

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**VLIV TECHNIKY SNÍMÁNÍ PŘÍČNÉ FLÉTNY
NA ZVUKOVOU KVALITU ZÁZNAMU**

**vedoucí práce: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.
autor: Bc. Dagmar Bejčková**

2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dagmar BEJČKOVÁ**
Osobní číslo: **E10N0086P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Vliv techniky snímání příčné flétny na zvukovou kvalitu zá-
znamu**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte technické možnosti snímání zvuku příčné flétny.
2. Porovnejte možnosti snímání zvuku pro pódiové a studiové použití.
3. Realizujte optimální metodu snímání zvuku pro pódiové použití z hlediska kvality zvuku.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Téma

Vliv techniky snímání příčné flétny na zvukovou kvalitu záznamu

Anotace

Tato diplomová práce se věnuje určení optimální polohy mikrofonu při pódiovém snímání příčné flétny tak, aby bylo dosaženo co nejvěrnější barvy zvuku nástroje. V teoretické části se práce zaměřuje na hudební akustiku dechových nástrojů a popis metod snímání flétny. Praktická část se zabývá zjištěním vyzařovacích charakteristik flétny a určení polohy mikrofonu pomocí vyhodnocování barvy zvuku.

Klíčová slova

příčná flétna, snímání zvuku, barva zvuku, Fourierova transformace

Theme

Sound Quality Optimal Miking For Flute

Abstract

The aim of this thesis is to find the optimal microphone position, where the flute sound will be the most natural. The theoretical part deals with acoustics of wind instruments and description of flute miking techniques. Flute polar patterns and optimal microphone position are measured in the practical part.

Keywords

Transverse Flute, Miking, Timbre, Fourier transform

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím literatury uvedené v seznamu, který je nedílnou součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph. D. za pomoc a rady při zpracování této diplomové práce.

Můj vděk patří i všem, kteří mě při studiu a tvorbě práce podporovali.

Obsah

| | |
|---|----------------------|
| <u>1. ÚVOD</u> | <u>- 1 -</u> |
| <u>2. HUDEBNÍ AKUSTIKA</u> | <u>- 2 -</u> |
| 2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA A STAVBA PŘÍČNÉ FLÉTNY | - 2 - |
| 2.2 TÓNOVÝ A DYNAMICKÝ ROZSAH FLÉTNY | - 2 - |
| 2.3 VZNIK TÓNU | - 3 - |
| 2.4 ZMĚNA VÝŠKY TÓNU | - 4 - |
| 2.5 BARVA TÓNU | - 6 - |
| 2.6 VYZAŘOVACÍ CHARAKTERISTIKY | - 8 - |
| <u>3. SNÍMÁNÍ FLÉTNY</u> | <u>- 9 -</u> |
| 3.1 TEORETICKÝ ÚVOD | - 9 - |
| 3.2 MOŽNOSTI SNÍMÁNÍ ZVUKU FLÉTNY | - 12 - |
| 3.2.1 VE VELKÉ VZDÁLENOSTI | - 12 - |
| 3.2.2 PŘÍMO NAD NÁÚSTKEM | - 12 - |
| 3.2.3 ZA HRÁČEM | - 13 - |
| 3.2.4 VLEVO NAD HRÁČEM | - 14 - |
| 3.2.5 PŘED NÁÚSTKEM | - 14 - |
| 3.2.6 MEZI NÁÚSTKEM A PRVNÍM TÓNOVÝM OTVOREM | - 15 - |
| <u>4. MĚŘENÍ</u> | <u>- 16 -</u> |
| 4.1 FOURIEROVA TRANSFORMACE | - 16 - |
| 4.1.1 HARMONICKÝ SIGNÁL | - 16 - |
| 4.1.2 FOURIEROVA ŘADA | - 17 - |
| 4.1.3 FOURIEROVA TRANSFORMACE | - 18 - |
| 4.2 PULSE | - 19 - |
| 4.2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA | - 19 - |
| 4.2.2 NASTAVENÍ PULSE | - 20 - |
| 4.3 MĚŘENÍ SMĚROVÝCH CHARAKTERISTIK FLÉTNY | - 21 - |

| | | |
|------------|--|---------------|
| 4.3.1 | POPIS MĚŘÍCÍ METODY | - 21 - |
| 4.3.2 | VÝSLEDKY MĚŘENÍ..... | - 23 - |
| 4.3.3 | ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | - 29 - |
| 4.4 | MĚŘENÍ OPTIMÁLNÍ POZICE MIKROFONU | - 30 - |
| 4.4.1 | ÚVOD | - 30 - |
| 4.4.2 | POPIS MĚŘENÍ | - 30 - |
| 4.4.3 | POUŽITÉ MIKROFONY..... | - 32 - |
| 4.4.4 | VÝSLEDKY MĚŘENÍ..... | - 36 - |
| 4.4.5 | ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ | - 40 - |
| 5. | <u>ZÁVĚR</u> | - 42 - |
| 6. | <u>POUŽITÁ LITERATURA</u> | - 43 - |
| | <u>PŘÍLOHY</u> | - 44 - |

Seznam použitých zkratk

FFT – Fast Fourier Transform

CPB – Constant Percentage Bandwidth

DFT – Discrete Fourier Transform

TEDS – Transducer Electronic Data Sheet

AT – Audio-Technica

1. Úvod

Snímání příčné flétny při živém vystoupení patří k nejproblematičtějším úkolům zvukové techniky. Na základě vlastních zkušeností z vystupování lze tvrdit, že nejčastějším problémem zvukařů je absence zkušeností s tímto nástrojem, protože použití flétny v jiné než klasické hudbě není tak obvyklé. Dalším problémem je to, že neexistuje žádný další nástroj založený na podobném principu vzniku tónu a nelze tedy předpokládat, kde bude flétna nejlépe znít.

Snímání flétny je dost opomíjeno i v odborné literatuře zabývající se zvukovou technikou, popř. je toto téma zmíněno jen velmi stručně, často s mylnými předpoklady. Mezi nejčastější zvukařské chyby patří snímání zpěvovým dynamickým mikrofonom a následné přidávání vyšších frekvencí na ekvalizéru, což většinou způsobuje zpětnou vazbu.

Tato práce má za úkol zjistit optimální polohu mikrofону z hlediska barvy zvuku a přiblížit tak snímání pódiové co nejvíce snímání studiovému. Poloha mikrofónu bude zjišťována především měřením vyzařovacích charakteristik flétny, o kterých se odborná literatura zmiňuje velmi okrajově.

2. Hudební akustika

2.1 Obecná charakteristika a stavba příčné flétny

Příčná flétna patří mezi dechové dřevěné nástroje. Bývá většinou vyrobena z kovu (niklová mosaz, různé druhy ocelí, stříbro, zlato, platina), ojediněle ze dřeva. Klapkový mechanismus procházel složitým vývojem od druhé poloviny 17. století až po současnost. Moderní podoba flétny je záležitostí až 20. století, kdy se přešlo na tzv. Boehmův systém. Skládá se ze tří částí:

Hlavice – část, kde dochází k tvoření tónu a má také největší vliv na barvu zvuku. Nachází se zde retný otvor s náustkem, sloužícím k opření rtů. Tvar otvoru i náustku se liší podle výrobce, i malou změnou tvaru lze získat zcela nový zvuk nástroje. Posouváním hlavice lze flétnu ladit.

Tělo – střední část s klapkami, které mohou být otevřené i uzavřené. Klapky jsou podlepeny buď silikonovými podložkami či kůží, aby se zajistilo jejich těsnění. Mohou být buď všechny v řadě (tzv. in-line mechanika) nebo může být jedna klapka předsunutá pro snadnější polohu levé ruky.

Nožka – poslední díl, který se vyrábí se třemi nebo čtyřmi klapkami a závisí na něm nejhlubší tón flétny. Kratší nožka umožňuje hrát pouze do c_1 , delší nožka do h .



Obr. 1: Flétna s otevřenými klapkami a h-nožkou [7]

2.2 Tónový a dynamický rozsah flétny

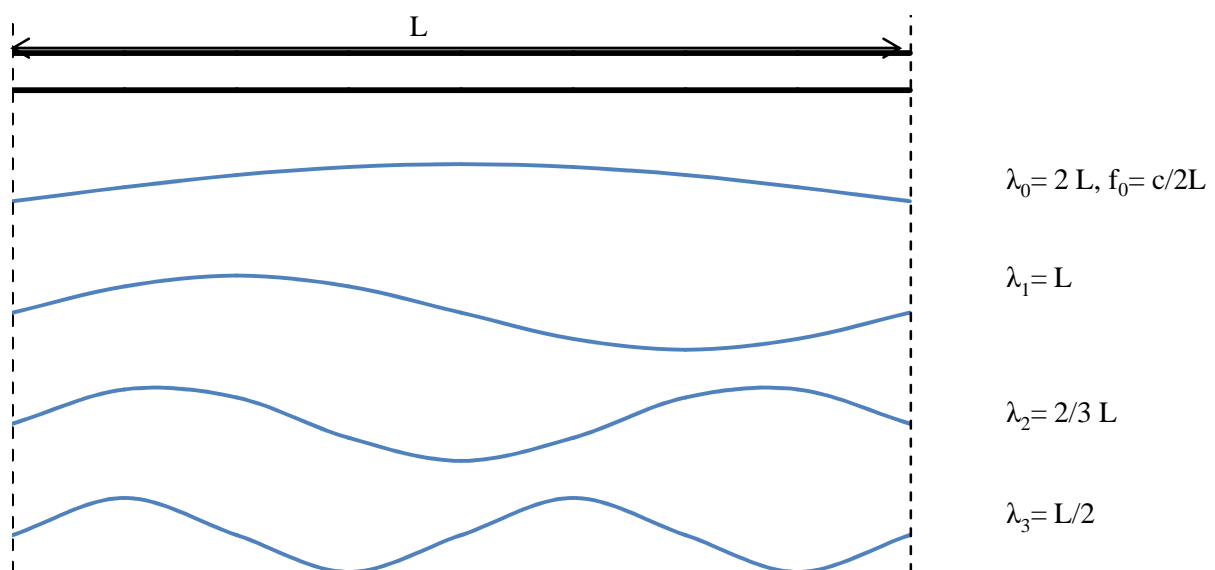
Příčná flétna má tónový rozsah c_1 až c_4 (262 Hz – 2093 Hz), ale krajní polohy nástroje se musí používat s rozvahou. V hluboké poloze může znít flétna slabě, což je nutné zohlednit při hře s ostatními nástroji. Nejvhodnější použití pro flétnu je v rozsahu od d_1 do g_3 (294 Hz – 1568 Hz).

Dynamický rozsah se pohybuje od 50 do 85 dB.

2.3 Vznik tónu

Dechové nástroje jsou založeny na principu chvění vzduchového sloupce. U příčné flétny je chvění vyvoláno prouděním úzkého proudu vzduchu přes hranu retného otvoru. Po obou stranách hrany vznikají vzdušné víry, které se periodicky opakují a způsobují rozkmitání vzduchového sloupce v nástroji. Tyto víry se zvukově projevují jako tzv. **třecí tón**, který popsal v roce 1878 český fyzik Č. Strouhal. Frekvence třecího tónu je přímo úměrná rychlosti proudění vzduchu v a nepřímo úměrná vzdálenosti hrany od štěrbiny (úst) u .

Jako **rezonátor** funguje vzdušný sloupec uvnitř nástroje (ale i tzv. vzdušná dutina – prostor mezi uzavřeným koncem flétny a retným otvorem, která představuje Helmholtzův rezonátor). Se stoupajícím tlakem vzduchu stoupá frekvence až na první rezonanční mód nástroje, kdy se flétna rozezní. S dalším zvyšováním tlaku dojde k přefouknutí nástroje – přeskoku tónu do dalšího rezonančního módu (v tomto případě je to oktáva – dvojnásobek základní frekvence). [1]



Obr. 2: Stojaté vlnění v otevřené trubici – průběhy akustického tlaku

Pro zjednodušení si lze flétnu představit jako trubici délky L otevřenou na obou koncích (příčná flétna má totiž zvukovod konstantního průřezu, na rozdíl od hoboje či klarinetu, které jsou kónického vrtání). Vzniká zde **stojaté vlnění**, složené z vlny přímé a odražené. K odrazu přímé vlny dochází při skokové změně průřezu trubice, v tomto případě na obou otevřených koncích, kde výchylka částic nabývá maxima – kmitny a akustický tlak minima – uzlu. Frekvence stojatého vlnění je pak dána vztahem

$$f_n = n \frac{c}{2L}$$

kde c je rychlost zvuku a $n \in \mathbb{N}^+$.

To znamená, že vzduchový sloupec je schopen kmitat na všech n násobcích základní frekvence a vykazuje komplexní spektrum (na rozdíl od vzdušného sloupce klarinetu, který je schopen kmitat pouze na lichých frekvencích kvůli jednomu uzavřenému konci). Některé rezonanční módy znázorňuje Obr. 2.

Akustická délka kmitajícího vzduchového sloupce L_a je ve skutečnosti delší než mechanická délka L_m , neboť dochází k vysunutí kmiten a uzlů vlivem postupného (ne skokového) vyrovnávání hustoty částic vzduchu uvnitř a vně trubice. Je dána vztahem

$$L_a = L_m + 0,6r$$

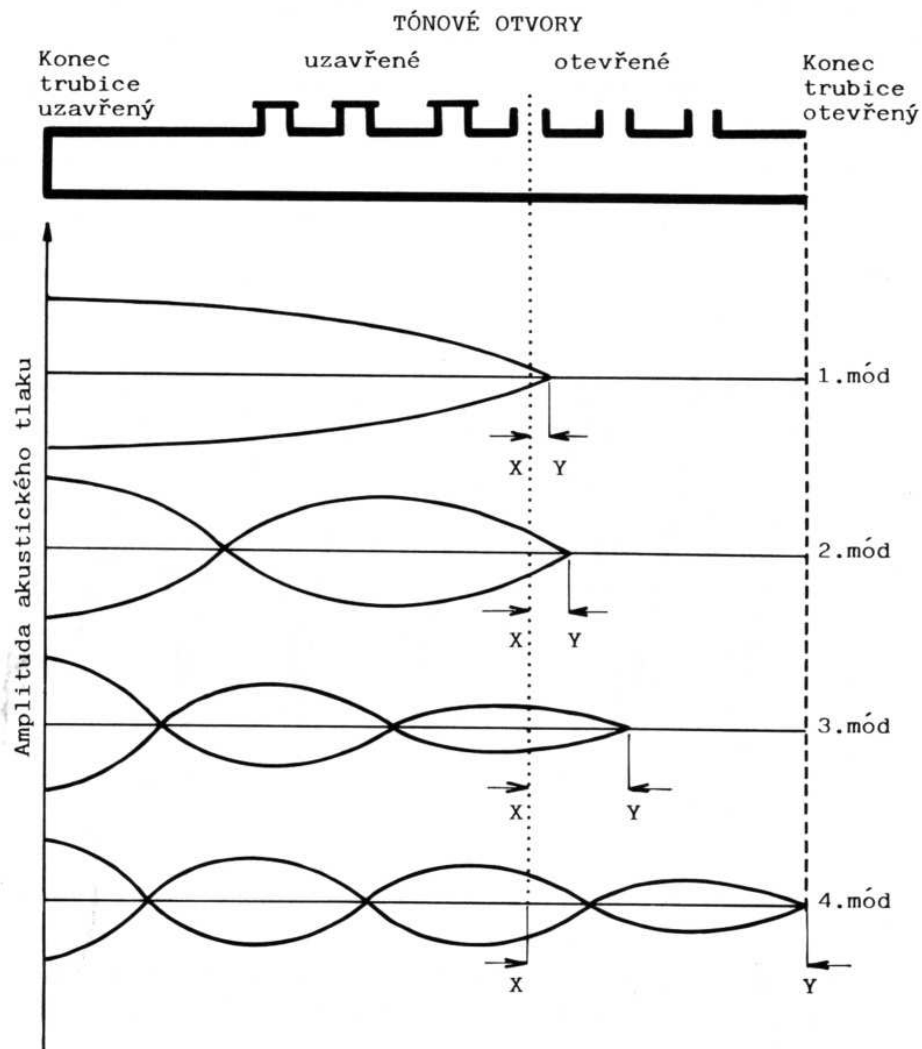
kde r je poloměr trubice. [1]

2.4 Změna výšky tónu

Postupným otevíráním tónových otvorů se zkracuje délka vzduchového sloupce a tón nástroje se zvyšuje. Po vyčerpání tohoto rozsahu lze zvýšit tón pouze pomocí změny rezonančního módu, tzn. přefouknutím nástroje – u flétny o oktávu výše, u klarinetu o duodecimu výše.

Po otevření tónového otvoru by v jeho místě měl teoreticky vzniknout uzel stojatého vlnění akustického tlaku. Avšak i zde dochází k výše popsanému jevu, kdy je skutečná akustická délka delší než mechanická délka sloupce. Musí se proto provést

korekce na tónový otvor – otvor se předsadí o určitou vzdálenost. U vyšších rezonančních módů se akustická délka prodlužuje a při dosažení **mezní frekvence** se otevření tónových otvorů přestane projevovat úplně (Obr. 3). [1]



Obr. 3: Vliv otevřeného tónového otvoru na rozložení rezonančních módů trubice [1]

Tato mezní frekvence je dána vztahem

$$f_m = 0,11c \frac{d}{D} \sqrt{\frac{4}{s(4t + 3d)}}$$

kde c je rychlost zvuku, d - průměr tónových otvorů, D - průměr trubice, s - poloviční rozteč tónových otvorů, t - délka tónového otvoru.

