyka, synchronizovaný se změnou tlaku vzduchu i změnou nátisku. Vzhledem ke složitosti takového postupu bylo pro účely této bakalářské práce zvoleno buzení nástroje

reálným hráčem.

3.2 Požadavky na hráče

Aby bylo měření co nejméně ovlivněno lidským faktorem, bylo potřeba stanovit pravidla, která musel figurant v rámci svých hráčských dovedností dodržet.

Nejdůležitější a zároveň nejhůře uskutečnitelný požadavek byl na stejnou intonaci všech hraných tónů. Bylo nutné je zahrát se stejnou požadovanou dynamikou, délkou a nakmitávací fází attack. To s sebou obnáší velkou míru soustředění. Hra na dechové nástroje pod takovým důrazem na neměnnost tónu také unavuje mimické svalstvo. Proto bylo hráči při dohrání jednoho cyklu umožněno si na 10 minut odpočinout. Poté buď pokračoval v jiné dynamice nebo vyměnil nástroj. Pokud měl vyměnit nástroj, zkušebně si na něj zahrál, aby si na něj zvykl. Když se stalo, že tón byl zahrán falešně či bez požadované délky nebo dynamiky, bylo potřeba před pokračováním řady tón zopakovat.

Dále bylo nutné, aby figurant držel nástroj po celou dobu nahrávání ve stejné výšce a poloze, a to tak, aby byl roztrub v ose protějšího mikrofону. Vzhledem k tomu, že ke kontrole sloužila orientační značka na podlaze, výška i vzdálenost od mikrofону se mezi měřeními nejspíš mírně měnily.

Jelikož byly nástroje doneseny z venkovního prostředí, kde byla teplota těsně nad bodem mrazu, byly ponechány asi 15 minut v klidu v laboratořích o pokojové teplotě, aby si materiál na teplotní změnu zvyknul.

3.3 Hrané tóny

Pro účely měření byla zvolena přirozená řada alikvótních tónů, doplněná o pedálový tón. Tóny byly hrány za sebou od nejnižšího po nejvyšší s třisekundovou pomlkou mezi nimi. Řada byla při prvním provedeném měření hrána ve dvou dynamikách – mezzoforte a forte. Pro možné rozšíření práce byl proveden záznam řady tónů zahrané technikou staccato, tedy tón zahráný s krátkou fází attack a decay. Pro další možnosti zkoumání vlivu hráčských technik na barvu nástroje byl zaznamenán tón zahráný kultivovaně a nekultivovaně. Zde byla snaha o zahrání tónu co nejčistěji a poté co nejsilněji, ale se zachováním kvality tónu. Obrázek 3.1 zobrazuje sled hraných tónu přirozené řady v notovém zápise.



Obr. 3.1: Sled hraných tónů - přirozená řada

4 REALIZACE MĚŘENÍ

V této kapitole bude uveden přehled jednotlivých měřených nástrojů, jejich změřené mechanické rozměry a informace o materiálu, z něhož jsou vyrobeny. Dále bude popsána realizace samotného měření pomocí mikrofonního pole, signálová cesta, synchronizace použitých přístrojů a kalibrace.

4.1 Měřené nástroje

Pro účely měření byly použity tyto tři nástroje:

1. moderní pozoun Antoine Courtois Paris, model Prestige Symphonie 400R
2. barokní sackbut Ewald Meinel, model Drewelwecz, narrow bore
3. plastový pozoun Jiggs Wigham pBone

Níže je uvedena fotografie všech nástrojů pohromadě s odejmutým snížcem. Všechny tři nástroje jsou tenorové v B ladění. Moderní pozoun má jako jediný kvar-tovou klapku.



Obr. 4.1: Měřené nástroje bez snížce

4.1.1 Mechanické rozměry nástrojů

Mechanické rozměry délek a průměrů zakončení roztrubu byly měřeny svinovacím metrem, tloušťka materiálu a kónické rozšiřování posuvným měřidlem. Celková délka

nástroje byla změřena při úplně zasunutém snižci. Snižec byl měřen odejmut od zbytku nástroje a byla vzata délka mezi dvěma nejbližšími konci. Měření tloušťky materiálu bylo provedeno na roztrubu a bylo nejméně přesné. Například barokní sackbut má roztrub zdobený ornamenty, změřená tloušťka byla 1,5 mm, ale výrobce udává tloušťku plechu 0,28 mm, což je obrovský rozdíl. Všechny rozměry jsou uvedeny v centimetrech.

Tab. 4.1: Mechanické rozměry nástrojů

	Moderní	Barokní	Plastový
Celková délka	116	116	115
Délka snižce	83	84	87
Průměr roztrubu	22,8	10,8	21
Tloušťka materiálu	0,15	0,15	0,2

Tab. 4.2: Průběh rozšiřování roztrubu

Nástroj	Moderní	Barokní	Plastový
Začátek roztrubu	2,2	1,3	2,4
Polovina roztrubu	3,2	2,4	3,3
5 cm před koncem	6,1	5,0	6,0
Průměr roztrubu	22,2	10,8	21

Při měření rozšiřování byla vzata celková délka roztrubu, poté byla změřena jeho výška na začátku, v polovině jeho délky a v místě 5 cm před koncem zvonu, kde se začíná rozšiřovat nejvíce. Přidáním čtvrté hodnoty průměru roztrubu lze získat přibližnou představu o tvaru nástroje. Z tabulky i z fotografie je patrné, že barokní sackbut se rozšiřuje ze všech nejméně. Jeho průměr zakončení roztrubu je poloviční oproti plastovému a modernímu pozounu. Ze srovnání je vidět, že moderní a plastový pozoun mají přibližně stejný profil až na to, že moderní má o 1 cm širší konec roztrubu.

4.1.2 Materiál měřených nástrojů

Pozoun Jiggs pBone je vyroben z plastu. Jeho přesnější složení výrobce tají. Snižcová mechanika je vyrobena ze sklolaminátu. Díky výrobnímu materiálu je nástroj velice lehký a také odolný vůči mechanickému poškození. Pro svou cenovou dostupnost je oblíbený zejména mezi začínajícími pozounisty.

Výrobce barokního sackbutu Ewald Meinl ve specifikaci nástroje uvádí jako materiál žlutou mosaz.

Moderní pozoun Antoine Courtois Prestige Sypmhonie 400R už firma nevyrobí a nepodařilo se mi dohledat přesné informace o materiálu. Na internetových fórech však majitelé těchto nástrojů jako výrobní materiál uvádějí zlatou mosaz. Porovnáním jeho spektra a barvy zvuku s ostatními nástroji můžeme zkusit materiál moderního pozounu odvodit.

4.1.3 Vliv materiálu na barvu zvuku

Nyní už víme, že existují různé druhy slitin mosazi používaných při výrobě žestových hudebních nástrojů. Oba materiály obsažené v mosazi, tedy měď a zinek, se svou strukturou a vlastnostmi podstatně liší. Následující dvě tabulky uvádí přehled poměrů materiálů zastoupených ve slitině a jejich hustotu.

