



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 SMĚROVOSTI AKORDEONŮ A NAVRŽENÍ PROSTOROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ MIKROFONŮ PRO JEJICH NAHRÁVÁNÍ

ANALYSIS OF THE RADIATION OF ACCORDIONS AND DESIGNING THE SPATIAL ARRANGEMENT OF
MICROPHONES FOR THEIR RECORDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Rapáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek,
Ph.D.

BRNO 2023

Bakalářská práce

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

Student: Marek Rapáč

ID: 231350

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Analýza směrovosti akordeonů a návržení prostorového uspořádání mikrofonů pro jejich nahrávání

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte analýzu spekter a směrovosti nejméně tří různých akordeonů. Zvažte, jaké párové nebo jiné kombinované mikrofonní techniky použijete pro nahrávání nástroje. Zvláště se budete soustředit na problematiku fázových zpoždění a protifází i rozložení energie v rámci sterea. V programu vymodelujte směrové laloky akordeonu i směrové laloky mikrofonů, identifikujte průniky mezi nimi a navrhnete jejich ideální vzájemné prolínání. Práci doplňte i zvukovými ukázkami.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Eargle, J. The Microphone Book, 2cnd edition, Focal Press An imprint of Elsevier First published 2005, ISBN 02405 1961 2

[2] [1] Fletcher, Neville H., Rossing, Thomas D. The Physics of Musical Instruments, Second Edition, Springer, © 1998 Springer Science+ Business Media New York Originally published by Springer Science+ Business Media, Inc. in 1998 Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1998, ISBN 978-1-4419-3120-7

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 26.5.2023

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

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

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou spektra a směrovosti tří různých akordeonů. Dva z analyzovaných nástrojů jsou klávesové akordeony se standardními basy, jeden akordeon je speciální typ klávesového akordeonu, tzv. basový akordeon. Je zjišťován a popisován vliv zahraného tónu a zároveň použitého rejstříku na složení spektra a na směrovost výsledného tónu. Výsledné poznatky jsou také porovnávány mezi měřenými nástroji navzájem. Závěrečná část práce se věnuje praktickému použití párových mikrofonních technik pro kvalitní, věrný a posluchačsky přívětivý záznam zvukového projevu akordeonu. V závěru jsou tyto poznatky zhodnoceny a je zde uvedena nejvhodnější párová technika pro záznam akordeonu.

KLÍČOVÁ SLOVA

analýza spektra, basový akordeon, klávesový akordeon, párové mikrofonní techniky, rejstříky, směrovost

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the analysis of the spectrum and directivity of three different accordions. Two of the analyzed instruments are piano accordions with standard basses, one accordion is a special type of piano accordion, the so-called bass accordion. The effect of the played tone and used register on the spectrum and on the directionality of the resulting tone is described. The resulting findings are also compared between different accordions. The final part of the thesis is devoted to the practical use of stereo microphone techniques for high-quality, faithful and listener-friendly recording of the accordion sound. In conclusion, these findings are evaluated and the most suitable stereo microphone technique for recording the accordion is presented here.

KEYWORDS

bass accordion, directivity, piano accordion, registers, spectrum analysis, stereo microphone technique

RAPÁČ, Marek. *Analýza směrovosti akordeonů a návržení prostorového uspořádání mikrofonů pro jejich nahrávání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 97 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Marek Rapáč
VUT ID autora: 231350
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Analýza směrovosti akordeonů a návržení prostorového uspořádání mikrofonů pro jejich nahrávání

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/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*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu MgA. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	19
1 Konstrukce akordeonu a jejich typy	21
1.1 Vznik zvuku	22
1.2 Popis konstrukce	24
1.2.1 Diskant	24
1.2.2 Bas	27
1.2.3 Měch	29
1.3 Vyzařování zvuku z nástroje	30
2 Příprava měření a jeho průběh	33
2.1 Technické parametry měření	33
2.2 Měřené nástroje a tóny	34
3 Analýza naměřených dat	37
3.1 Spektrum akordeonu Delicia	39
3.2 Spektrum akordeonu Weltmeister	48
3.3 Spektrum akordeonu Hohner	58
3.4 Směrovost akordeonu Delicia	61
3.5 Směrovost akordeonu Weltmeister	68
3.6 Směrovost akordeonu Hohner	76
4 Použití párových mikrofonních technik	79
4.1 Párová technika XY	80
4.2 Párová technika AB	82
4.3 Párová technika ORTF	84
4.4 Párová technika NOS	86
4.5 Párová technika odděleného snímání obou částí nástroje	88
Závěr	91
Literatura	95
A Elektronické přílohy	97
A.1 Programy pro MATLAB	97
A.2 Audio soubory	97