2.5 Barva tónu

Barva tónu je klíčovým prvkem při určování kvality záznamu. Je určena přítomností (počtem a intenzitou) tzv. **vyšších harmonických frekvencí**, které jsou násobkem frekvence základní (první harmonické). Sudé násobky označujeme jako sudé harmonické, liché násobky jako liché harmonické frekvence. Podle H. von Helmholtze (1821-1894) existují určité vztahy mezi spektrem tónu a vjemem jeho barvy: Tóny tvořené ze složek do 6. harmonické jsou vnímány jako plné, libozvučné a zvukově bohatší, tóny obsahující složky nad 6. harmonickou jsou charakterizovány jako ostré a drsné, stupeň ostrosti závisí na konkrétním složení vyšších harmonických. Je známo, že pro lidské ucho je příjemnější přítomnost sudých harmonických frekvencí.

Z hlediska vývoje teorií o barvě zvuku by neměly být opomenuty **Schumannovy zákony barvy zvuku** formulované v roce 1929.

Ukazují, že barva zvuku dechových nástrojů je závislá na výšce tónu i jeho hlasitosti.

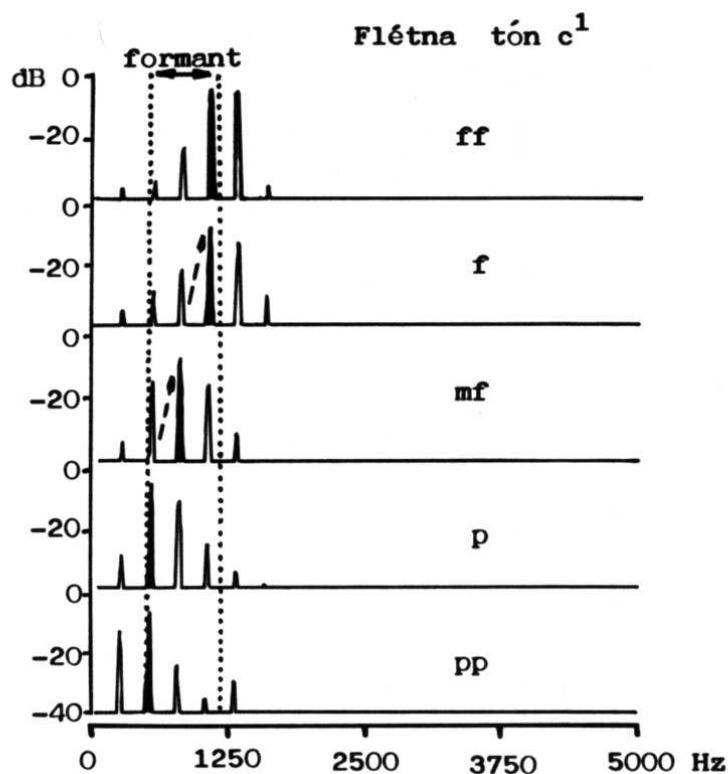
Zákon formantových oblastí – Barva zvuku hudebního nástroje je dána polohou formantových oblastí, které se vyznačují silnějšími vyššími harmonickými tóny

Zákon formantových intervalů – pro barvu zvuku hudebního nástroje je vedle polohy formantových oblastí rozhodující též interval mezi těmito oblastmi, resp. mezi nejsilnějšími harmonickými tóny těchto oblastí. Velikost těchto intervalů je charakteristická pro různé hudební nástroje.

Zákon akustického posuvu – Při stoupající dynamice tónu se přesouvá intenzitní maximum v dané formantové oblasti na harmonické složky vyšších pořadových čísel.

Zákon akustického skoku – U tónu se dvěma formantovými oblastmi přeskakuje při velkém zesílení tónu intenzitní maximum z nižší formantové oblasti do vyšší.

U flétny se **formantová oblast** nalézá mezi 660 a 1050 Hz s maximem kolem 800 Hz, v závislosti na výšce a dynamice tónu přebírá intenzitní maximum postupně čtvrtá (pro tón c_1 je to $4 \times 262 = 1040$ Hz) až první harmonická. První zákon nám tedy ukazuje, že barva zvuku je závislá na výšce tónu. Za zmínku stojí i třetí Schumannův zákon, který vysvětluje závislost barvy tónu na jeho dynamice. U flétny se intenzitní maximum plynule přesouvá z 2. na 3. a 4. harmonickou (Obr. 4). [1]



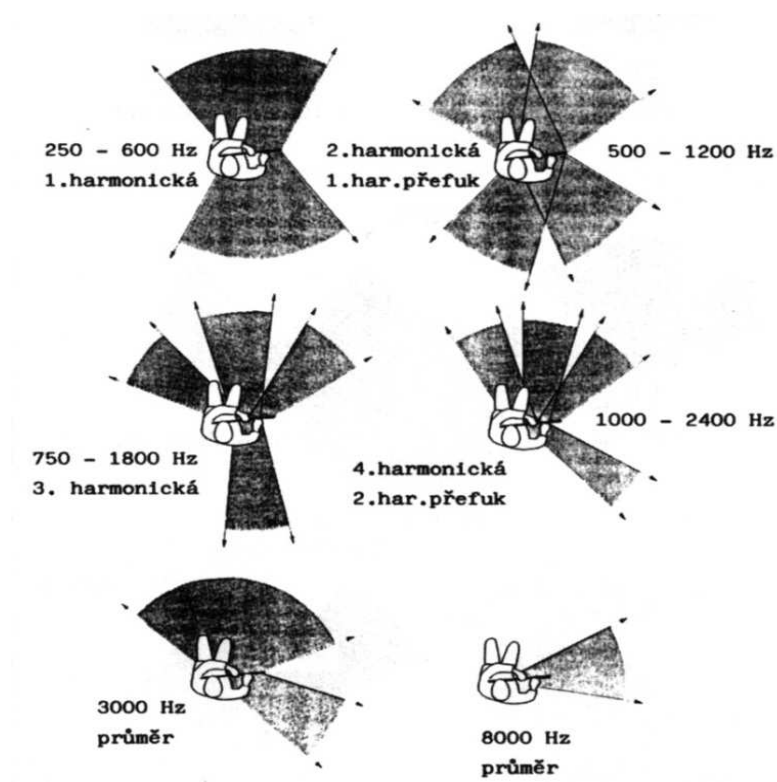
Obr. 4: Schumannův zákon akustického posuvu [1]

2.6 Vyzařovací charakteristiky

Z hlediska akustických zdrojů představuje flétna **akustický dipól** – k vyzařování zvuku dochází jak otvorem náústku, tak teoreticky posledním otevřeným tónovým otvorem.

Po dosažení rozměrů flétny do vztahu pro mezní frekvenci vychází tato frekvence cca 1600 Hz (to je těsně nad tónem g_3 – 1568 Hz). Z toho lze předpokládat, že ve skutečnosti se všechny frekvence nad tuto mezní frekvenci neodráží na posledním otevřeném otvoru, ale šíří se trubicí dále. Z hlediska tvaru vyzařovacích charakteristik to znamená, že čím vyšší frekvence, tím více má zvuk tendenci postupovat ve směru osy nástroje. Pomocí mezní frekvence lze vysvětlit i složité prstoklady pro tóny nad g_3 a jejich špatnou intonaci.

Pro liché harmonické frekvence kmitají oba konce vzdušného sloupce ve fázi, pro sudé v protifázi. Směrová charakteristika je tedy závislá jak na frekvenci, tak na pořadovém čísle vyšší harmonické, vzhledem k tomu, že dochází k interferenci kmitů z „obou“ zdrojů. Hlavní směry vyzařování flétny jsou znázorněny na Obr. 5. [1]



Obr. 5: Hlavní směry vyzařování flétny [1]

3. Snímání flétny

3.1 Teoretický úvod

Při výběru vhodného mikrofonu bereme v úvahu frekvenční rozsah, směrovou charakteristiku a citlivost.

Z hlediska principu rozeznáváme dva hlavní typy mikrofonů – dynamický a kondenzátorový. Při snímání flétny je častěji používán kondenzátorový mikrofon, který má obecně vyrovnanější frekvenční charakteristiku a vyšší citlivost než dynamický mikrofon. Dává ostrý zvuk flétny s více harmonickými frekvencemi a hodí se pro snímání ve studiu a na velká pódia. Z hlediska hudebních stylů jsou kondenzátorové mikrofony vhodné pro jazz a klasickou hudbu. Dynamické mikrofony se pro snímání dechových nástrojů tolik nepoužívají, jsou určeny pro snímání hlasitějších zvuků z menších vzdáleností, což způsobuje nevěrohodné sejmutí barvy nástroje, ale mohou být vhodné pro snímání zvuku na malých pódíích, kde je riziko vzniku přeslechů a zpětné vazby. Hodí se do rockové hudby a pro nahrávání doprovodných partů. Méně známé jsou páskové mikrofony, které by měly dávat plný a přirozený zvuk flétny. Používají se pro nahrávání klasické hudby. [3] Páskové mikrofony jsou křehké a citlivé na manipulaci a nehodí pro snímání na pódiu.

Z hlediska směrové charakteristiky by bylo pro snímání na pódiu nejvhodnější použít kardioidní charakteristiku kvůli eliminaci rušivých zvuků přicházejících z okolí i kvůli eliminaci zpětné vazby.

Vzhledem k tomu, že flétna nevyzařuje všechny frekvence všesměrově, o výsledné barvě zvuku rozhoduje pozice mikrofonu. Při hledání vhodného umístění mikrofonu musíme vědět, jaké barvy zvuku chceme dosáhnout. Různé hudební styly totiž vyžadují různý zvuk, neexistuje jediná správná pozice mikrofonu, je to záležitost osobního vkusu. V této práci zkusíme přiblížit pódiový zvuk co nejvíce zvuku studiovému, to znamená, že budeme hledat pozici mikrofonu, kde zní flétna přirozeně a vyváženě.

Jednou z možností, jak najít nejlepší zvuk, by bylo experimentovat s různou pozicí a různými typy mikrofonů a hodnotit je poslechem. Abychom však převedli subjektivní složku na měřitelnou veličinu, budeme zvuk srovnávat pomocí FFT analýzy.

Akustické nástroje jsou určeny k poslechu z větší vzdálenosti (cca od 2 metrů), zvuky vycházející z různých částí nástroje se spojují a získáváme přirozený a vyvážený zvuk. Proto se v profesionálních studiích zabývajících se nahrávkami klasické hudby flétna snímá mikrofonem umístěným vysoko nad hráčem. Čím je mikrofon dále od hráče, tím se barva zakulacuje, dynamika se srovnává a snižuje se hlučnost mechaniky.

Mikrofon umístěný v blízkosti nástroje vždy zdůrazňuje určitou složku zvuku z té části nástroje, které je nejbližší. U flétny tedy většinou získáváme blízkým sejmutím hlasitější nádechy či zvuk klapek, které sice do zvuku flétny patří (a dotvářejí věrohodný záznam zvuku), ale nesmí působit rušivě. Příčná flétna je velmi náročná na spotřebu vzduchu, z ustáleného vzduchového paprsku, který se rozráží o hranu otvoru, se využijí na rozkmitání vzduchového sloupce v nástroji pouze asi dvě třetiny. Zbylá třetina vzduchu jde mimo flétnu, proto není vhodné stavět mikrofon přímo před ústa hráče. Naopak nesprávným umístěním mikrofonu v blízkosti klapek dosáhneme toho, že některé tóny mohou být nepříjemně zdůrazněny a jiné se mohou naopak ztrácet.

Na pódiu si nemůžeme dovolit příliš experimentovat se vzdáleností kvůli nežádoucím zvukům z okolí. V tomto případě je vhodné umístit mikrofon co nejbližší k nejhlasitější části.

Jak už bylo řečeno, akustická energie flétny je vyzařována jak náustkem, tak tónovými otvory a ze změřených vyzařovacích charakteristik je patrné, že základní frekvence jsou vyzařovány všesměrově, kdežto vyšší frekvence jsou více směrové.

Nejčastější umístění mikrofonu se volí v polovině vzdálenosti mezi náustkem a první klapkou, tak aby mikrofon s těmito dvěma body tvořil rovnostranný trojúhelník. Umístění v prodloužené ose nástroje jako například u klarinetu či hoboje zde není vhodné z důvodu přítomnosti mnoha vyšších harmonických frekvencí a charakteristického šumu vycházejícího z retného otvoru, který dělá zvuk příliš ostrým.

Někdy se setkáváme s umístěním mikrofonu zezadu napravo od hráče. Tím sice získáme dynamicky vyvážený zvuk, ale naprosto nevěrohodnou barvu.

Flétna se obecně vyznačuje velmi nevyváženou dynamikou z různých polohách nástroje. V nižších polohách je charakteristický tišší kulatější zvuk, při snaze ho zesílit dochází snadno k nechtěným přefukům. U vyšších tónů musíme naopak počítat s průraznou barvou a silnou dynamikou, při zeslabení vysokých tónů se ztrácí barva nástroje a nelze udržet intonaci.

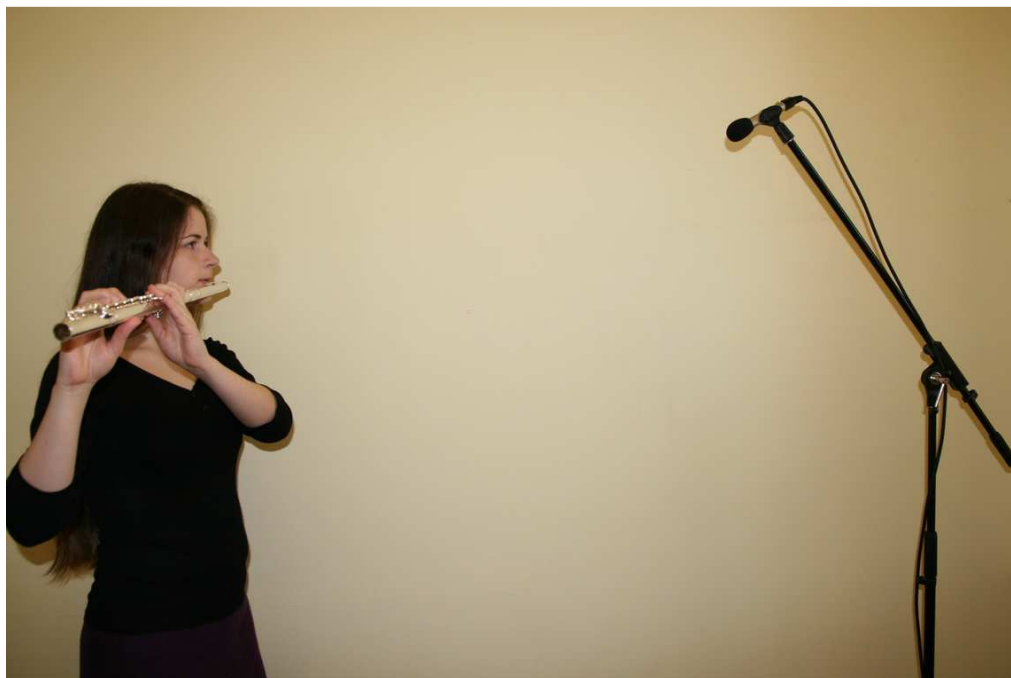
Při hledání vhodné pozice mikrofonu budeme vycházet z předpokladu, že přirozený zvuk flétny by měl obsahovat nejvíce frekvencí mezi 600 Hz – 1kHz, pokud tyto frekvence zdůrazníme, získáváme plný a kulatý zvuk flétny. Lze se o tom snadno přesvědčit úpravou nahrávky sólové flétny pomocí ekvalizéru.

3.2 Možnosti snímání zvuku flétny

Následující přehled obsahuje nejčastěji používané typy snímání flétny. [4]

3.2.1 Ve velké vzdálenosti

Tento typ se hodí pro pódiové snímání klasické hudby a sólové hry a pro studiové snímání. Mikrofon je umístěn přímo naproti a mírně nad hráčem ve větší vzdálenosti. V této pozici dostáváme čistý a ostrý zvuk bez přítomnosti nádechů včetně prostorové složky zvuku. Pro zajištění přítomnosti nádechů je nutno mikrofon posunout blíže hráči.



Obr. 6: Snímání ve velké vzdálenosti

3.2.2 Přímo nad náústkem

Toto umístění se používá pro snímání na pódiu, avšak velmi zřídka. Zvyšuje se zde riziko vzniku zpětné vazby (při přítomnosti monitorů). Nádechy a proud vzduchu, který se rozráží o hranu náústku, mohou působit rušivě.



Obr. 7: Snímání přímo nad náústkem

3.2.3 Za hráčem

V této pozici se neuplatňují ve zvuku nádechy ani zvuk mechaniky, tón je dynamicky vyvážený, ale barva nevěrohodná. Tato pozice je pro snímání flétny nevhodná.



Obr. 8: Snímání za hráčem

3.2.4 Vlevo nad hráčem

Toto umístění přináší nejvyrovnanější tón v celém rozsahu nástroje, nádechy jsou ve zvuku přítomny, ale nepůsobí rušivě a vhodný je i poměr přímého zvuku flétny a místnosti. Pro snímání flétny se zdá tato metoda jako nejvhodnější.

Mikrofon lze umístit i výš nad hráče, získáme tím větší podíl prostorové složky zvuku.



Obr. 9: Snímání vlevo nad hráčem

3.2.5 Před náústkem

Nejčastěji využívaná pozice při pódiovém snímání v kombinaci s použitím dynamického (nejčastěji zpěvového) mikrofonu. Co se týče barvy zvuku, ve většině případů je to naprosto nevhodný typ snímání, z hlediska přítomnosti šumu vznikajícího v retném otvoru (který se musí dodatečně odstraňovat) a přítomnosti ostrých nádechů.