Tab. 4.3: Přehled zastoupení mědi a zinku v jednotlivých slitinách mosazi

Druh slitiny	Zastoupení mědi [%]	Zastoupení zinku [%]
Červená mosaz	90	10
Zlatá mosaz	85	15
Žlutá mosaz	70	30

Tab. 4.4: Hustota mědi a zinku

Materiál	ρ [$kg.m^{-3}$]
Měď	8 960
Zinek	7 140

Z přímého vztahu mezi hustotou materiálu, jeho hmotností a objemem lze přibližně odhadnout, jak se použitý materiál projeví na barvě zvuku nástroje, z něj vyrobeného.

$$\rho = \frac{m}{V}, [kg.m^{-3}] \quad (4.1)$$

kde ρ je hustota materiálu, m je hmotnost materiálu a V je jeho objem.

Červená mosaz obsahuje největší množství mědi, která má vyšší hustotu než zinek. Nástroj vyrobený z červené mosazi tedy bude mít největší hmotnost. Bude mít horší rezonanční vlastnosti a měl by inklinovat spíše k tmavší barvě tónu s nejmenším počtem vyšších alikvót ve svém spektru. Zlatá mosaz obsahuje o 5 % mědi méně, nástroj o stejném objemu materiálu bude mít menší hmotnost než nástroj z červené mosazi a to se projeví změnou jeho spektra. Nástroj by měl mít ve stejné dynamice vyšší počet harmonických a znít plněji a čitelněji. Nástroj ze žluté mosazi, která obsahuje pouze 70 % mědi, bude mít při stejném objemu materiálu nejmenší hmotnost. Měli bychom pozorovat výrazně odlišné zastoupení jednotlivých harmonických

složek a jejich intenzit ve spektru nástroje vyrobeného z tohoto materiálu. Barva tónu jeho zvuku bude nejostřejší a nejprůraznější díky schopnosti lehkého materiálu silněji rezonovat při buzení stejnou energií.

U jednotlivých měřených nástrojů nebyla zjišťována jejich hmotnost. Při manipulaci s nimi bylo ale zřejmé, že moderní pozoun je ze všech nejtěžší. Plastový nástroj má hmotnost menší a barokní sackbut je nejlehčí a svými rozměry také nejmenší.

4.2 Mikrofonní pole

Měření proběhlo v bezdozvukové komoře na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, za účelem eliminace nežádoucích odrazů, které by ovlivnily naměřené výsledky.

Bylo použito půlkruhové mikrofonní pole s devíti všesměrovými kondenzátorovými mikrofony AUDIX TM1 s rozestupy $22,5^\circ$. Pátý mikrofon byl tedy umístěn v ose roztrubu. Úhly byly změřeny laserovým úhломěrem EPT-SA08. Poloměr mikrofonního pole byl 225 cm, kdy středem půlkruhu byl roztrub měřeného nástroje. Při volbě poloměru kružnice jsme vycházeli z [10], který uvádí jako vhodnou vzdálenost mikrofonů od zdroje 2 až 4 metry. Délka vlny nejhlubšího hraného tónu kontra B je 592,02 cm. Podmínka, aby průměr byl větší než polovina vlnové délky nejhlubšího tónu, byla splněna. Mikrofony byly upevněny na mikrofonních stojanech ve výšce 135 cm, vycházejí z výšky hráče a jeho postavení při hře, kdy korpus míří mírně dolů.

4.3 Signálová cesta a synchronizace

Signály z měřicích mikrofonů byly pomocí kabelů s XLR konektory přivedeny na dva A/D převodníky se zesilovačem M-Audio. Oba převodníky mají osm vstupů. Jelikož mikrofonů bylo devět, bylo využito osm vstupů z jednoho a jeden vstup z druhého převodníku. Z digitálních výstupů A/D převodníků byl signál veden optickým kabelem ADAT na PCI rozhraní DSP Hammerfall počítače v režijní místnosti. Oba převodníky byly propojeny rozhraním FireWire s počítačem v bezodrazové komoře, který sloužil k nastavení časové synchronizace obou převodníků a rozhraní Hammerfall. K synchronizaci byl použit signál Wordclock. První převodník zastával funkci master, druhý převodník a Hammerfall pak slave. Mezi převodníky se synchronizační signál přenášel koaxiálním kabelem a na rozhraní Hammerfall byl na jeho ADAT vstup přiveden optickým kabelem z ADAT výstupu master převodníku. Pro digitální zpracování signálů byla zvolena vzorkovací frekvence 48 kHz a bitová hloubka 24 bitů.

Na A/D převodnicích bylo nastaveno zesílení každého kanálu potenciometry přibližně do jedné čtvrtiny jejich dráhy. Poté byl na každý mikrofon nasazen tónový kalibrátor, který generuje jednoduchý sinusový tón o frekvenci 1 kHz a konstantním akustickým tlaku ve své komoře. Pro každý kanál byl zaznamenán půlminutový kalibrační signál k získání kalibrační konstanty.

Záznam, softwarové zpracování a střih vzorků záznamu bylo provedeno v DAW *Cubase*. Každý signál z devíti měřících mikrofonů byl zaznamenán do samostatné stopy a po zpracování byly jednotlivě vyexportovány ve formátu *.wav*. Bylo potřeba dodržet v nastavení projektu *Cubase* zvolený vzorkovací kmitočet a bitovou hloubku. To platí i pro další zpracování signálů. Pro získání spektrogramů bylo použito robustního výpočetního prostředí *Matlab*.

Pro komunikaci s hráčem byl realizován talkback kanál. Užitečný byl také video signál z kamery v komoře, mířící na hráče a přivedený na počítač v technické místnosti.

4.4 Druhé měření

Kvůli malému odstupu od šumu při nízkých polohách, kdy převládala šumová složka nad tónovou, bylo nutné provést druhé měření za účelem získání čitelnějších spektrogramů. To proběhlo taktéž v bezodrazové komoře, za použití jen jednoho všesměrového měřícího mikrofonu značky NTI-M2010, který byl umístěn na mikrofonním stojanu v ose roztrubu ve vzdálenosti 2 metry od roztrubu nástroje. Na mikrofon bylo přivedeno fantomové napájení 48 V. Citlivost tohoto mikrofonu je několikanásobně vyšší, než u mikrofonů AUDIX TM1 při předchozím měření. Výrobce udává citlivost 35 mV/Pa @ 1 kHz.

Opět byl využit talkback kanál a videosignál z kamery v komoře.

4.5 Program v Matlabu

Za účelem zrychlení výpočtů spekter a směrových charakteristik byl vytvořen program v prostředí *Matlab*. Obsahuje jednoduché grafické uživatelské prostředí vytvořené pomocí intuitivního rozhraní *guide*. Program obsahuje dvě tlačítka pro volbu funkce Spektrogram nebo Směrová charakteristika. Tyto dvě funkce jsou napsány v samostatných *.m file* skriptech a po stisknutí tlačítka dané funkce se skript zavolá.

V případě volby funkce Spektrogram je uživatel vyzván ke zvolení cesty k záznamu jednoho požadovaného tónu, spektrogram se pak vypočítá pomocí funkce *spectrogram* a vykreslí.