Seznam obrázků

1.1	Princip průrazného jazýčku	22
1.2	Dva průrazné jazýčky v rámečku, z každé strany jeden	23
1.3	Tón se zpětným uzávěrem otvoru	23
1.4	Kobylka s novými tóny a hlásky	24
1.5	Klávesou nadzvednutá podložka a otvory pod ní	25
1.6	Táhla přepínačů rejstříků	25
1.7	Značka pro osmistopový rejstřík	26
1.8	Značka pro rejstřík vrchní výchvěv	26
1.9	Značka pro šestnáctistopový rejstřík	27
1.10	Značka pro čtyřstopový rejstřík	27
1.11	Knoflíky basové části a vypínače oktávového spřažení	28
1.12	Stažený a roztažený měch akordeonu	29
1.13	Kryt vyzařovacích otvorů diskantové části	30
1.14	Kryt basové části	31
2.1	Schéma rozestavení mikrofonů pro měření	33
2.2	Pohled na rozestavení měřících mikrofonů	34
3.1	Kontrolní vykreslení peaků při nesprávné volbě mpd	38
3.2	Delicia – spektrum tónu c^1 , 8' rejstřík	39
3.3	Delicia – spektrum tónu c^1 , 8'+8° rejstřík	40
3.4	Delicia – spektrum tónu c^1 , 8'+8° rejstřík, detailní pohled	40
3.5	Delicia – časový průběh tónu c^1 , 8'+8° rejstřík	41
3.6	Delicia – spektrum tónu c^1 , 16' rejstřík	42
3.7	Delicia – spektrum tónu c^1 , 8'+8°+16' rejstřík	43
3.8	Delicia – spektrum tónu c^1 , 8'+8°+16' rejstřík, detailní pohled	44
3.9	Delicia – časový průběh tónu c^1 , 8'+8°+16' rejstřík	44
3.10	Delicia – spektrum tónu c^2 , 16' rejstřík	45
3.11	Delicia – spektrum tónu c^3 , 8' rejstřík	46
3.12	Delicia – spektrum tónu C, plénium	47
3.13	Delicia – spektrum tónu C, bez 2. příznávky	47
3.14	Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 8' rejstřík	48
3.15	Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 8'+8° rejstřík	49
3.16	Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 8'+8° rejstřík, detailní pohled	50
3.17	Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 16' rejstřík	51
3.18	Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 8'+8°+16' rejstřík	52
3.19	Weltmeister – spektrum tónu c^2 , 8' rejstřík	52
3.20	Weltmeister – spektrum tónu c^2 , 8'+8° rejstřík	53
3.21	Weltmeister – spektrum tónu c^3 , 16' rejstřík	54