Obr. 10: Snímání před náústkem

3.2.6 Mezi náústkem a prvním tónovým otvorem

Doporučené umístění mikrofonu u dechových nástrojů se nachází mezi náústkem a prvním tónovým otvorem tak, aby tyto dva body tvořily s mikrofonem rovnostranný trojúhelník.



Obr. 11: Snímání mezi náústkem a prvním tónovým otvorem

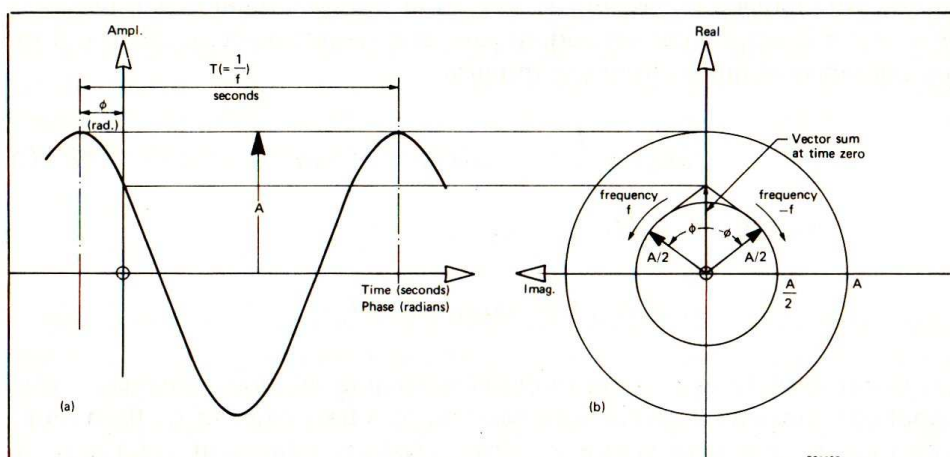
4. Měření

Vyhodnocování barvy zvuku při experimentování s různými pozicemi mikrofону by bylo možné hodnotit poslechem, avšak abychom z hodnocení vyloučili subjektivitu posluchače, budeme zpracovávat signály pomocí FFT analýzy, jejímž základem je Fourierova transformace.

4.1 Fourierova transformace

4.1.1 Harmonický signál

Abychom porozuměli matematické podstatě Fourierovy transformace, je nutné si představit harmonický signál v komplexní rovině jako dva vektory o amplitudě $A/2$ rotujících proti sobě (Obr. 12b)



Obr. 12: a) harmonický signál $A \cos(2\pi ft + \theta)$

b) Vyjádření harmonického signálu jako dvou rotujících vektorů [2]

Pokud rotující vektory pro libovolný časový okamžik sečteme, dostáváme vždy výsledek na reálné ose. Tento součet lze matematicky vyjádřit jako

$$A \cdot \cos \theta = \frac{A}{2} (e^{j\theta} + e^{-j\theta})$$

Na obrázku je zachycena pozice vektorů v čase 0 s. [2]

4.1.2 Fourierova řada

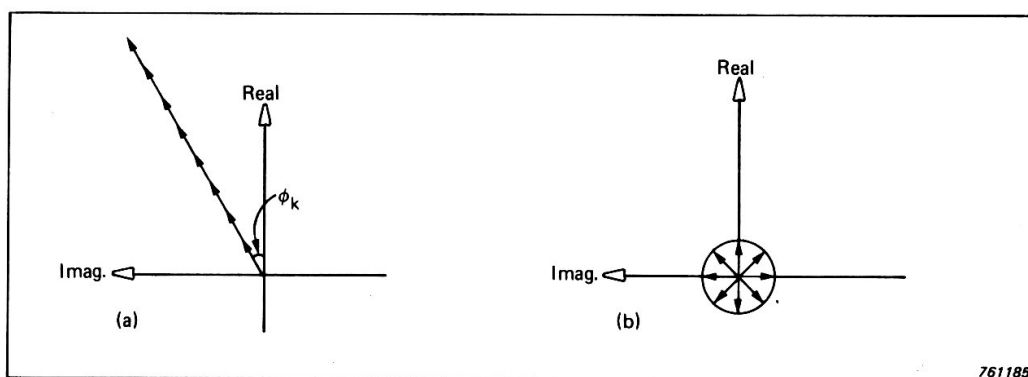
Nechť $g(t)$ je periodická funkce

$$g(t) = g(t + nT), \text{ kde } T \text{ je perioda a } n \text{ celé číslo a } f = 1/T$$

pak k -tá harmonická složka může být vyjádřena jako

$$G(f_k) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} g(t) e^{-j2\pi f_k t} dt, \quad \text{kde } f_k = k \cdot f_1$$

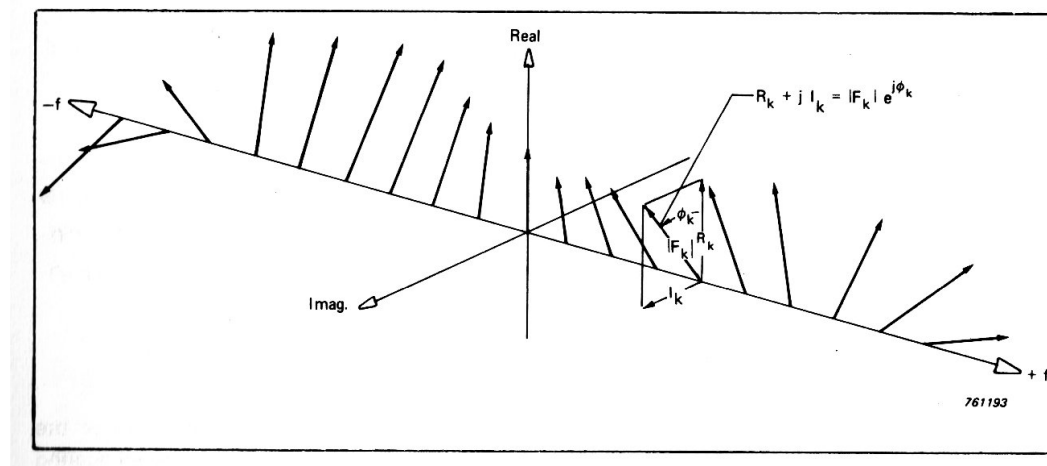
Pokud signál $g(t)$ obsahuje složku rotující na frekvenci f_k , pak násobení jednotkovým vektorem $e^{-j2\pi f_k t}$ anuluje rotaci složky a tu pak lze integrovat ke konečné hodnotě. Ostatní složky rotující na jiných frekvencích budou rotovat i po násobení jednotkovým vektorem $e^{-j2\pi f_k t}$ a jejich integrováním získáme nulu.



Obr. 13: a) integrace nerotujícího vektoru ke konečné hodnotě
b) integrace rotujícího vektoru k nule [2]

Signál $g(t)$ lze tedy vyjádřit jako součet harmonických složek:

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} G(f_k) e^{j2\pi f_k t}$$



Obr. 14: 3D spektrum periodické funkce [2]

4.1.3 Fourierova transformace

Vše, co bylo dosud řečeno o periodických signálech, lze aplikovat i na neperiodické signály uvažováním nekonečné periody $T \rightarrow \infty$, kdy vzdálenost mezi jednotlivými harmonickými složkami se blíží nule, a získáváme spojité spektrum.

Fourierova transformace je matematickým základem frekvenční analýzy a umožňuje převod signálů z časové oblasti do oblasti frekvenční. Každý signál lze rozdělit na součet harmonických složek.

Pro neperiodické signály platí:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) e^{j2\pi f t} dt$$

V praxi máme k dispozici pouze diskrétní hodnoty určitého signálu získané vzorkováním s periodou T_0 během určité konečné doby T . Z těchto diskrétních vzorků je možné vypočítat rovněž diskrétní vzorky frekvenčního spektra pomocí tzv. diskrétní Fourierovy transformace (DFT). Výpočet je ovšem velice pracný, neboť vyžaduje stanovení velkého počtu součinů a součtů komplexním veličin.

Velice efektivním algoritmem pro výpočet DFT je tzv. rychlá Fourierova transformace (FFT). Při použití tohoto algoritmu se zmenší počet matematických operací s faktorem $N \log_2 2N$ a redukuje se i čas potřebný k výpočtu. [2]

4.2 PULSE

4.2.1 Obecná charakteristika

PULSE™ od firmy Brüel & Kjaer je výsledek vývoje jednoho z nejrozsáhlejšího software i hardware v oblasti měření a analýzy hluku a vibrací.

Schopnost PULSE pracovat v reálném čase znamená možnost sledovat výsledky měření a analýzy okamžitě po změření. To umožňuje kontrolu měření a dat a okamžitě určení možných problémů. Ve spojení s automatizovaným vytvářením výsledných zpráv se PULSE stává nástrojem, který umožňuje velice rychlé získávání výsledků měření.

Multianalýza PULSE umožňuje současnou práci a zpracování dat několika různými způsoby analýzy současně, např. FFT analýza, 1/n oktávová analýza (CPB), analýza celkových úrovní a to vše na stejných nebo různých signálech (kanálech) současně s možností zobrazování výsledků a přímého ukládání dat na disk. Tyto vlastnosti snižují časy měření a zvyšují kvalitu měření a výsledků.

Všechny informace o nastavení a konfiguraci měření jsou ukládány do tzv. projektů měření a mohou být opakovaně použita pro další měření.

Technologie hardware PULSE umožňuje připojení od jednoduchých a nejstarších snímačů až po moderní snímače včetně podpory TEDS.

Modularitou software PULSE je myšlena možnost přidání libovolného počtu dostupných softwarových modulů pro další specifická měření a aplikace jako jsou např. modul pro měření v závislosti na otáčkách nebo software pro kvalitu zvuku nebo lokalizaci zdrojů hluku. Stejným způsobem lze přidávat také hardwarové moduly a rozšiřovat tak možnosti systému. [6]

4.2.2 Nastavení PULSE

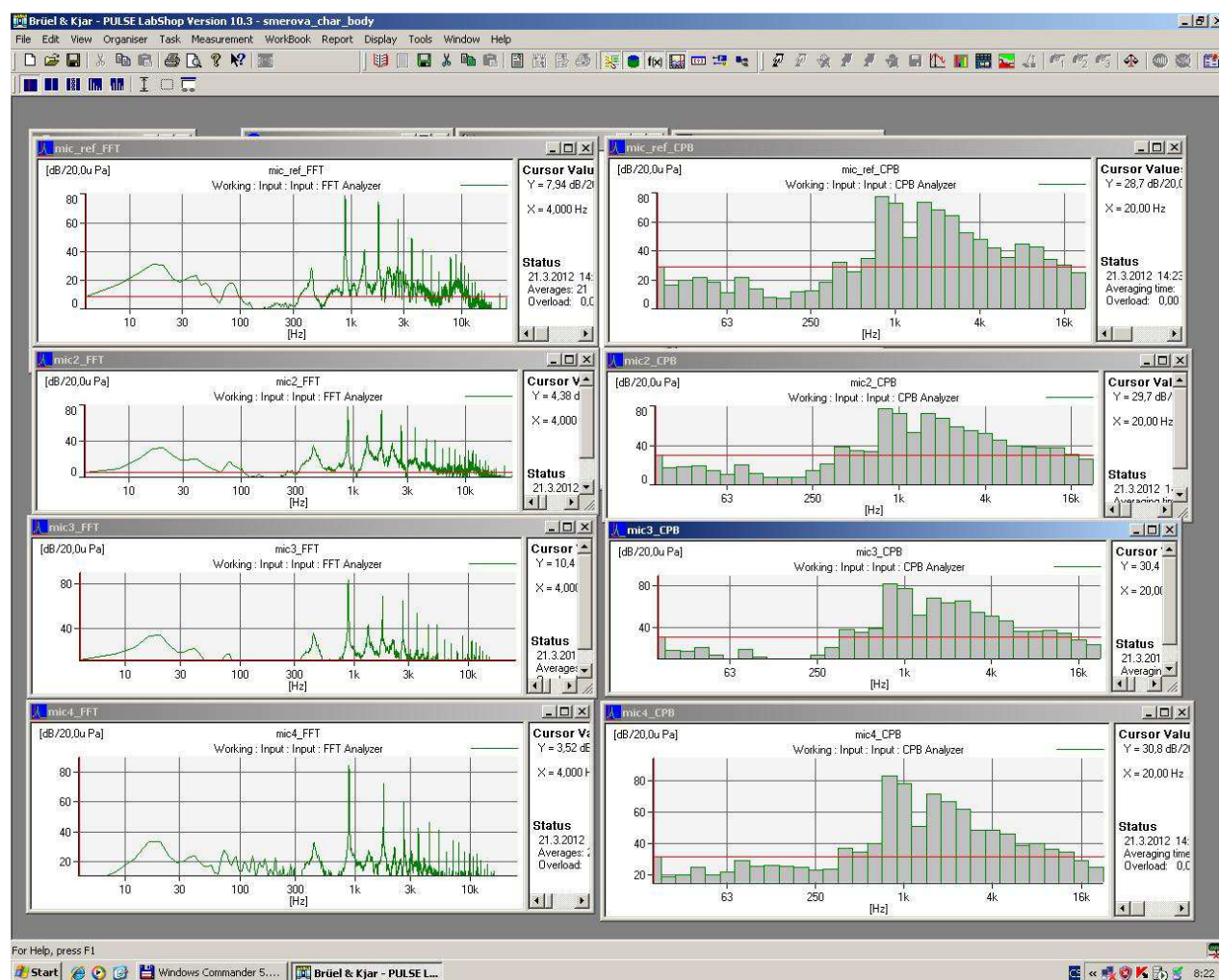
Měření bylo provedeno pomocí analyzátoru PULSE 3560 ve verzi PULSE LabShop 10.3 s následujícím nastavením:

Počet spektrálních čar: 6400

Frekvenční rozsah: 25,6 kHz

Averages (průměrování): 100

Obr. 15 ukazuje prostředí PULSE se signály ze 4 mikrofonů zpracované pomocí FFT analýzy a 1/3 oktávové analýzy.



Obr. 15: Prostředí PULSE

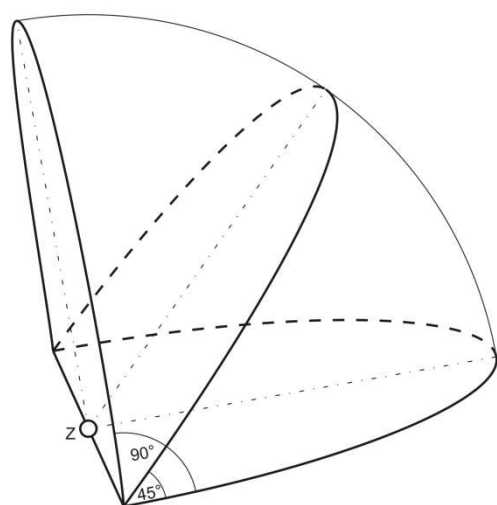
4.3 Měření směrových charakteristik flétny

4.3.1 Popis měřící metody

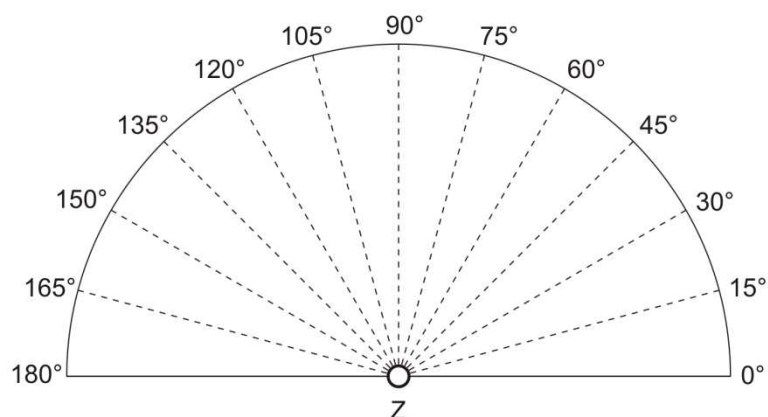
Hudební nástroj použitý k realizaci měření je celostříbrná flétna zn. Pearl typ 765RE. Pro měření byly zvoleny tóny a_1 a a_2 , které se nacházejí v nejpoužívanějším rozsahu. Pro eliminaci náhodných chyb byl každý tón zahrán třikrát.

Měření bylo provedeno v bezodrazové komoře FEL. Zvuk byl snímán ve 3 rovinách (svírajících úhly 0° , 45° , 90° s vodorovnou rovinou obsahující zdroj) ve vzdálenosti 1,5m od zdroje zvuku (Obr. 16a). Pro měření byly použity 4 mikrofony pro difúzní pole BK4943, abychom nemuseli realizovat čelní dopad zvuku na membránu.

Jeden byl umístěn do osy nástroje ve vzdálenosti 1,5m od zdroje zvuku (pozice 0°) a následně použit pro normování křivek na stejnou hlasitost. Tři mikrofony se postupně umísťovaly do vzdálenosti 1,5m od zdroje zvuku s krokem po 15° svíraných s osou nástroje (Obr. 16b).



Obr. 16: a) Měřící roviny



b) Umístění mikrofonů v jedné rovině

Mikrofony byly zapojeny do vícekanálového analyzátoru PULSE, zvuk byl následně zpracován pomocí FFT analýzy a 1/3 oktávové analýzy.

Vzhledem k tomu, že se v měřící komoře vyskytovala 1 osoba (hráč), mikrofony, mikrofonní stojany a samotné těleso nástroje, je nutné brát v úvahu možné zatížení měření vícenásobnými odrazy. Tvoření tónu je zajištěno hráčem, což znamená,

že nelze zajistit přesnou opakovatelnost měření, proto nám porovnatelnost výsledků zajistí referenční mikrofon. Navíc byl tento problém částečně eliminován trojím opakováním hraného tónu a následným zprůměrováním. Při použití umělého zdroje vzduchu bychom sice zajistili opakovatelnost měření, ale získali bychom tím pouze vyzařovací charakteristiky nástroje. Ve skutečnosti mají podstatný vliv na barvu zvuku i rezonanční dutiny hráče, což při výběru mikrofonu pro konkrétní osobu hraje velkou roli.