V případě zvolení výpočtu směrových charakteristik je uživatel vyzván ke zvolení cesty nejprve kalibračních souborů, poté k záznamu tónu barokního, moderního a nakonec plastového pozounu. Všechny tři tyto křivky se postupně vykreslují do jednoho polárního grafu a jsou rozlišeny barvou a stylem čar. Pokud chce uživatel získat jen jednu charakteristiku, stačí vybrat kalibrační soubory a záznamy pro požadovaný typ pozounu a poté dialogové okno pro výběr souborů ukončit. Směrové vyzařovací charakteristiky se vykreslují do samostatného okna mimo uživatelské rozhraní, aby bylo možno výsledky exportovat ve vhodném formátu a dále s nimi manipulovat. Je důležité, aby jednotlivé soubory byly pojmenovány stejně až na přidanou číslicovou koncovku na konci názvu, přičemž nejnižší číslo představuje záznam z mikrofonu nejvíce napravo. Tím se zajistí, že je Matlab zpracuje postupně a správně interpretuje vypočítaná data.

Program směrové charakteristiky počítá tímto způsobem: nejprve je vypočítána efektivní hodnota kalibračního signálu pro každý mikrofon z nahraného úseku stejné délky. Poté je z každé z těchto hodnot vypočtena převrácená hodnota a tím získán koeficient pro daný kanál, kterým je vynásoben záznam nástroje v daném kanále. Tím jsou signály normalizovány na stejnou citlivost. Z těchto normalizovaných hodnot jsou opět vypočteny efektivní hodnoty pro každý kanál. V posledním kroku jsou hodnoty ve všech kanálech vyděleny efektivní hodnotou ve směru 0° v ose roztrubu. Tím jsou získány relativní směrové charakteristiky vzhledem k úhlu 0° .

Program se spouští otevřením souboru grafického uživatelského rozhraní `guiasi.fig` v programu Matlab.

5 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Tato kapitola uvádí přehled získaných výsledků – spektrogramy z programu Matlab a vypočtené směrové charakteristiky. Pro doplnění spekter vypočítaných programem Matlab byly nahrávky analyzovány také programem Wavelab. Jeho nástroj Spectrum Analyzer umožňuje sledovat chování amplitud jednotlivých harmonických složek v reálném čase. To se nám hodí v případě, kdy chceme pozorovat detailněji časový průběh spekter a vyvozovat z nich závěry. V tomto programu byl analyzován tón f v dynamikách piano a forte. Jelikož se poměry intenzit s různými fázemi ADSR obálky zahraného tónu mění, byl vždy zachycen snímek zobrazující stav po ustálení fáze sustain. Pro přehlednost práce jsou výstupní soubory z programu Wavelab uvedeny v příloze na konci.

5.1 Výběr vzorků

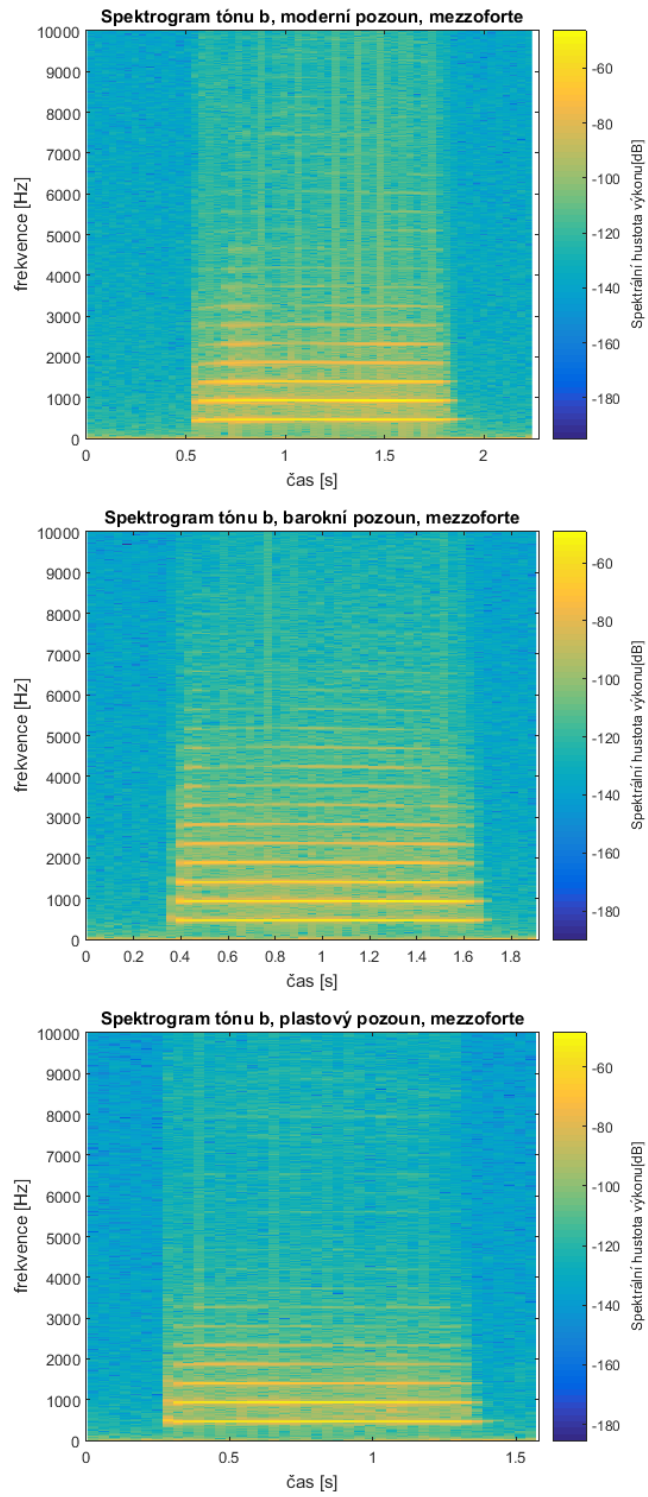
Pro zobrazení jednotlivých spektrogramů byly vybrány tóny F, b a jednočárkované d. Nejnižší hraný tón B1 nebylo možné analyzovat, z důvodu velkého množství šumové složky tónu.

5.2 Spektrogramy

V obou z měřených dynamik hry jsou uvedeny vždy tři spektrogramy jednoho tónu s krátkým komentářem.

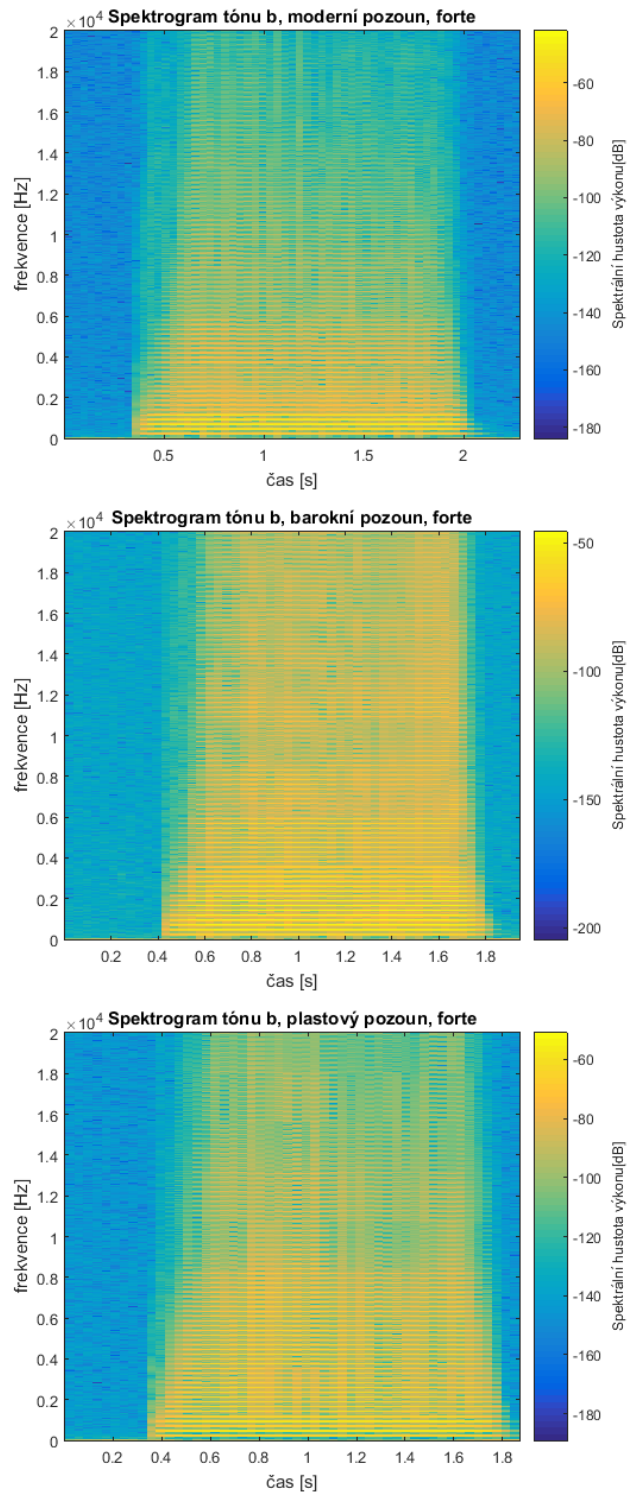
5.2.1 Dynamika mezzoforte

Ze spektrogramů tónu b v dynamice mezzoforte lze vidět, že barokní pozoun má oproti ostatním nástrojům spektrum jednoznačně nejbohatší a zní v této poloze velice jemně a čitelně. Naopak plastový nástroj má spektrum počtem vyšších harmonických nejchudší. U moderního nástroje nacházíme čtyři výrazné alikvóty a vyznačuje se tak velice plným a hutným témbrem. Lze si povšimnout, že u každého z nástrojů je nejintenzivnější druhá harmonická složka.



Obr. 5.1: Spektrogramy pro všechny tři pozouny, tón b, dynamika mezzoforte

5.2.2 Dynamika forte



Obr. 5.2: Spektrogramy pro všechny tři pozouny, tón b, dynamika forte

U moderního nástroje pozorujeme zachování intenzivnějších asi pěti prvních harmonických složek a jeden výraznější alikvótní tón kolem kmitočtu 4000 Hz. Hustota spekter nástrojů v této dynamice výrazně vzrostla, ale nejbohatším spektrem se

projevil nástroj barokní, jehož svrchní tóny pokrývají celou oblast slyšitelnosti do 20 kHz. Při bližším pozorování lze ve spektrogramu barokního nástroje najít čtyři oblasti, kde se intenzity okolních harmonických postupně zvyšují a snižují. Podobný jev nastává i u plastového nástroje, zde ale není vidět tak zřetelně. Mohlo by se jednat o formantové oblasti těchto dvou nástrojů. Blíže bude o těchto nalezených formantových oblastech zmíněno v 5.3.2.

5.3 Analýza spekter ve Wavelab

Pro analýzu nástrojem FFT Meter v programu Wavelab byly nastaveny tyto parametry: velikost okna 2048, faktor překrývání 50 % a okno typu Blackman. Prvotním zjištěním ze sledování vývoje spektra v reálném čase bylo, že amplituda fundamentální harmonické nebyla v žádném z pozorovaných případů nejvyšší. To je pro žesťové hudební nástroje typické. V barvě se to pak projevuje zvukem nasálního charakteru.

5.3.1 Dynamika piano

Při zkoumání spektra tónu f v dynamice piano lze u všech nástrojů vidět 9 harmonických složek lišících se poměry svých amplitud. U moderního převažuje prvních 5 harmonických, přičemž zbytek je potlačen A.1. Kdežto barokní nástroj má nejvýraznější první čtyři harmonické a od druhé postupně slábnou (mezi čtvrtou a pátou skokově) A.2. Plastový pozoun v pianu generuje spektrum s intenzivnějšími sudými harmonickými složkami A.3. I tyto někdy nepatrné změny ovlivňují výslednou barvu. Již v této nízké dynamice nám moderní nástroj zní nejhutněji a silně v basech díky převaze prvních pěti harmonických, a velice hebce kvůli nízké amplitudě vyšších alikvót. Zvýraznění sudých svrchních tónů zároveň se silnějšími vyššími harmonickými pozorované při plastovém nástroji přidalo na čitelnosti a průraznosti zvuku.

5.3.2 Dynamika forte

V dynamice forte se podle očekávání spektrum rozrostlo o velký počet harmonických A.4. Mohli bychom jich u každého nástroje napočítat více než 30. Tvary amplitudových obálek vyšších harmonických tónů barokního a moderního nástroje jsou si velice podobné – do třetí či čtvrté alikvóty pozvolný nárůst amplitudy, poté téměř exponenciální pokles. Také ve výsledné barvě jsou si blízko. V nízkých polohách zní basově a ostře, ve vyšších polohách zase velice hebce a nasálně. Těmto případům se ale úplně vymyká zobrazené spektrum plastového nástroje, ve kterém lze opět vidět větší amplitudu prvních tří sudých svrchních tónů A.6. Klesání amplitud ale již není

exponenciální, 0narušují jej tři oblasti kolem kmitočtů 8 kHz, 11 kHz a 16 kHz, kde lze pozorovat ustálení poklesu amplitud okolních harmonických složek či dokonce jemný nárůst. Lze tak hovořit o formantových oblastech nástroje. Podobné chování můžeme pozorovat i u barokního nástroje, ale ne v tak velké míře a oblasti nacházíme jen dvě - v okolí kmitočtů 7 kHz a 12 kHz. Moderní pozoun se chová podobně v okolí stejných kmitočtů, ale změny nejsou tak markantní.

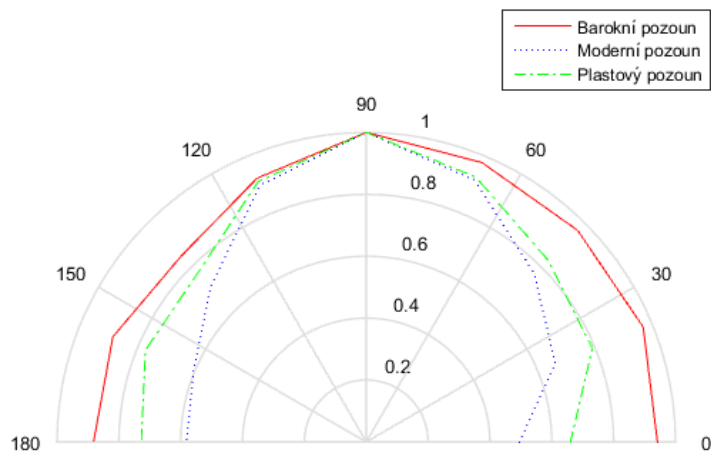
Díky existenci těchto formantových oblastí a obrovské sytosti spektra, které se projeví především při silné dynamice hry, pak vzniká velice ostrý až praskavý tónbr. Jelikož je tento jev nejvýraznější při hře na plastový pozoun, zní tento nástroj v dynamice forte nejostřeji a na poslech ne zrovna příjemně.