Parametry mikrofonu BK4943

konstrukce: kondenzátorový

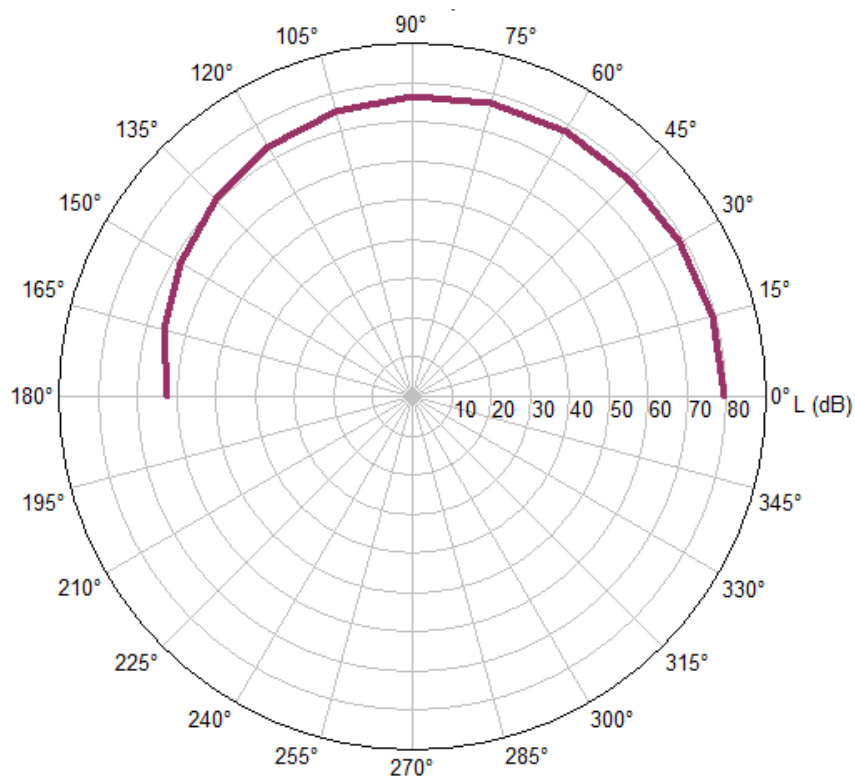
směrová charakteristika: všesměrový

velikost membrány: 1/2 "

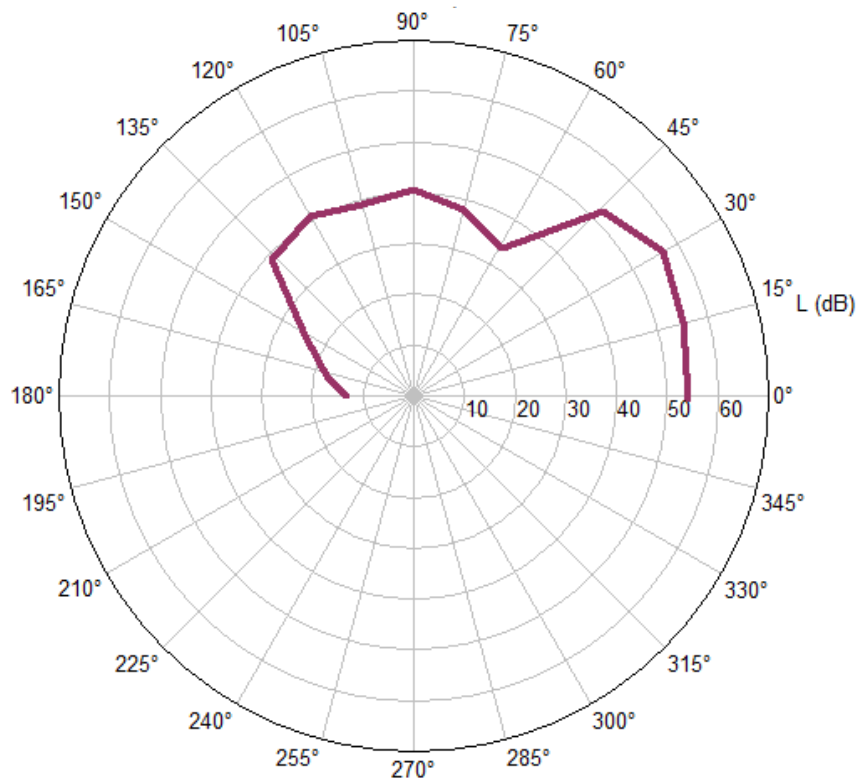
polarizační napětí: 200V

citlivost: 50mV/Pa

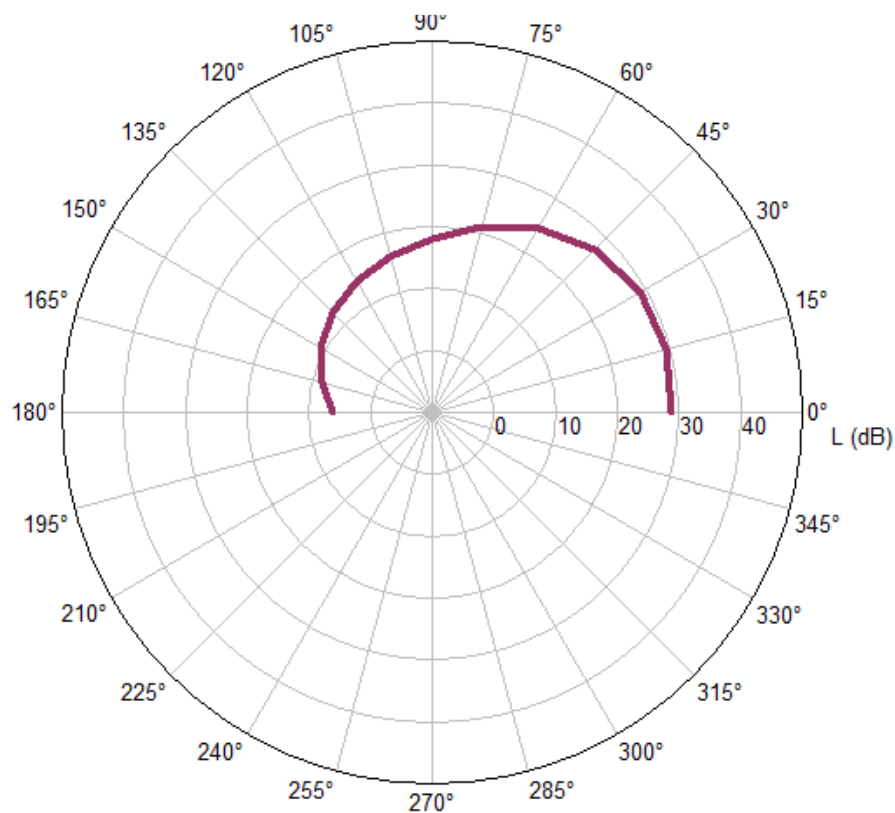
4.3.2 Výsledky měření



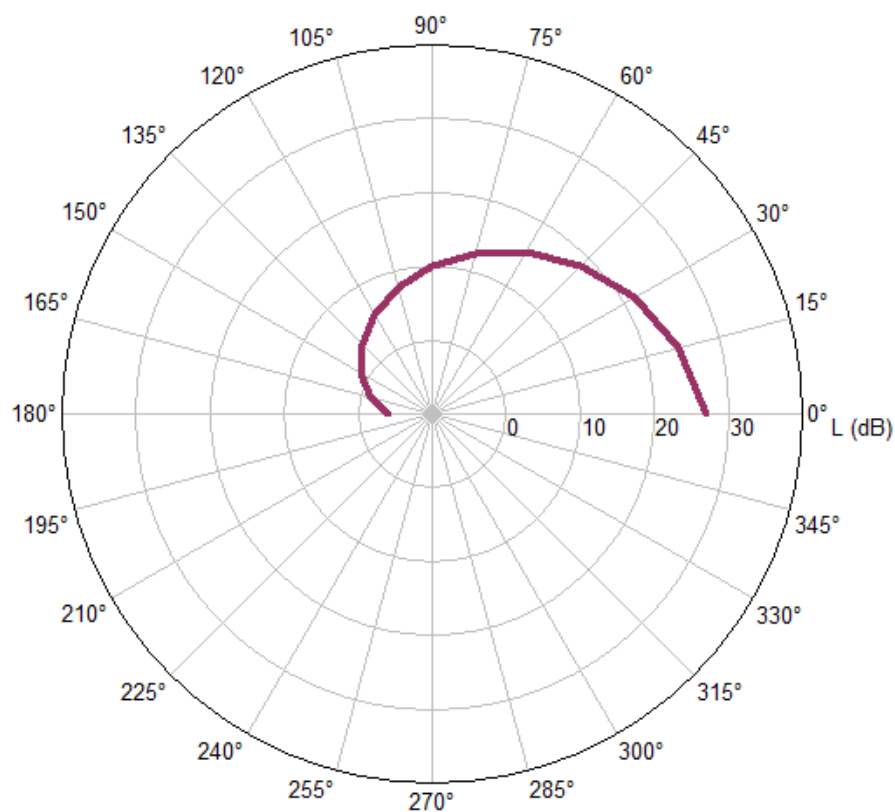
Obr. 17: Vyzařovací charakteristika 1. harmonické v rovině 0°



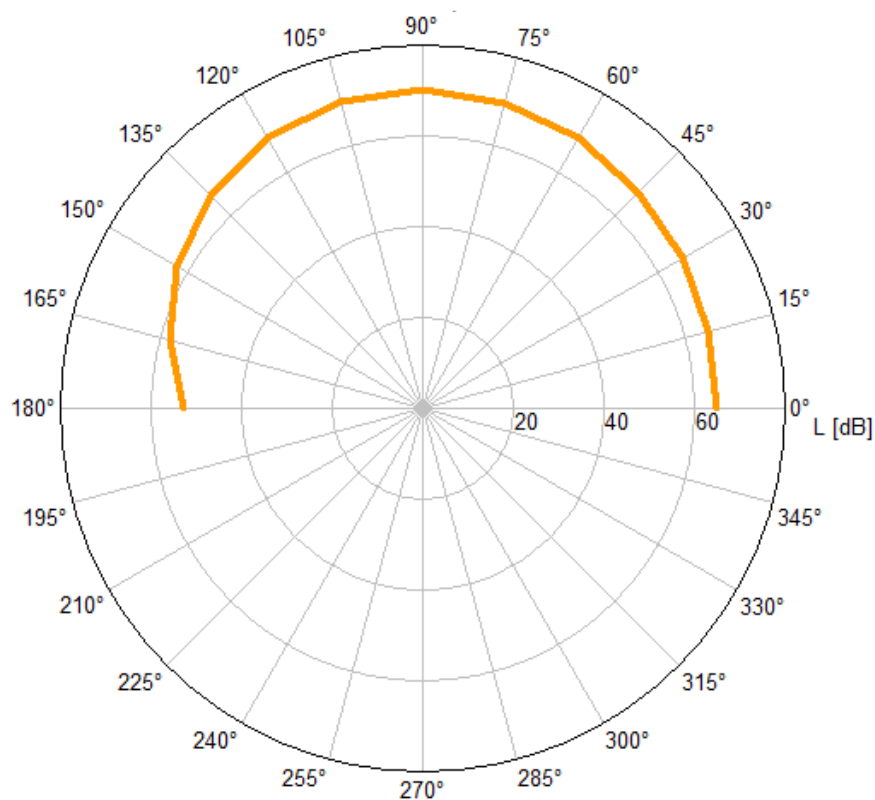
Obr. 18: Vyzařovací charakteristika 3. harmonické v rovině 0°



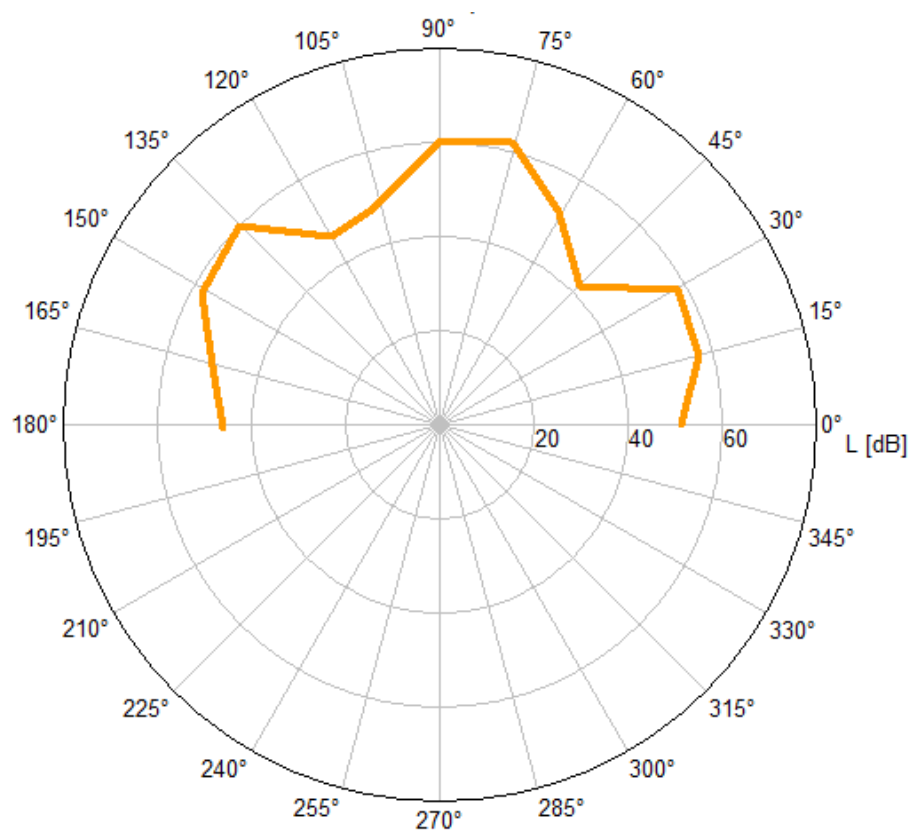
Obr. 19: Vyzařovací charakteristika 5. – 8. harmonické v rovině 0°



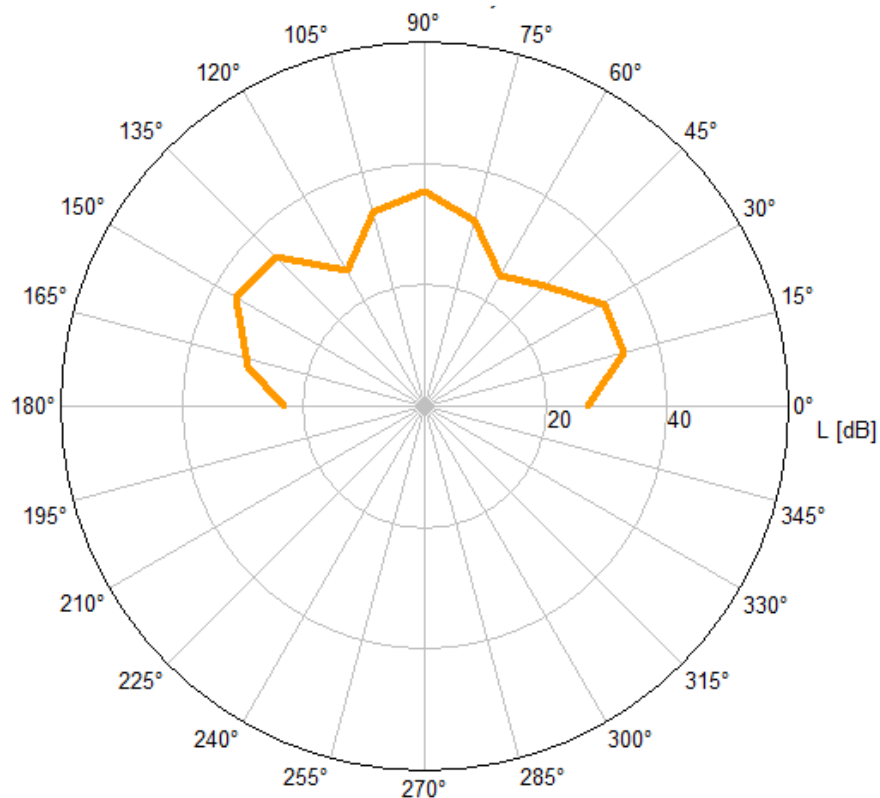
Obr. 20: Vyzařovací charakteristika 9. – 12. harmonické v rovině 0°