5.4 Směrové charakteristiky

Srovnáním směrových charakteristik v dynamice mezzoforte lze vidět, že barokní nástroj oproti ostatním vyzařuje v nízké poloze tónu B1 nejvíce do prostoru 5.3. Plocha jeho křivky směrovosti má největší obsah a zakrývá ostatní křivky. To se mění v případě tónu F, kdy plastový a moderní nástroj vyzařují více energie než barokní v okolí 70° a 120° 5.4. U nižších tónů B1 a F je maximální energie soustředěna ve směru 90° , tedy čelně k roztrubu.

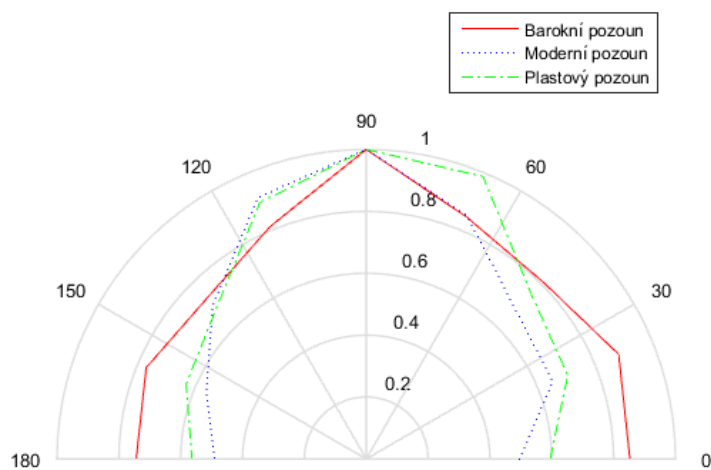
Zajímavý jev lze sledovat na charakteristikách vyšších tónů d 5.5 a d1 5.5. V těchto případech již není nejvíce energie soustředěno v čelním směru, nýbrž jemně vpravo od hráče na 77° při tónu d, či více vpravo v úhlu 55° při hraném jednočárkovaném d, a to u všech měřených nástrojů. V případě barokního nástroje je tento nárůst vidět i po levé straně, kde energie opět přesáhla energii vyzářenou v přímém směru. Tento jev lze interpretovat domněnkou, že v jistých vyšších polohách nástroje se větší část energie vyzáří ne roztrubem, nýbrž tělem nástroje do stran.

Směrová vyzářovací charakteristika tónu B1

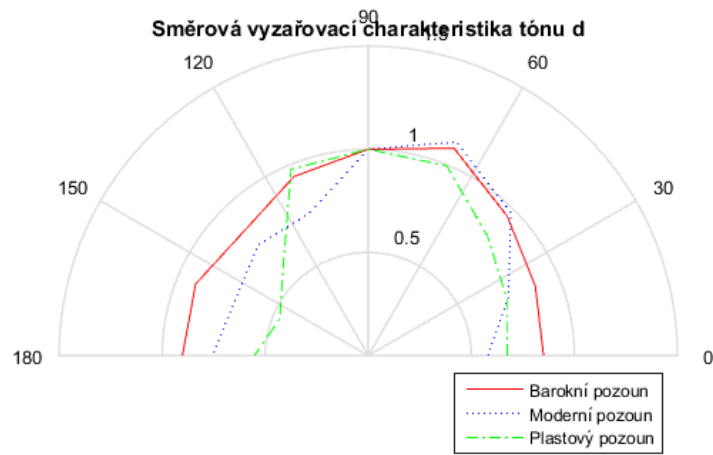


Obr. 5.3: Směrová charakteristika tónu B1

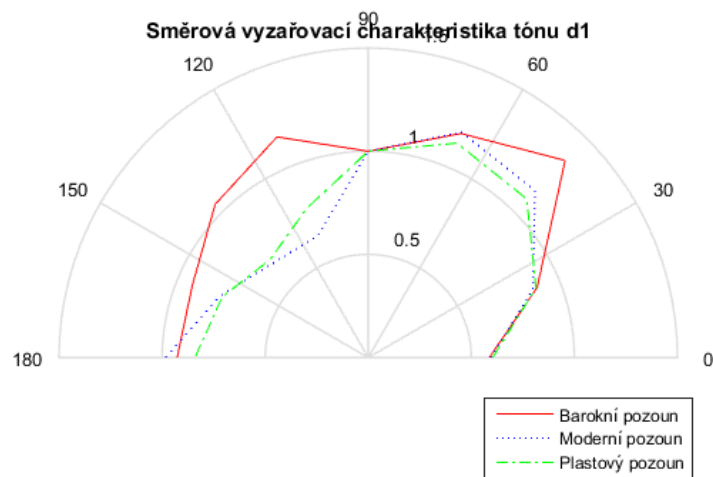
Směrová vyzářovací charakteristika tónu F



Obr. 5.4: Směrová charakteristika tónu F



Obr. 5.5: Směrová charakteristika tónu d



Obr. 5.6: Směrová charakteristika tónu d1

6 ZÁVĚR

Kapitola shrnuje naměřené výsledky a komentuje souvislosti mezi materiálem a rozměry měřených nástrojů s tvarem jejich frekvenčního spektra, směrovými charakteristikami a výsledným ténbrem, který nástroj generuje. Dále uvádí doporučení pro použití konkrétních nástrojů v různých hudebních žánrech a doporučení pro snímání nástroje s ohledem na změřené směrové charakteristiky. Doporučuje také možná rozšíření této práce.

6.1 Spektra

Měřením a srovnáním výsledků jsme u barokního pozounu potvrdili specifikaci výrobce, že je nástroj vyroben ze slitiny zvané žlutá mosaz. Jeho čitelný a ve vyšší dynamice ostrý zvuk je pro žlutou mosaz typický. Největší počet vyšších harmonických složek v jeho spektru toto dokládá. Plech, ze kterého je nástroj vyroben, je zároveň nejtenčí z měřených materiálů a velice dobře rezonuje, což napomáhá průraznosti jeho tónu. Ve srovnání s ostatními nástroji je sackbut svými rozměry nejmenší.

Moderní pozoun, u něhož nebylo možné od výrobce zjistit typ mosazi, se rovněž vyznačuje bohatým spektrem. Zvukem se ale od barokního liší menší průrazností a větší zastřeností, zato je ale hutnější díky mnohem větším rozměrům nástroje a intenzivnějším prvním čtyřem harmonickým složkám ve spektru. Vycházejí z popisu druhů mosazí v práci Eirika Kristensena usuzují, že v případě moderního pozounu se jedná o zlatou mosaz.

Plastový pozoun vyšel ze srovnání jako nástroj s velice jemnou barvou a, při snaze hráče udržet stejnou dynamiku, zní nástroj nejtišeji, což může být zapříčiněno právě materiálem, jelikož plast rezonuje hůře než mosazný plech. Stejně jako moderní pozoun má v nižší poloze zvuk hodně basový, což je rovněž dáno většími rozměry rezonátoru a radiátoru. Nástroj ale díky přítomnosti formantových oblastí inklinuje ke změně charakteru své barvy při hře v jiné poloze či dynamice. Plastový pozoun tedy tíhne k několika rejstříkům. Ve spodních polohách rozsahu, přibližně od tónu B1 do tónu b, je ténbr plný a hutný. Od tónu d už je výrazně slyšet změna barvy. Tón je mnohem tupější a má více nasálního charakteru.

6.2 Projev v mixturách

Rozdílné ténbry pozounů hrají velkou roli při psaní a následné interpretaci skladeb pro větší hudební tělesa. Skladatel může na základě znalostí o materiálu a barvě

zvuku sám určit, na jaký nástroj má pozounista svůj part odehrát. Pokud se použije nástroj jiný, například z jiné mosazi, či jiného materiálu, než je plech, dojde k ovlivnění výsledné mixtury živého tělesa. V případě zvolení nástroje s příliš bohatým spektrem by mohlo dojít také k nežádoucímu maskování jiných nástrojů hrajících ve stejné frekvenční poloze.

Ze změřených a popsanych spekter mohu doporučit obsazení nástroje ze zlaté mosazi v moderních jazzových uskupeních, kde se bude dobře pojit s trubkou a saxofony. Pro svůj temný a hutný tón by se taky velice dobře hodil do experimentální nové hudby. V kombinaci s elektronikou a jinými elektroakustickými nástroji by podpořil basovou část frekvenčního spektra skladby a dodal zvukový kontrast, především ve vyšších dynamikách. Oblast nové hudby je v dnešní době pro náročného posluchače studnicí nových zvukových a psychoakustických zkušeností. Moderní pozoun poskytuje jejím tvůrcům univerzální nástroj pro kompozici.

Opačným případem je barokní pozoun. Nízký poměr mědi ve žluté mosazi, velice tenký plech, ze kterého je vyroben, a celkově malé rozměry, dávají nástroji velice hebký, čitelný a ve vyšší dynamice průrazný tón, který se prosadí především ve větších orchestrálních obsazeních. Je ale potřeba brát na zřetel tendenci nástroje znít v nízké dynamice velice hebce oproti dynamice forte, kde velký nárůst vyšších harmonických složek výrazně ovlivní tón a ten se tak stává ostrým a pronikavým. V klasické hudbě je často žádaný neměnný charakter barvy nástroje v celém rozsahu a může se tedy stát, že barokní pozoun nebude pro provedení konkrétní skladby vhodný. V tom případě je lepší zvolit moderní pozoun, který si svou barvu udržuje víceméně neměnnou v celém rozsahu.

Plastový pozoun se díky pozorovaným formantovým oblastem také projevil jako nástroj s nestálým charakterem své barvy v rozdílných polohách a dynamikách a to ještě více než u pozounu barokního. Je ale nutné podotknout, že byl srovnávám s profesionálními nástroji ze zcela odlišné cenové kategorie. Pro svou dostupnost je oblíbený především u začínajících pozounistů, ale hojně jej využívají také hráči pokročilejší. Je možné, že se právě pro svou zvukovou unikátnost začne objevovat ve více hudebních žánrech.

6.3 Směrovost – doporučení

Vzhledem ke zjištění, že nástroje mají ve vyšších polohách tendenci vyzařovat více vpravo než v ose roztrubu, lze doporučit následující. Chceme-li snímat pozoun, u kterého předem víme, že na něj interpret bude hrát v celém rozsahu nebo jen ve vyšších polohách, zkusíme umístit směrový mikrofon právě do těchto míst, tedy asi 30° od osy roztrubu. Pokud bychom mikrofon umístili na střed, mohlo by dojít ke

změně poměrů intenzit hraných tónů při snaze hráče udržet stejnou dynamiku.

Běžně se pro nahrávání sólového pozounu používají kondenzátorové nebo páskové mikrofony umístěné mírně mimo osu roztrubu. Často se směrové mikrofony natáčí asi 30° od osy roztrubu za účelem potlačení rušivých elementů, způsobených prouděním vzduchu z nástroje. Doporučuji tedy mikrofon odklánět vždy doleva z pohledu zvukaře, aby zabíral více prostoru vpravo od hráče. Pokud se rozhodneme umístit mikrofon více mimo osu nástroje, je potřeba zvážit, zda zmenšit úhel natočení mikrofону vůči nástroji nebo zda mikrofon vůbec nevychylovat.

6.4 Možné rozšíření práce

Cílem této práce bylo srovnat tři měřené nástroje a najít souvislosti mezi jednotlivými materiály, rozměry nástrojů a jejich akustickými vlastnostmi – barvou zvuku a směrovou vyzařovací charakteristikou. Jelikož bylo měření provedeno na devíti mikrofonech, jsou zobrazené směrové charakteristiky omezeny na těchto devět bodů v půlkruhu a nepodávají příliš přesnou představu o směrových vlastnostech nástrojů. Rozšířením této práce by mohlo být provedení měření na více mikrofónů s menšími rozestupy. Měření ve více horizontálních či vertikálních rovinách by také více ozřejmilo, jak se vyzářená akustická energie mění v prostoru před hráčem. Doporučuji využít půlkruh pro měření směrových charakteristik vytvořený studenty VUT v Brně, na který může být připevněno až šestnáct měřících mikrofónů.

Dále by bylo možné práci rozšířit detailním zkoumáním vlivu použitého nátrubku na barvu tónu nástroje – jakým způsobem spektrum ovlivní různé materiály a tvary nátrubku. Zde byl změřen a analyzován pouze plastový pozoun s plastovým a kovovým nátrubkem.

Zajímavé by také mohlo být měření při více hráčích v jedné místnosti, hrajících zároveň, a zkoumání, do jaké mixtury se zvuk spojí při použití stejných nebo odlišných nástrojů.