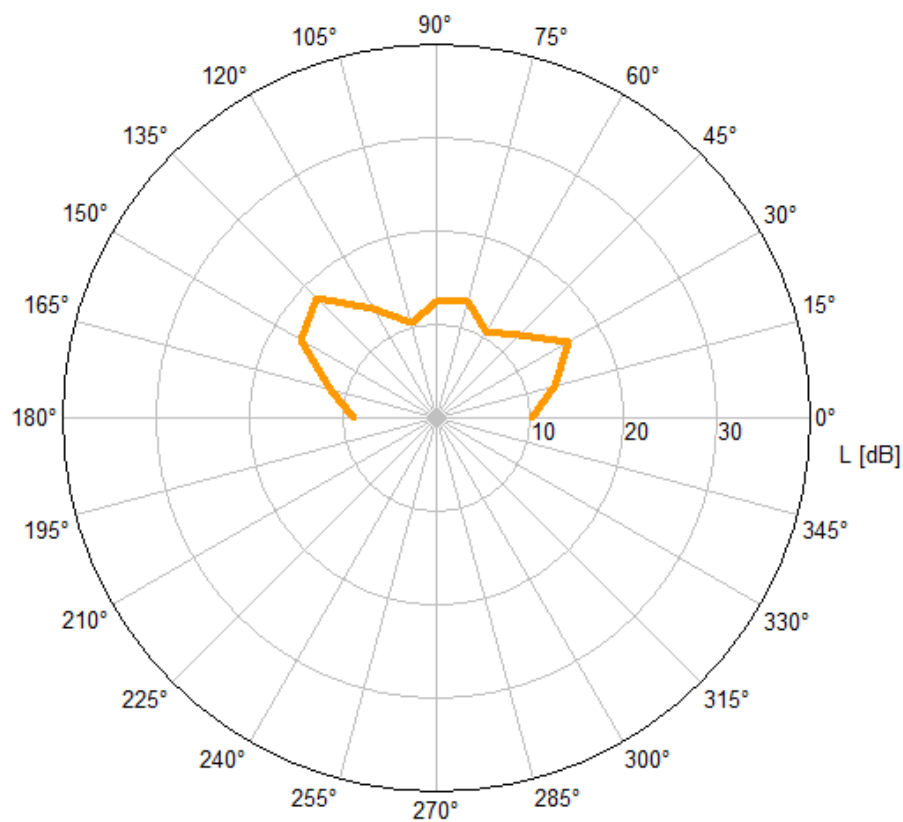
Obr. 21: Vyzařovací charakteristika 1. harmonické v rovině 45°



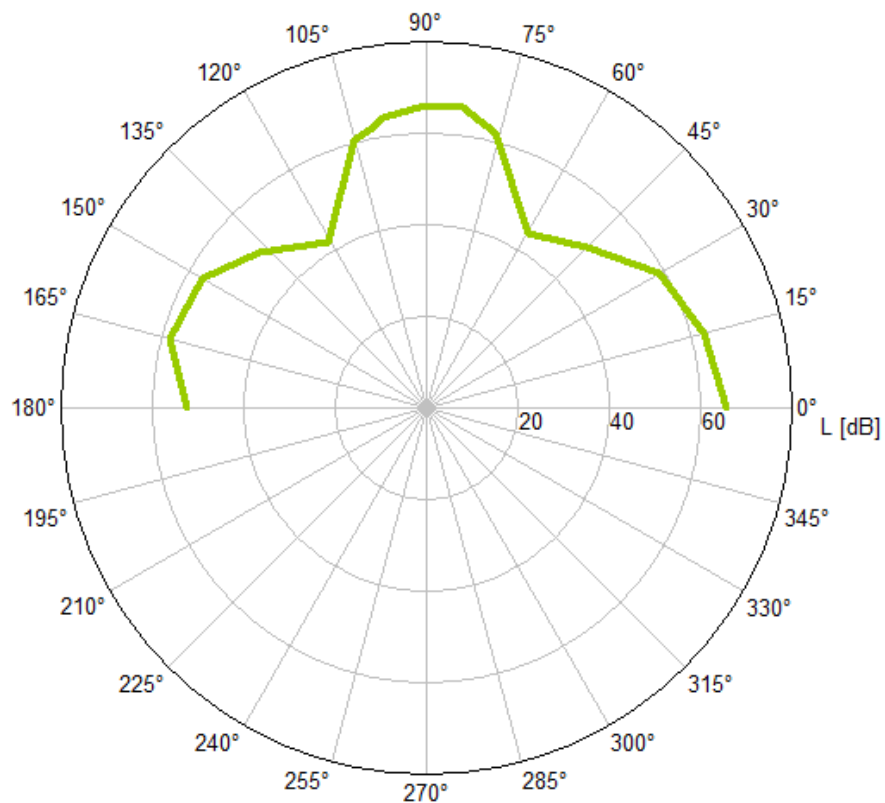
Obr. 22: Vyzařovací charakteristika 3. harmonické v rovině 45°



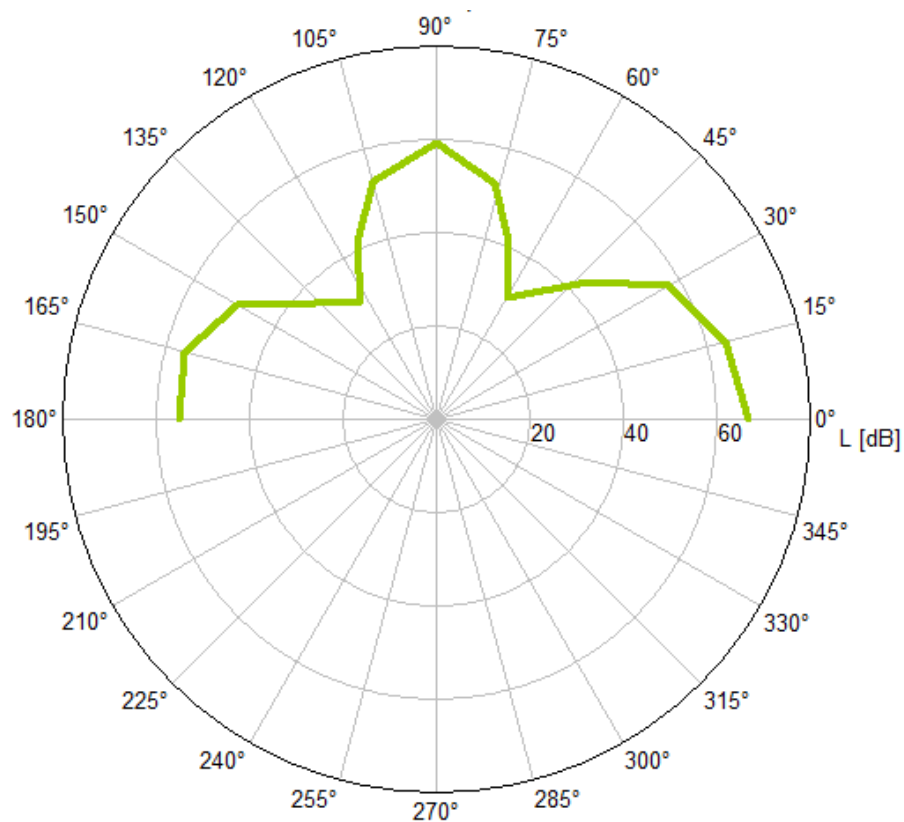
Obr. 23: Vyzařovací charakteristika 5. – 9. harmonické v rovině 45°



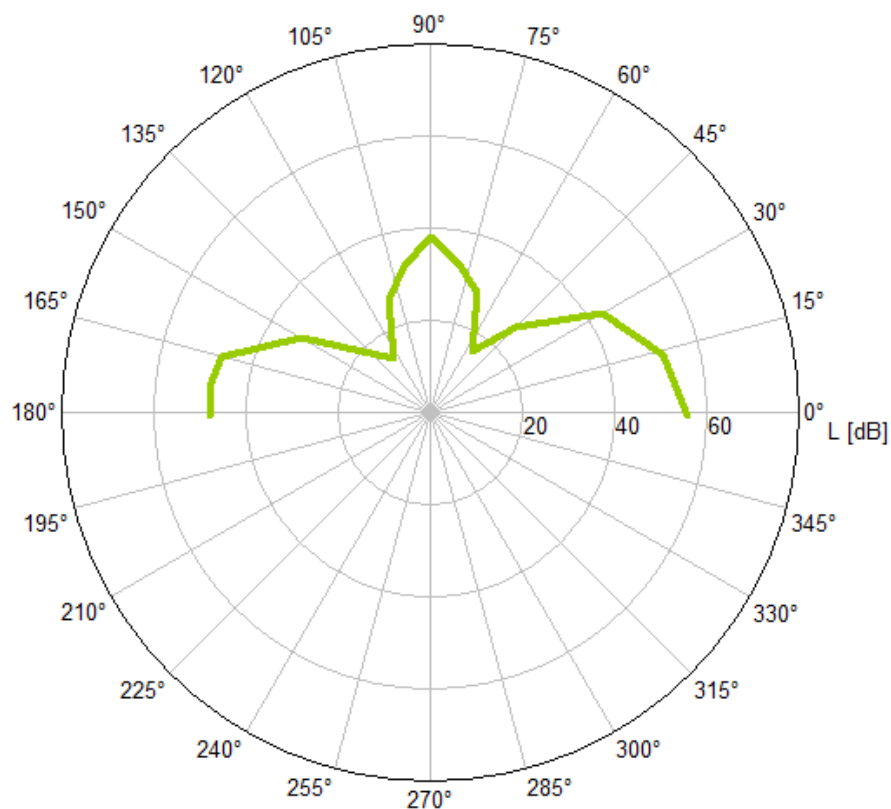
Obr. 24: Vyzařovací charakteristika 10. – 16. harmonické v rovině 45°



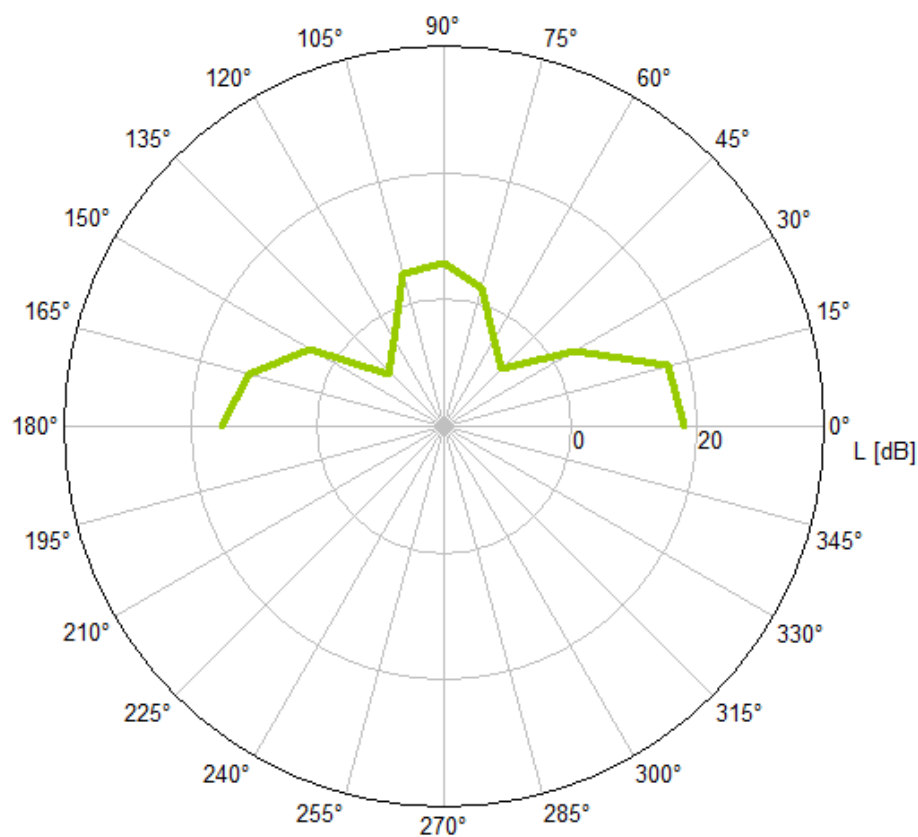
Obr. 25: Vyzařovací charakteristika 1. harmonické v rovině 90°



Obr. 26: Vyzařovací charakteristika 2. harmonické v rovině 90°



Obr. 27: Vyzařovací charakteristika 4. – 8. harmonické v rovině 90°



Obr. 28: Vyzařovací charakteristika 9. – 12. harmonické v rovině 90°

4.3.3 Zhodnocení výsledků

Vyzařovací charakteristiky v rovině 0° jsou znázorněny na Obr. 17-20. Byly zde potvrzeny teoretické předpoklady, že první harmonická frekvence je vždy vyzařována všesměrově a čím je frekvence vyšší, tím více je vyzařována v ose nástroje.

Ve druhé měřící rovině (45°) je všesměrově vyzařována pouze 1. harmonická (Obr. 21), u ostatních frekvencí (Obr. 22-24) je patrné vyzařování do třech hlavních směrů s maximem 15° - 30° , 90° a 135° - 150° . Zde se zdá jako nejvhodnější oblast pro umístění mikrofonu pozice mezi 135° - 150° .

Ve třetí měřící rovině (90°) jsou velmi výrazné tři směry vyzařování flétny s maximy kolem 0° - 15° , 90° a 165° - 180° (Obr. 25-28).

4.4 Měření optimální pozice mikrofonu

4.4.1 Úvod

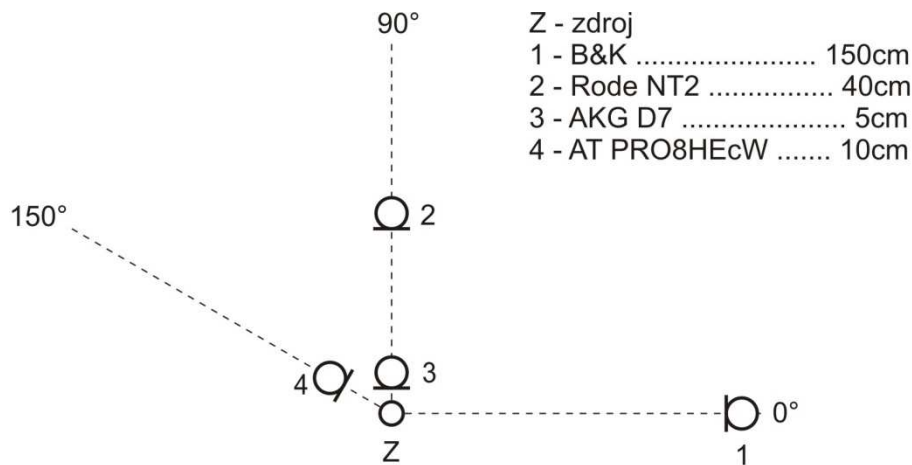
Podle teoretických předpokladů i zkušeností s koncertním poslechem a snímáním klasické hudby vyzařuje flétna nejvíce frekvencí právě v ose nástroje, proto zde byl umístěn referenční mikrofon. Další 3 mikrofony různého typu (2 dynamické a 1 kondenzátorový) s různými vlastnostmi byly umístěny do nejčastěji používaných poloh při pódiovém snímání. Dále se polohy mikrofonů volily i na základě změřených vyzařovacích charakteristik. Frekvenční charakteristiky mikrofonů udané výrobcem byly ověřeny pomocí šumového generátoru. Signály ze všech mikrofonů byly zpracovány pomocí FFT a CPB analýzy a získaná spektra byla odečtena od signálu z referenčního mikrofonu. Vytvoření těchto rozdílových charakteristik umožňuje větší přehlednost při vyhodnocování měření.

Jiné pozice mikrofonů než na schématech (Obr. 29-31) již nebylo nutné měřit, neboť konstrukce náhlavního systému neumožňuje jiné umístění, dynamickým mikrofonem je nevhodné snímat z větších vzdáleností a kondenzátorovým mikrofonem tohoto typu naopak ze vzdáleností bližších.

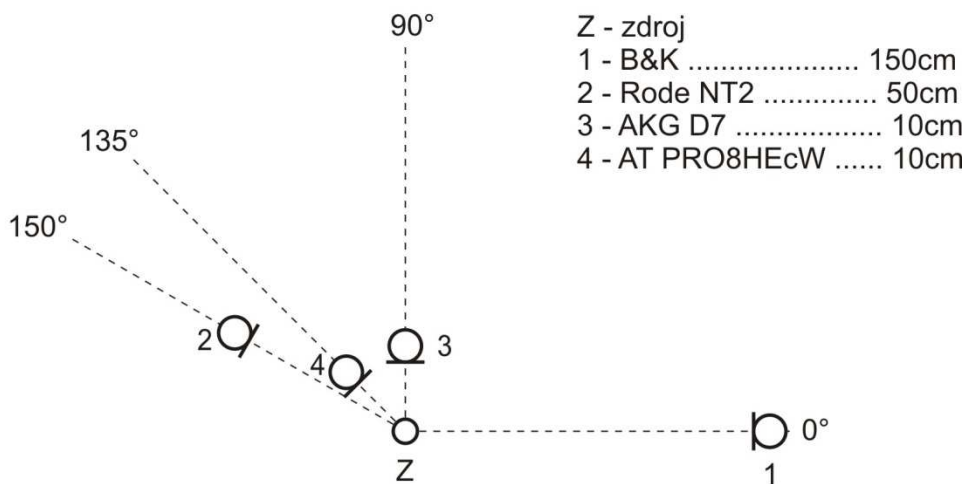
4.4.2 Popis měření

Měření bylo provedeno v bezodrazové komoře FEL. Byly použity 4 různé mikrofony – B&K 4943, Rode NT2, AKG D7 a Audio-Technica PRO 8HEcW, jejichž parametry jsou popsány v následující kapitole. Měřicí mikrofon byl použit pro normování křivek na stejnou hlasitost a pro vytvoření rozdílových charakteristik. Pro měření byly použity tóny a_1 a a_2 , nacházející se v nejpoužívanějším rozsahu nástroje.