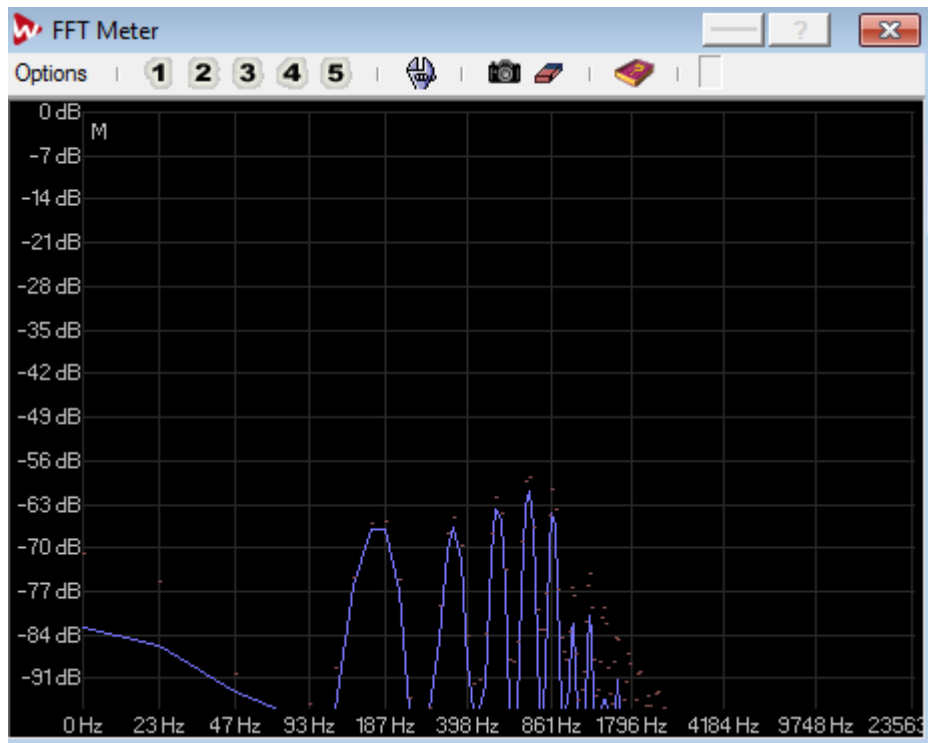
LITERATURA

- [1] Bate, P. *The trumpet and trombone: an outline of their history, development and construction*, 2nd ed. New York: W. W. Norton, 1972. 271 s. ISBN 0-510-36411-X.
- [2] Geist, B. *Akustika - Jevy a souvislosti v hudební praxi*, Praha: Muzikus, 2005. 281 s. ISBN 80-86253-31-7
- [3] Hruška, V. *Metodika nových experimentálních postupů ve fyzikální oblasti výzkumu dechových hudebních nástrojů*, Praha, Univerzita Karlova v Praze, 2014.
- [4] Kimball, W. *Trombone History Timeline*. In: *kimballtrombone.com*[online] [cit.11.7.2016]. Dostupné z URL: [<http://kimballtrombone.com/trombone-history-timeline/>]
- [5] Kristensen, E. *An acoustical study of trombone performance, with special attention to auditory feedback deprivation*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2014.
- [6] ČSN 01 1600: *Akustika – Terminologie*. Česká technická norma, Český normalizační institut, únor 2003.
- [7] SCHIMMEL, J. *Elektroakustika*. Elektronická skripta, VUT v Brně, 2014.
- [8] SMĚKAL, Z. *Analýza signálů a soubor - BASS*. Elektronická skripta, VUT v Brně, 2012.
- [9] Štěpánek J., Moravec O. *Barva hudebního zvuku a její slovní popis*. Praha: Nakladatelství Akademie múzických umění, 2005. Dostupné z URL: <http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/dokumenty/Lit133.pdf> [cit.13.7.2016]. ISBN 80-7331-031-7. RIV/61384984:511110/05:000000xx.
- [10] Syrový, V. *Hudební akustika*, 3. doplněné vydání, Praha: Nakladatelství Akademie múzických umění, 2013. 440 s. ISBN 978-80-7331-297-9
- [11] Zamazal, V. *Hudební nástroje před mikrofonem*, 1. vydání, Praha: Editio Supraphon, 1975. 183. s.