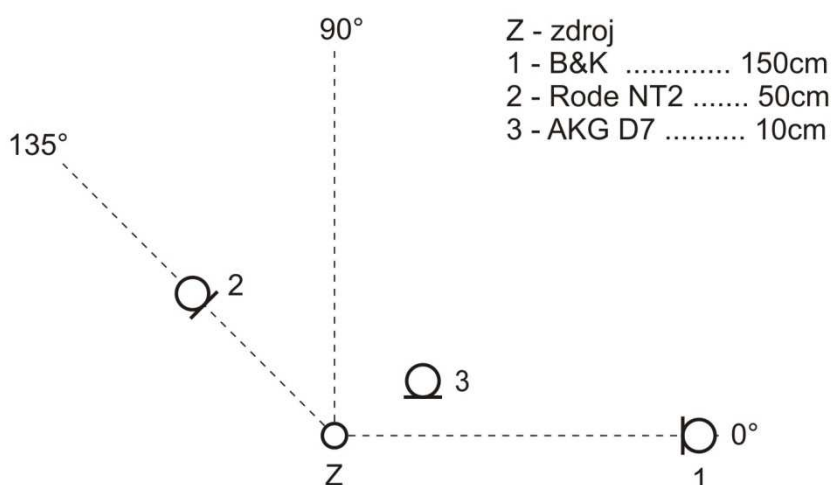
Byla provedena celkem 3 měření s různým postavením mikrofonů (Obr. 29-31). Polohy mikrofonů se volily na základě změřených vyzařovacích charakteristik flétny a také byly respektovány nejčastější polohy snímání – čelní snímání (Obr. 10), snímání zleva (Obr. 9) a méně časté snímání zprava (Obr. 11).



Obr. 29: Schéma měření č. 1



Obr. 30: Schéma měření č. 2



Obr. 31: Schéma měření č. 3

4.4.3 Použité mikrofony

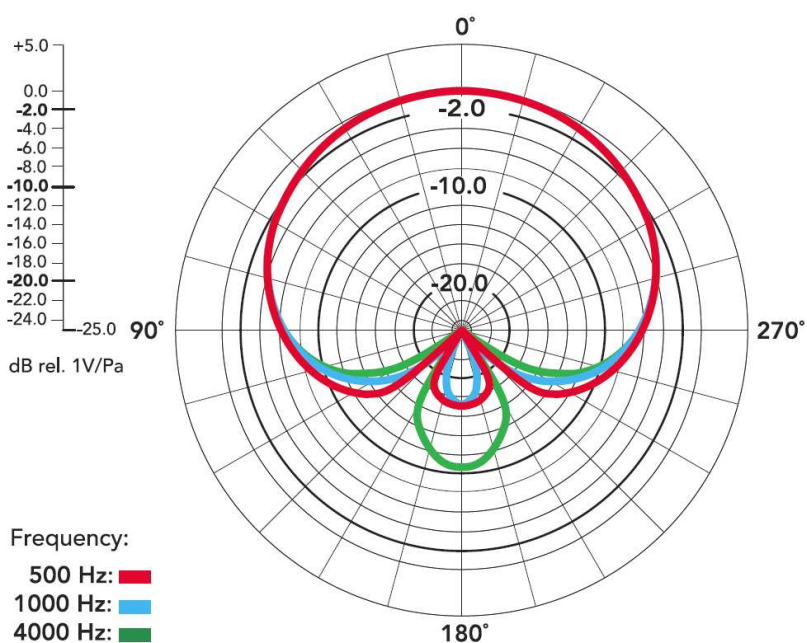
Rode NT2

typ: kondenzátorový

směrová charakteristika: kardioidní, osmičková, kulová

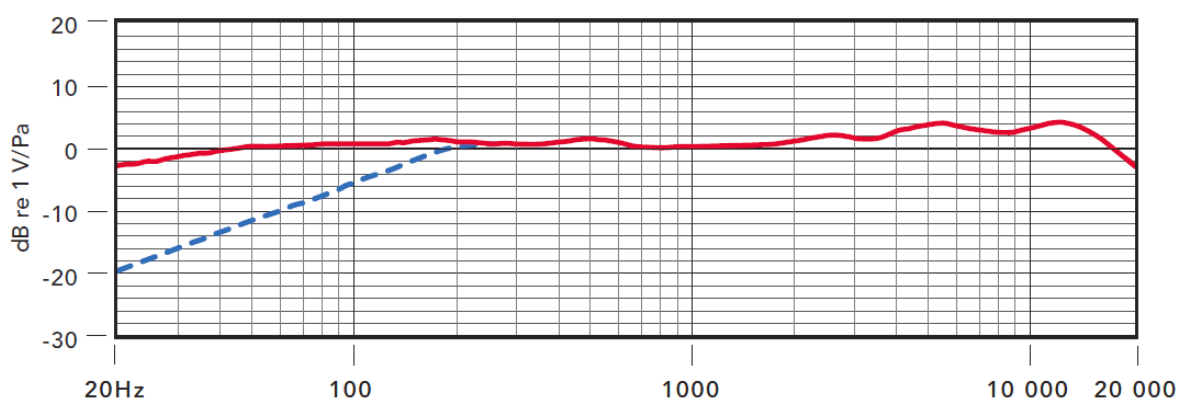
citlivost: 16 mV/Pa

použití: univerzální, studiový

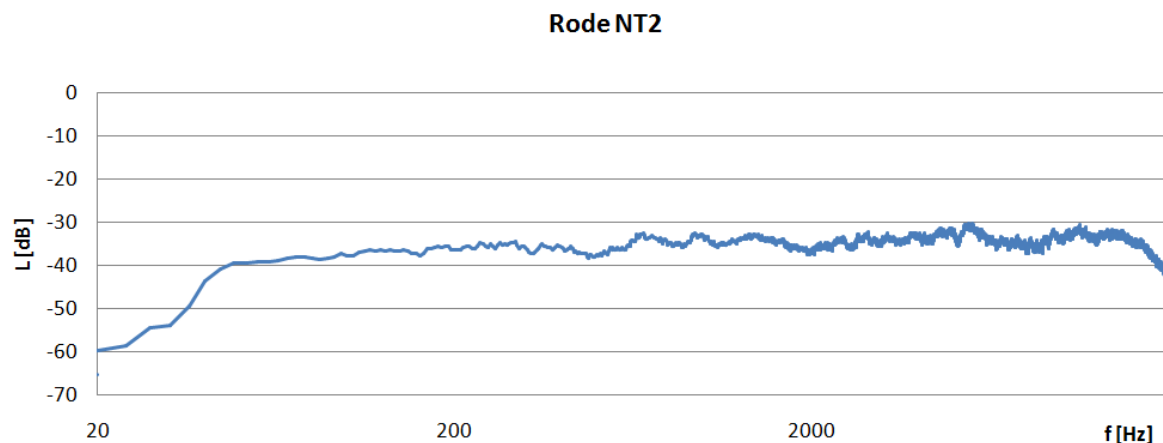


Obr. 32: a) Směrová charakteristika Rode NT2 [8]

b) Rode NT2 [8]



Obr. 33: Frekvenční charakteristika Rode NT2 [8]



Obr. 34: Změřená frekvenční charakteristika Rode NT2 v bezdrazové komoře

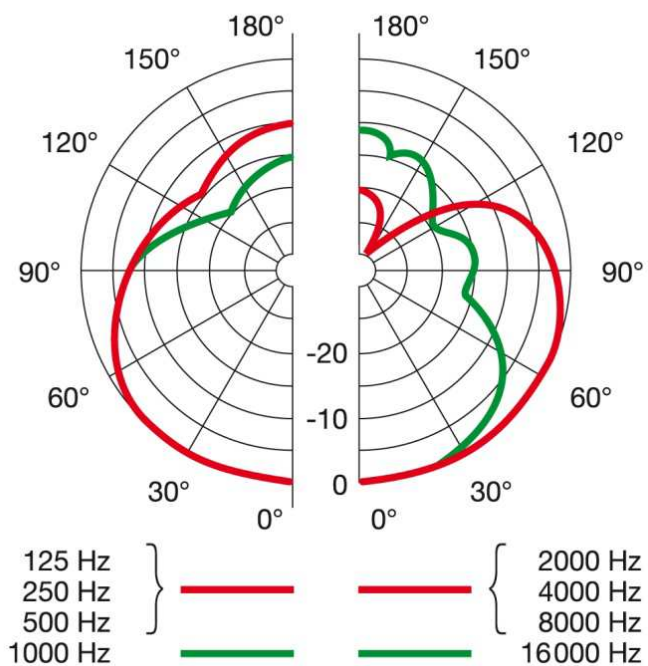
AKG D7

typ: dynamický

směrová charakteristika: superkardioida

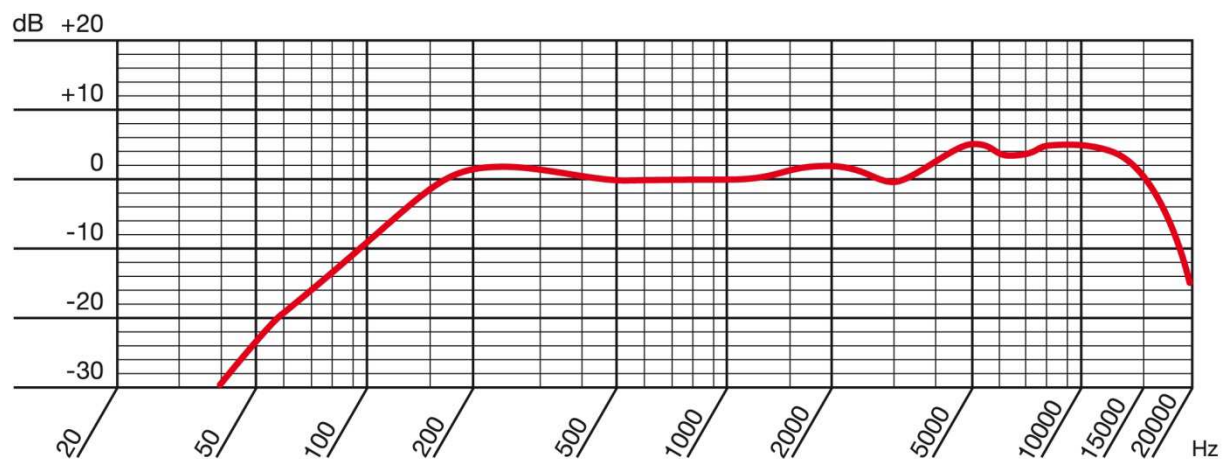
citlivost: 2,6 mV/Pa

použití: zpěv

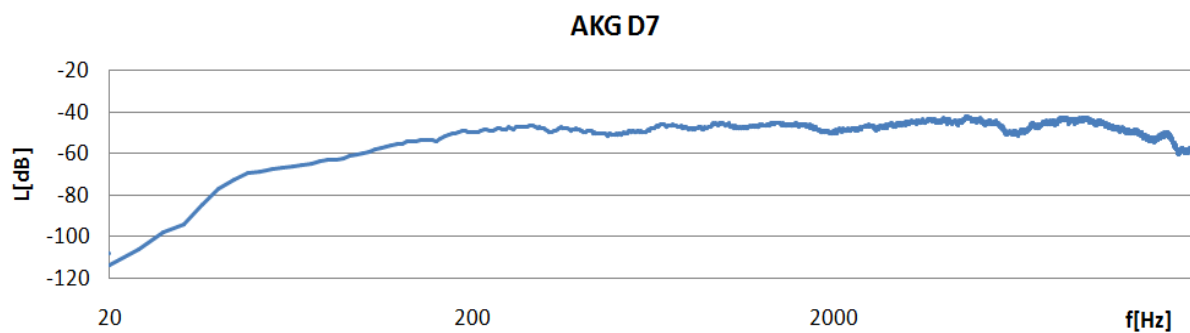


Obr. 35: a) Směrová charakteristika AKG D7 [9]

b) AKG D7 [9]



Obr. 36: Frekvenční charakteristika AKG D7 [9]



Obr. 37: Změřená frekvenční charakteristika AKG D7 v bezodrazové komoře

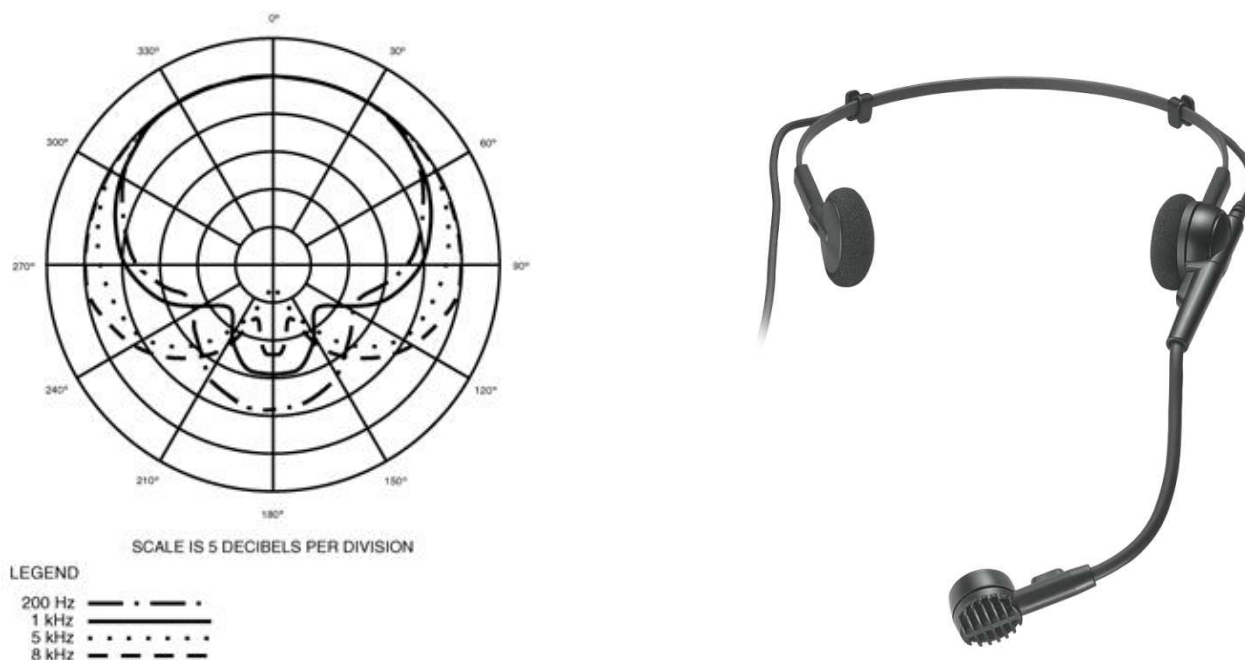
Audio-Technica PRO 8HEcW

typ: dynamický

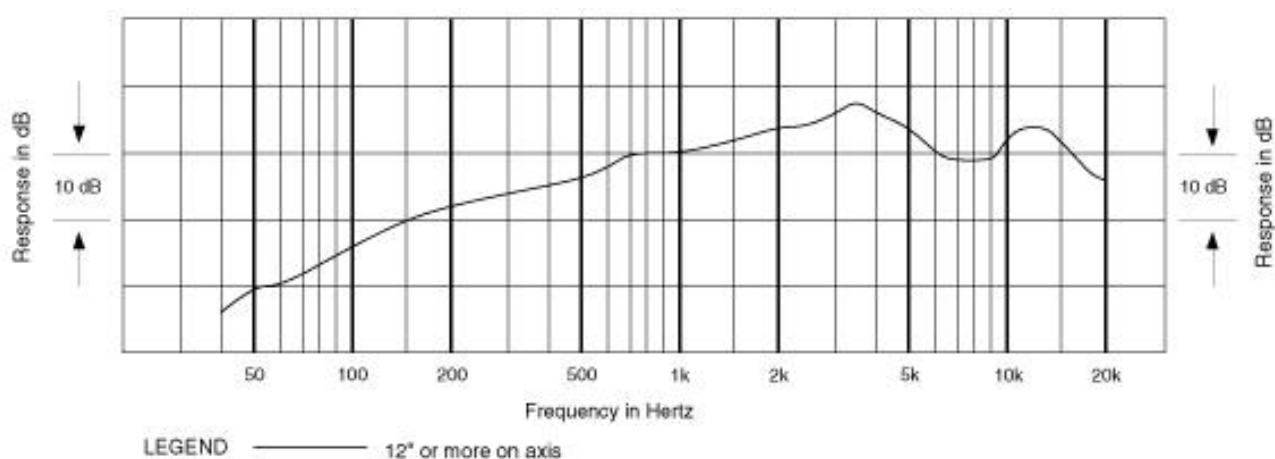
směrová charakteristika: hyperkardioida

citlivost: 1,7 mV/Pa

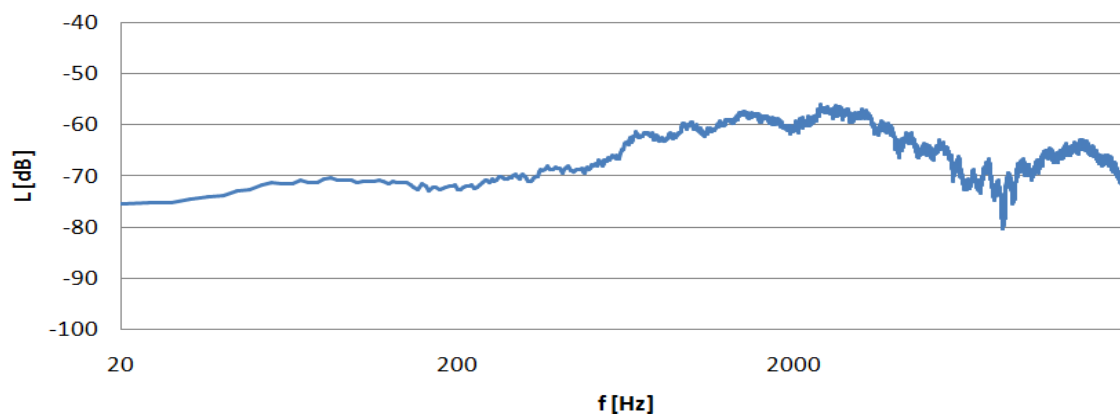
použití: zpěv



Obr. 38: a) Směrová charakteristika AT PRO8HEcW [10] b) AT PRO8HEcW [10]

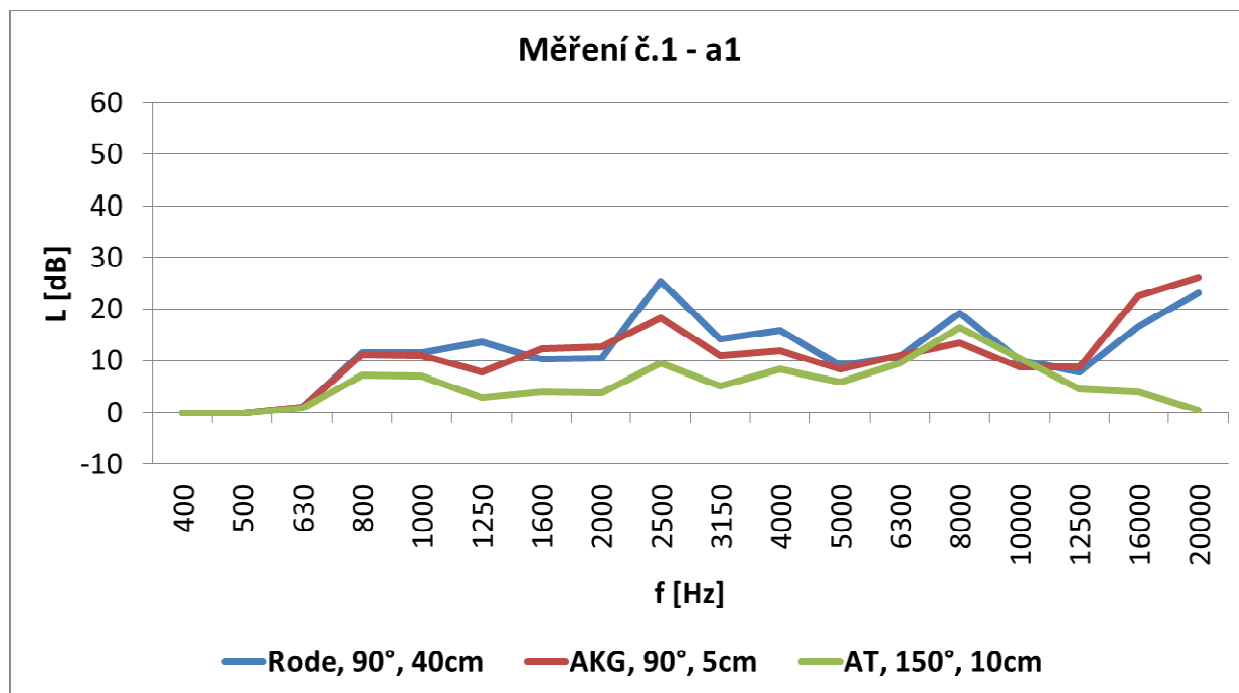
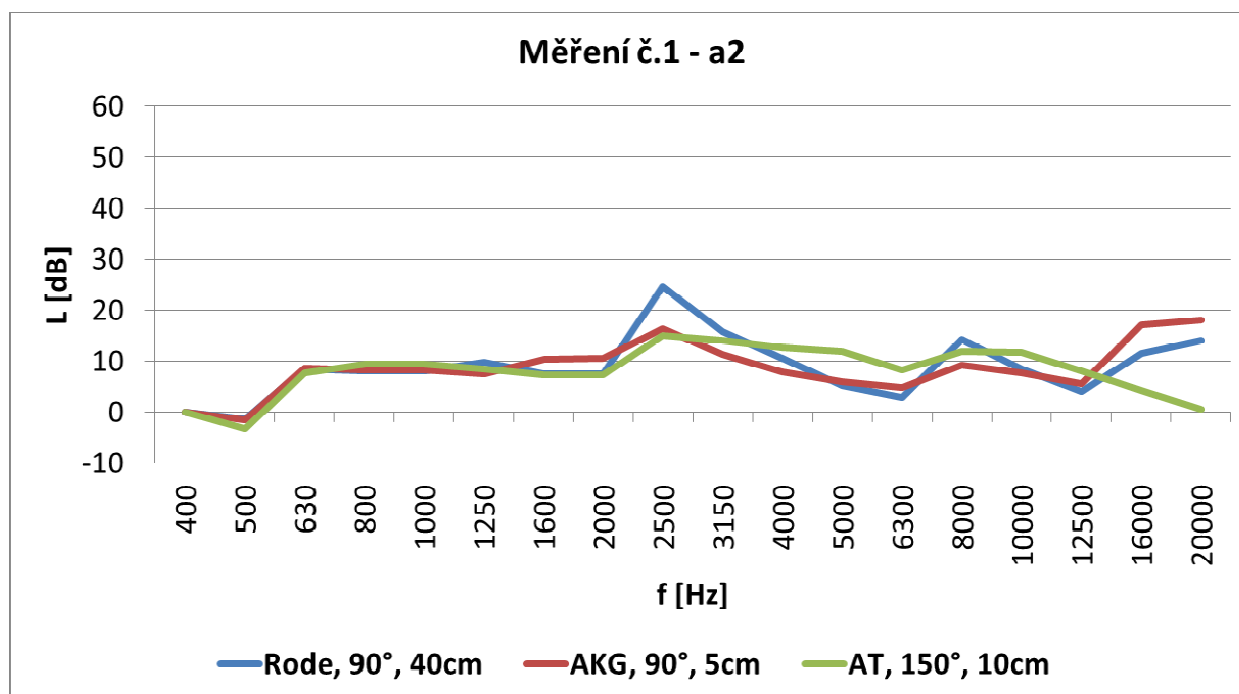


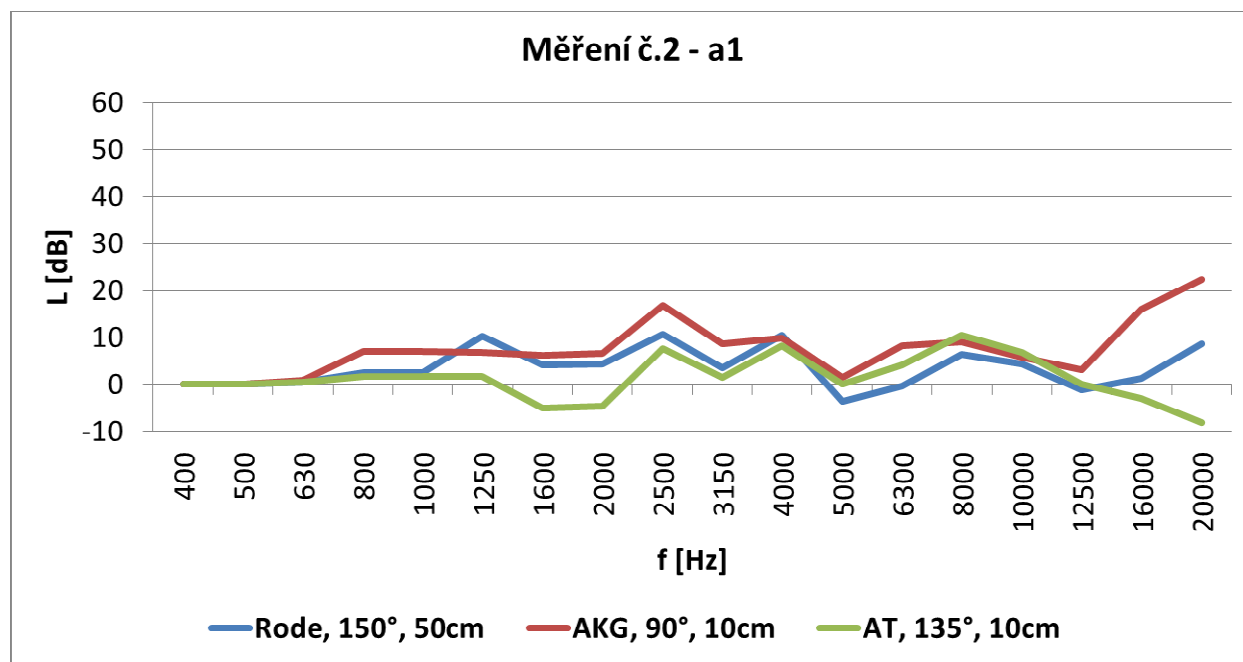
Obr. 39: Frekvenční charakteristika AT PRO8HEcW [10]



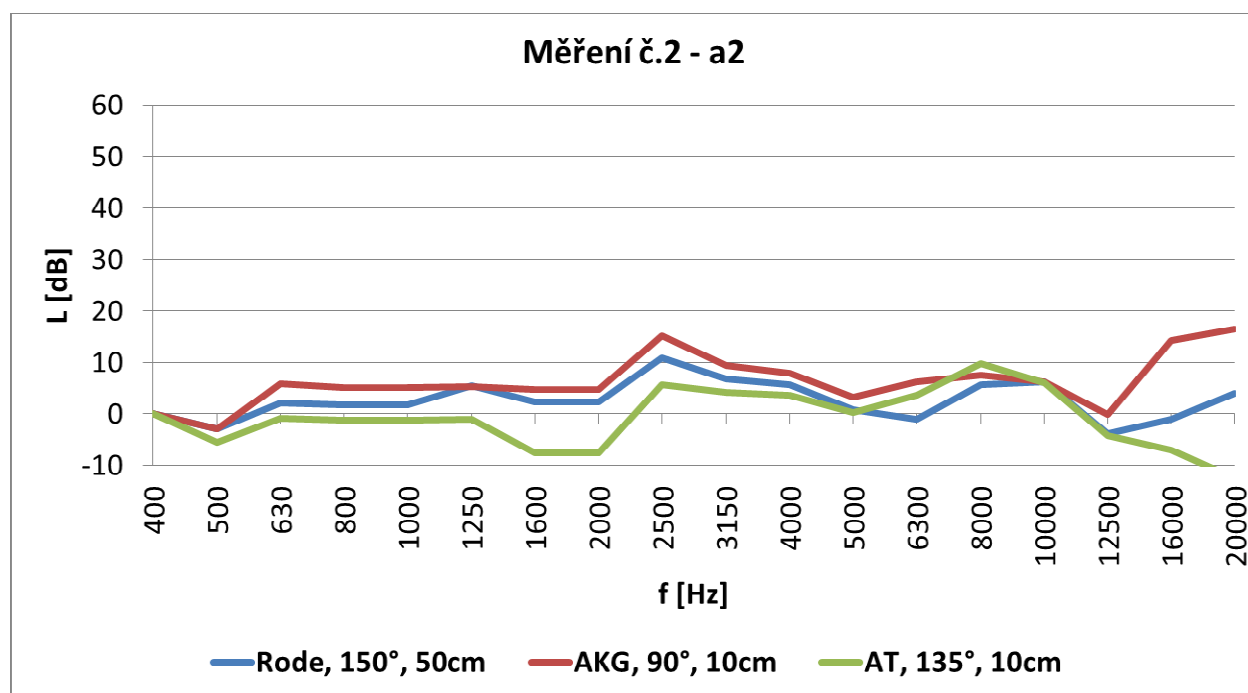
Obr. 40: Změřená frekvenční charakteristika AT PRO 8HEcW v bezodrazové komoře

4.4.4 Výsledky měření

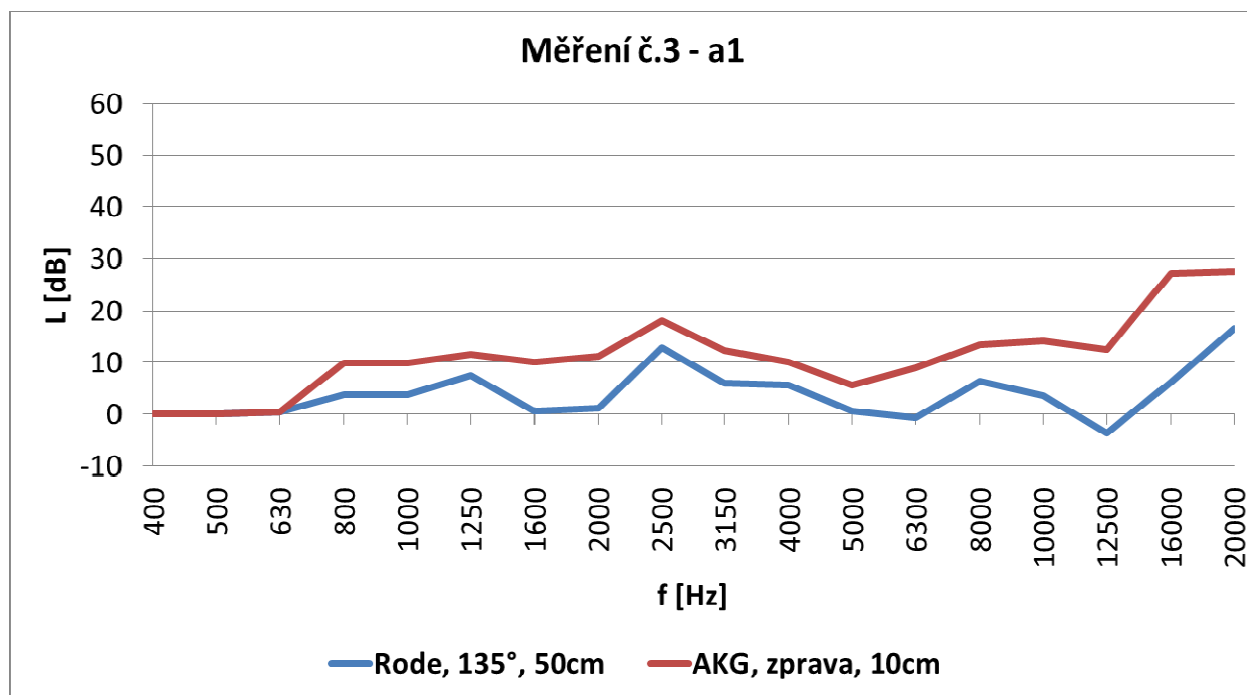
Obr. 41: Rozdílové charakteristiky, měření č. 1, tón a_1 Obr. 42: Rozdílové charakteristiky, měření č. 1, tón a_2



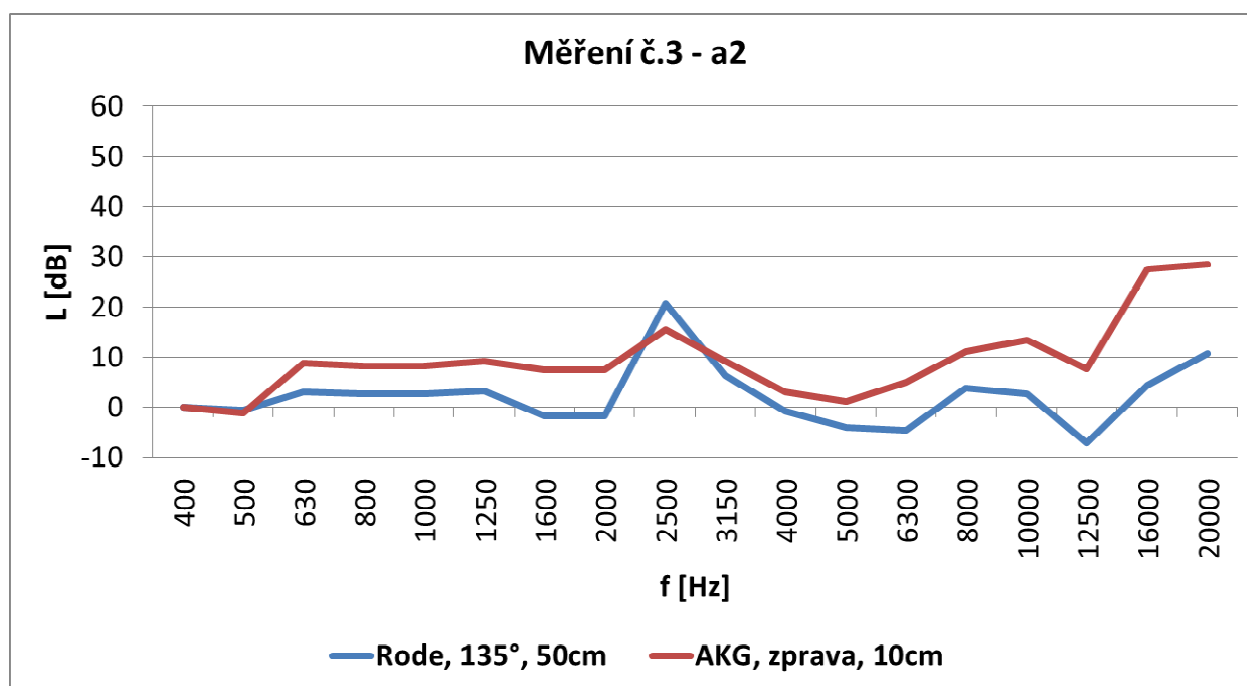
Obr. 43: Rozdílové charakteristiky, měření č. 2, tón a_1