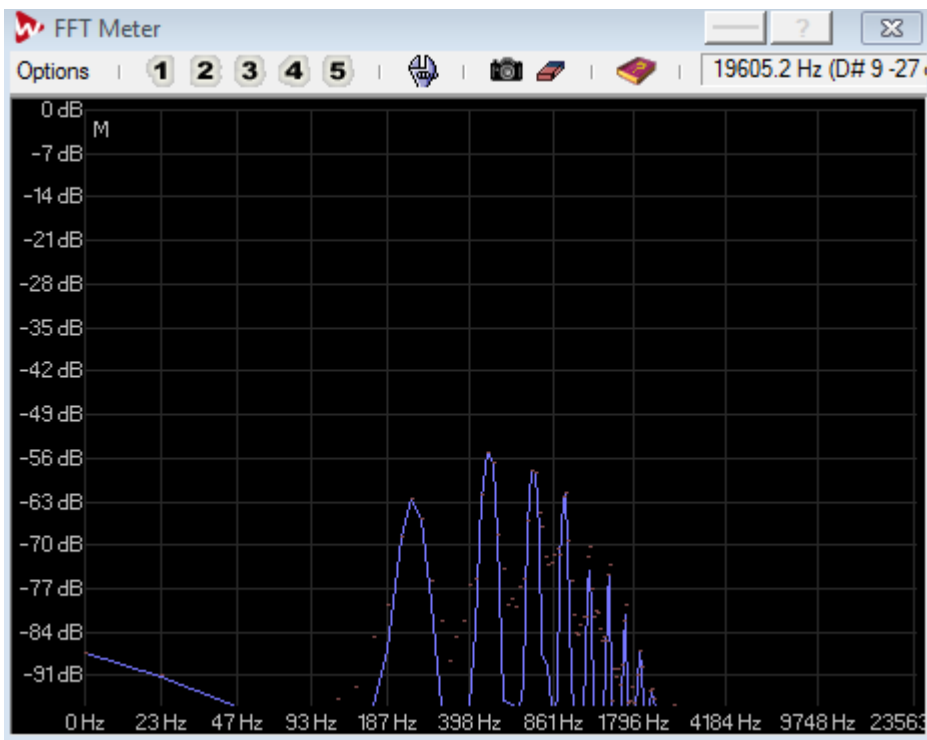
SEZNAM PŘÍLOH

A Spektra z Wavelabu	36
B Obsah přiloženého CD	40

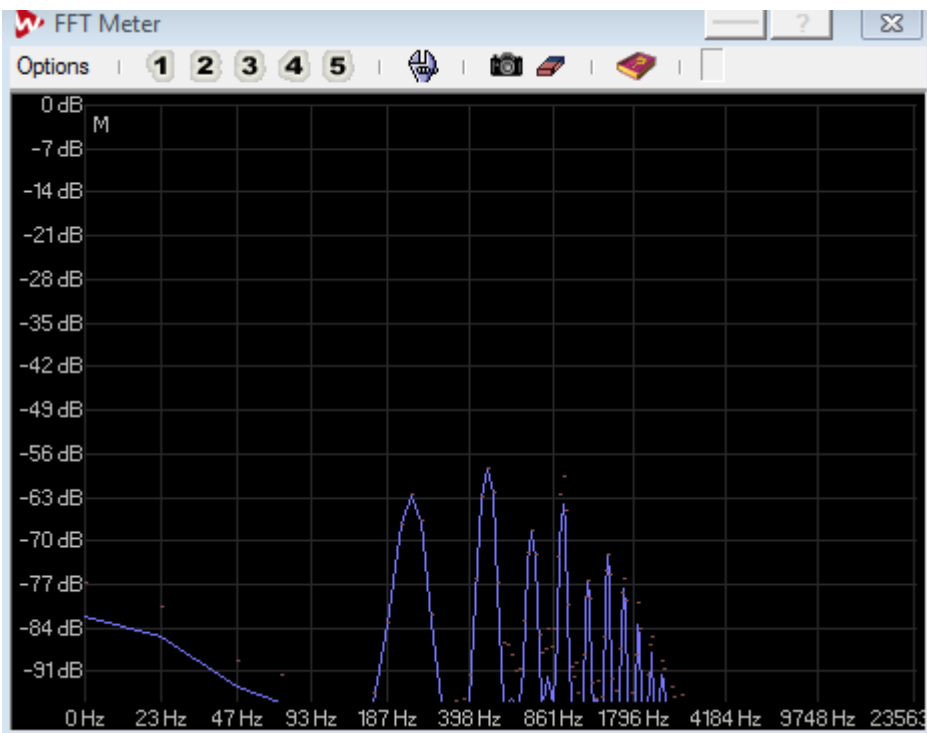
A SPEKTRA Z WVELABU



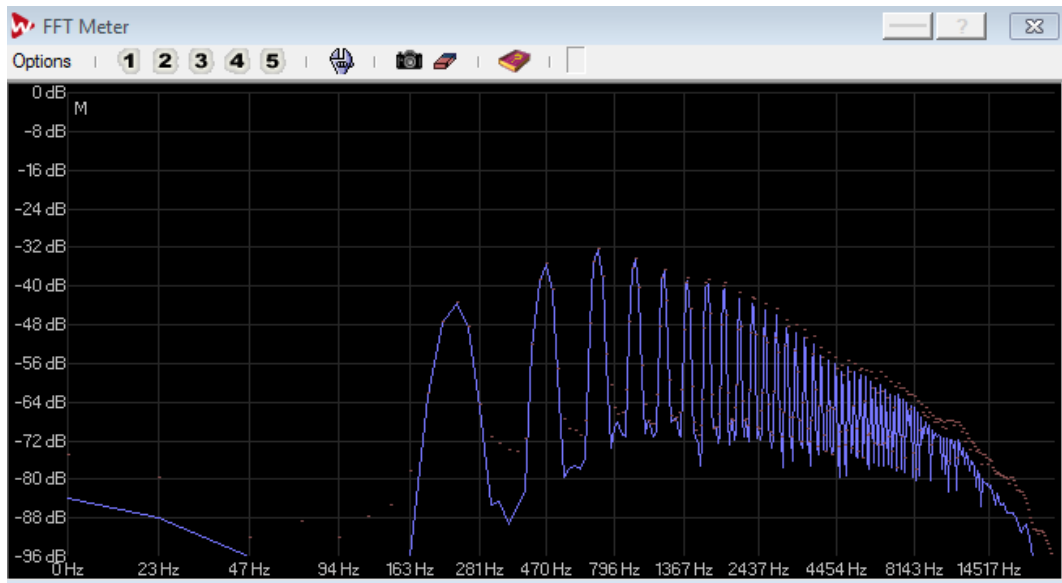
Obr. A.1: Spektrum moderního pozounu, f piano



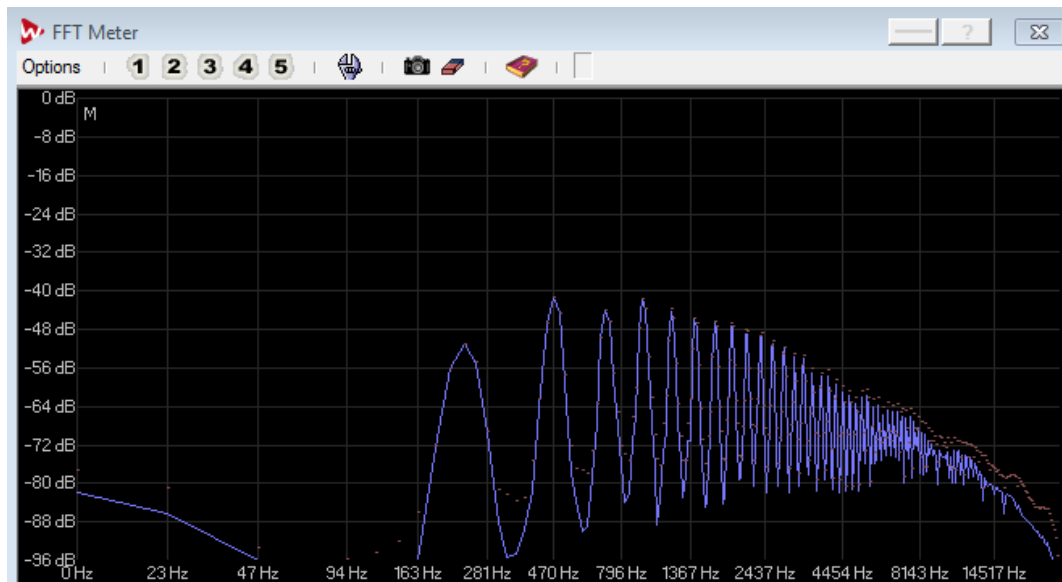
Obr. A.2: Spektrum barokního pozounu, f piano



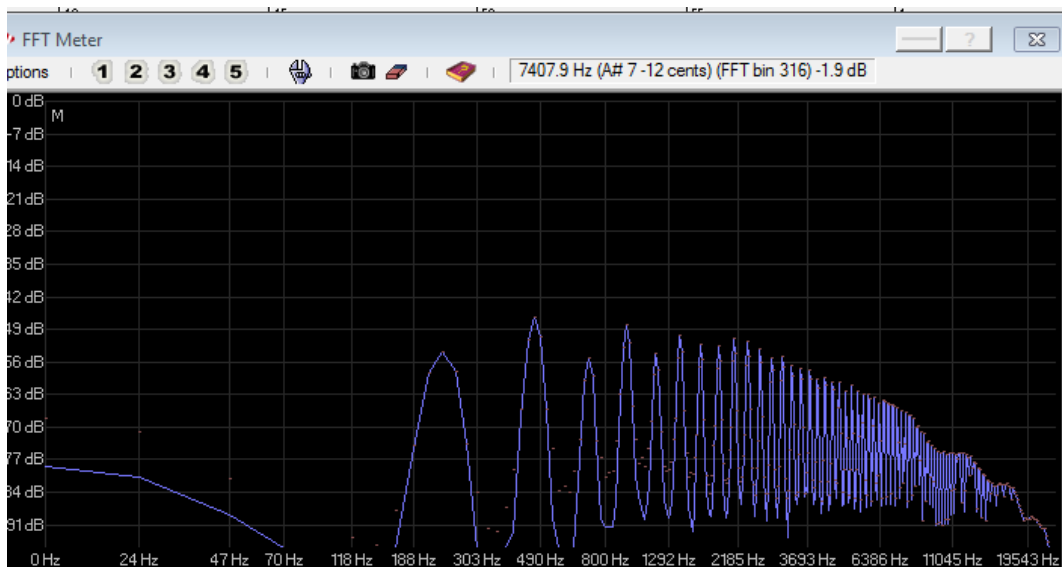
Obr. A.3: Spektrum plastového pozounu, f piano



Obr. A.4: Spektrum moderního pozounu, tón f, dynamika forte



Obr. A.5: Spektrum barokního pozounu, tón f, dynamika forte



Obr. A.6: Spektrum plastového pozounu, tón f, dynamika forte

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Přiložené CD obsahuje:

- elektronickou verzi bakalářské práce pod názvem xcibul11BP.pdf
- kód programu v Matlabu ve složce ./matlab, celkem tři soubory: guiasi.fig, spektrogramy.m, smerovost.m
- nastřížené vzorky tónů v různých dynamikách pro výpočet spekter ve složce ./vzorky/spektra
- nastřížené vzorky pro výpočet směrových charakteristik ve složce ./vzorky/smerovky