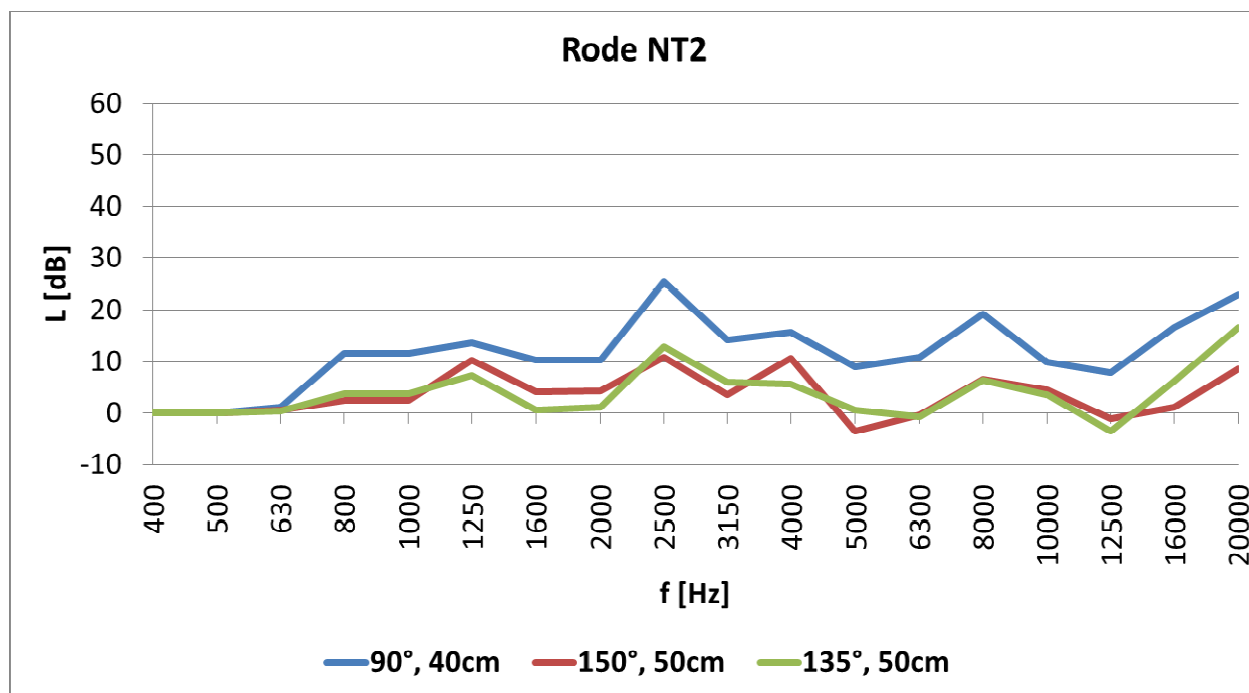
Obr. 44: Rozdílové charakteristiky, měření č. 2, tón a_2



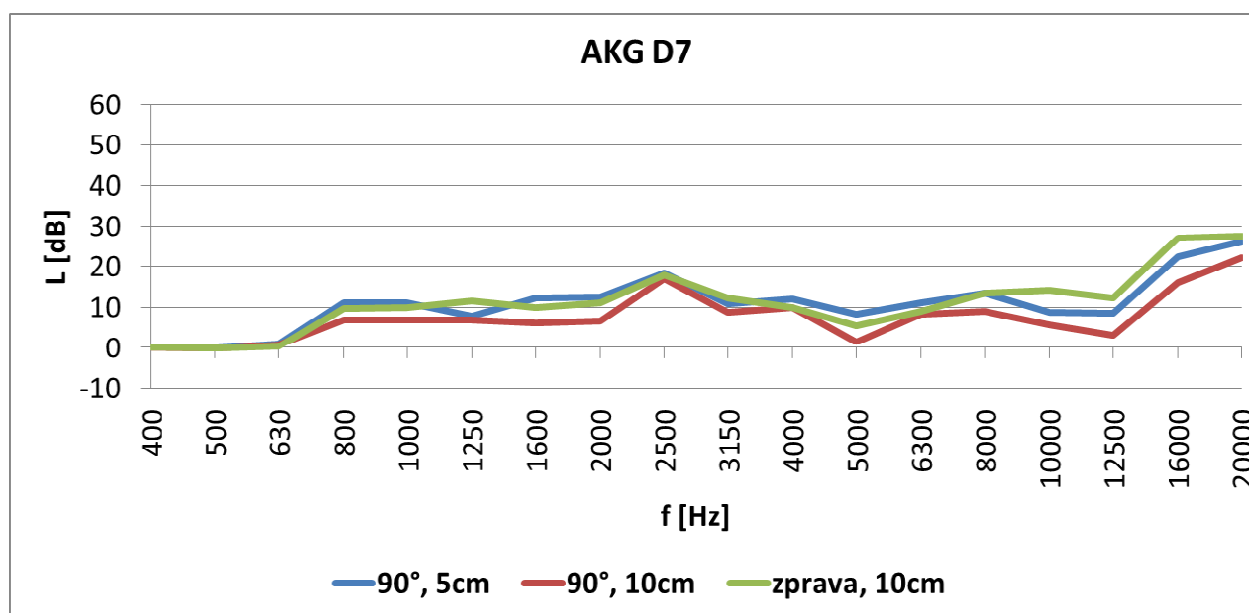
Obr. 45: Rozdílové charakteristiky, měření č.3, tón a₁



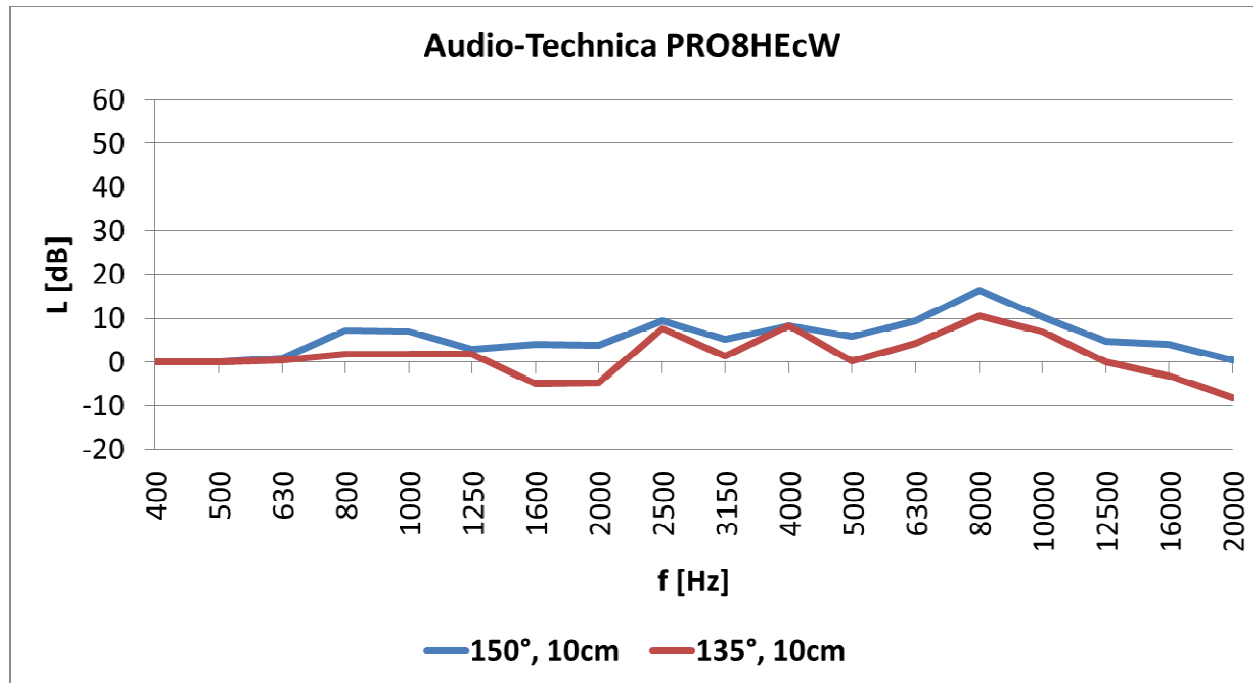
Obr. 46: Rozdílové charakteristiky, měření č.3, tón a₂



Obr. 47: Porovnání rozdílových charakteristik Rode NT2 v různých polohách



Obr. 48: Porovnání rozdílových charakteristik AKG D7 v různých polohách



Obr. 49: Porovnání rozdílových charakteristik AT PRO 8HEcW v různých polohách

4.4.5 Zhodnocení výsledků

Podle výsledků vyzařovacích charakteristik se předpokládá nejlepší poloha mikrofonu mezi 135°-150° od osy nástroje.

Při prvním měření se ukázal jako nejlepší volba náhlavní systém Audio-Technica umístěný do 150° od osy nástroje a to pro oba zkoušené tóny - a_1 i a_2 , jak je znázorněno na Obr. 41-42. Při druhém měření dosáhl nejlepších výsledků kondenzátorový mikrofon Rode NT2 a nelze pro použití zavrhnout ani náhlavní systém, což je patrné z Obr. 43-44. Při třetím měření se referenčnímu mikrofonu nejvíce přiblížil Rode NT2 (Obr. 45-46).

Pokud porovnáme rozdílové charakteristiky jednoho mikrofonu v různých polohách, pro Rode NT2 (Obr. 47) zjistíme jako nejlepší polohu ve 135° shora (vlevo nad hráčem), jak bylo zmíněno v kapitole 3.2.4. Pro dynamický mikrofon (Obr. 48) nejsou rozdíly zcela patrné, nejvyrovnanější rozdílovou charakteristiku má mikrofon v poloze mezi náustkem a prvním tónovým otvorem, jak je popsáno v kapitole 3.2.6. Náhlavní systém (Obr. 49) vykazuje nejmenší rozdíly od referenčního mikrofonu pro umístění do 135°.

Pokud shrneme teoretické předpoklady, praktické zkušenosti i naměřené výsledky, optimální snímání flétny na pódiu by bylo realizováno mikrofonem s úzkou směrovou charakteristikou (kardioida, popř. superkardioida, hyperkardioida) kvůli eliminaci přeslechů a zpětné vazby a s širokým frekvenčním rozsahem (flétna vyzařuje široké spektrum harmonických frekvencí – viz příloha 1). Nejvhodnější je umístění zleva od zdroje zvuku, jak bylo zjištěno z měření. Vhodné je použití náhlavního systému či mikrofonu, který lze umístit přímo na nástroj, aby hráč nebyl omezen v pohybu při hře.

5. Závěr

Cílem této práce bylo prostudovat technické možnosti snímání flétny, dále uvést přehled metod snímání pro studiové a pódiové použití a realizovat optimální metodu pódiového snímání.

V teoretické části se ukázalo, že si příčnou flétu lze představit jako akustický dipól a dále, že vzduchový sloupec vykazuje komplexní spektrum a je schopen kmitat na všech násobcích základní frekvence. Bylo zmíněno, že u vyšších rezonančních módů se přestává projevovat otevření tónových otvorů a vyšší frekvence se šíří více v ose nástroje.

Byly uvedeny nejčastější metody snímání flétny na pódiu i ve studiu. Jako nejvhodnější poloha bylo uvedeno snímání zleva nad hráčem, což se potvrdilo i v praktické části.

Měřením vyzařovacích charakteristik bylo potvrzeno, že flétna vyzařuje 1. harmonickou všesměrově a vyšší frekvence jsou vyzařovány více v ose nástroje. Jako nejvhodnější rovina pro snímání se ukázala rovina pod úhlem 45° , kde platí všesměrové vyzařování i pro vyšší harmonické frekvence.

Ukázalo se, že optimální poloha mikrofonu pro pódiové snímání flétny je vlevo nad hráčem a snímání by bylo ideální realizovat pomocí mikrofonu s úzkou směrovou charakteristikou a širokým frekvenčním rozsahem.

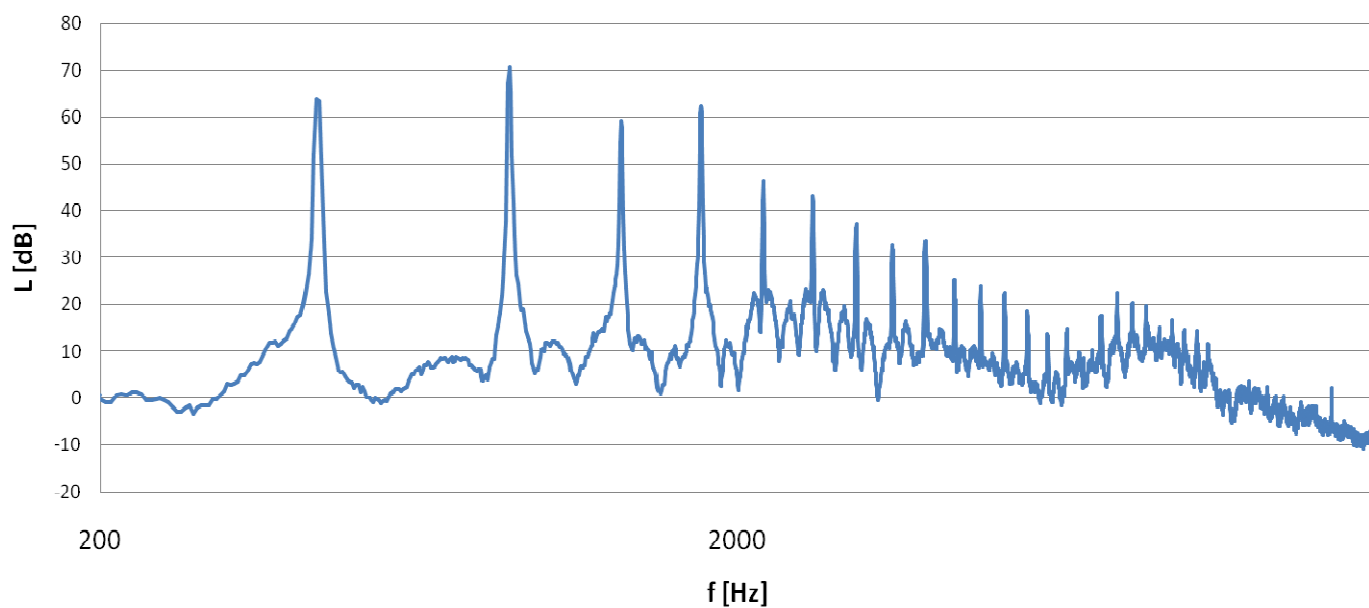
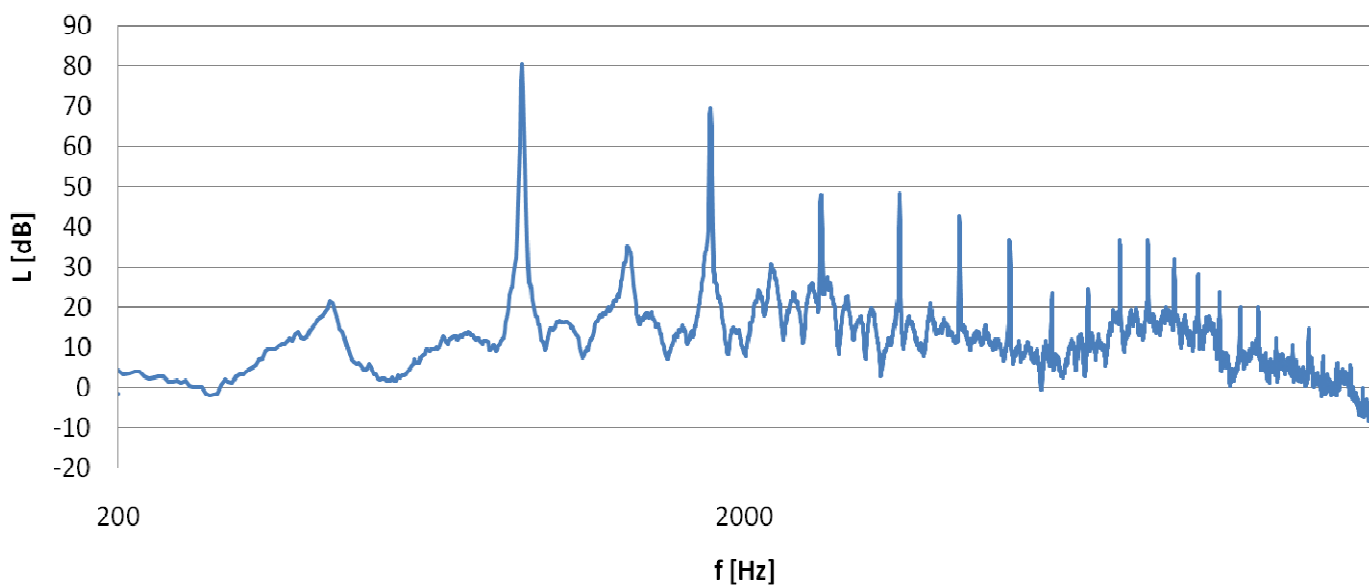
6. Použitá literatura

- [1] Syrový, V.: Hudební akustika. Praha: Akademie múzických umění, 2003. 427 s.
- [2] Randall, R.B., Tech, B.: Frequency analysis. Denmark: Brüel & Kjaer, 1977. 239 s.
- [3] Recording The Flute. Dostupné z www:
<http://www.recordingmag.com/resources/resourceDetail/202.html>
- [4] Flute Miking Techniques. Dostupné z www:
http://wiki.vpa.mtu.edu/wiki/index.php/Flute_Miking_Techniques
- [5] Mšal, J.: Vliv techniky snímání nástroje na barvu zvuku. Plzeň: ZČU FEL, 2004. 57s.
- [6] Co je PULSE? Dostupné z www:
<http://mereni-a-analyza-signalu-hluku-a-vibraci.spectris.cz/produkty/platforma-pulse/co-je-pulse/>
- [7] Flétna s otevřenými klapkami a h-nožkou. Dostupné z www:
<http://www.musiciansfriend.com/flutes-piccolos>
- [8] Rode NT2. Dostupné z www:
<http://www.rodemic.com/mics/nt2-a>
- [9] AKG D7. Dostupné z www:
<http://www.akg.com>
- [10] Audio-Technica PRO 8HEcW. Dostupné z www:
<http://eu.audio-technica.com/en/products/>

Přílohy

Příloha č. 1: Spektra tónů a_1 a a_2

Příloha č. 2: Fotografie z měření

Příloha č.1: Spektra tónů a_1 a a_2 Spektrum tónu a_1 - FFT analýzaSpektrum tónu a_2 - FFT analýza

Příloha č. 2: Fotografie z měření