3.22	Weltmeister – spektrum tónu c^2 , $4'+16'$ rejstřík	55
3.23	Weltmeister – spektrum tónu c^2 , $4'+16'$ rejstřík, detailní pohled	55
3.24	Weltmeister – spektrum tónu c^2 , plénium ($4'+8'+8^\circ+16'$)	56
3.25	Weltmeister – spektrum tónu E, plénium	57
3.26	Weltmeister – spektrum tónu E, bez 2. příznávky	58
3.27	Hohner – spektrum tónu E^1	59
3.28	Hohner – spektrum tónu D	60
3.29	Hohner – spektrum tónu c^1	60
3.30	Delicia – směrovost tónu c^1 , $8'$ rejstřík	61
3.31	Delicia – směrovost tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík	62
3.32	Delicia – směrovost tónu c^1 , $16'$ rejstřík	63
3.33	Delicia – směrovost tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík	63
3.34	Delicia – směrovost tónu c^2 , $8'$ rejstřík	64
3.35	Delicia – směrovost tónu c^2 , $8'+8^\circ$ rejstřík	65
3.36	Delicia – směrovost tónu c^2 , $16'$ rejstřík	65
3.37	Delicia – směrovost tónu c^2 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík	66
3.38	Delicia – směrovost tónu c^3 , $8'$ rejstřík	67
3.39	Delicia – směrovost tónu As, plénium	67
3.40	Delicia – směrovost tónu As, bez 2. příznávky	68
3.41	Weltmeister – směrovost tónu c^1 , $8'$ rejstřík	68
3.42	Weltmeister – směrovost tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík	69
3.43	Weltmeister – směrovost tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík	69
3.44	Weltmeister – směrovost tónu c^1 , $16'$ rejstřík	70
3.45	Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $8'$ rejstřík	70
3.46	Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $8'+8^\circ$ rejstřík	71
3.47	Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $16'$ rejstřík	72
3.48	Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $4'+16'$ rejstřík	72
3.49	Weltmeister – směrovost tónu c^2 , plénium	73
3.50	Weltmeister – směrovost tónu c^3 , $8'$ rejstřík	73
3.51	Weltmeister – směrovost tónu c^3 , $8'+8^\circ$ rejstřík	74
3.52	Weltmeister – směrovost tónu c^3 , $16'$ rejstřík	74
3.53	Weltmeister – směrovost tónu E, plénium	75
3.54	Weltmeister – směrovost tónu E, bez 2. příznávky	76
3.55	Hohner – směrovost tónu c^1	76
3.56	Hohner – směrovost tónu c	77
3.57	Hohner – směrovost tónu D	77
3.58	Hohner – směrovost tónu E^1	78
4.1	Schéma rozestavení mikrofonů techniky XY	80
4.2	Vektorskop sterea při použití techniky XY	80

4.3	Zobrazení korelace sterea při použití techniky XY	81
4.4	Energie kanálů sterea při použití techniky XY	81
4.5	Schéma rozestavení mikrofonů techniky AB	82
4.6	Vektorskop sterea při použití techniky AB	82
4.7	Zobrazení korelace sterea při použití techniky AB	83
4.8	Energie kanálů sterea při použití techniky AB	83
4.9	Schéma rozestavení mikrofonů techniky ORTF	84
4.10	Vektorskop sterea při použití techniky ORTF	84
4.11	Zobrazení korelace sterea při použití techniky ORTF	85
4.12	Energie kanálů sterea při použití techniky ORTF	85
4.13	Schéma rozestavení mikrofonů techniky NOS	86
4.14	Vektorskop sterea při použití techniky NOS	86
4.15	Zobrazení korelace sterea při použití techniky NOS	87
4.16	Energie kanálů sterea při použití techniky NOS	87
4.17	Rozestavení mikrofonů při odděleném snímání	88
4.18	Vektorskop sterea při odděleném snímání	88
4.19	Zobrazení korelace sterea při odděleném snímání	89
4.20	Energie kanálů sterea při odděleném snímání	89

Úvod

Akordeon je svojí konstrukcí a svojí podstatou poměrně složitým nástrojem, zejména v porovnání s některými jednohlasými nástroji. S touto složitostí se pojí i různé komplikace, které se mohou objevit při pořizování záznamu hry na akordeon a mnohdy mohou mít velmi negativní dopad na výslednou kvalitu a srozumitelnost nahrávky a na výraz, který do hry na akordeon hudebník vkládá. Tato práce se zabývá měřením spektra vyzařovaného akordeonem a směrovostí, s níž akordeon toto spektrum vyzařuje. Tato data následně zobrazuje v grafech a analyzuje jednotlivé poznatky z těchto grafů vyplývající.

První kapitola se věnuje rozdělení akordeonů na základní druhy a jejich obecnou charakteristiku. Popisuje princip vzniku zvuku akordeonu, jednotlivé části akordeonu a spojování těchto částí do funkčních celků. Dále se tato kapitola zabývá rozsahem a barvou akordeonu, jak je možné tyto vlastnosti ovlivňovat a také, jak je vyzařován zvuk z nástroje.

Druhá kapitola popisuje samotné měření a získávání požadovaných dat. Upřesňuje podmínky a technické parametry, s nimiž měření probíhalo. Je zde popsáno prostředí, v němž bylo měření realizováno a pomocí jaké mikrofonní (a s tím spojené) techniky. Dále jsou zde upřesněny měřené akordeony (jejich vlastnosti, počet hlasů a rozsah), měřené tóny, volba těchto tónů a jejich frekvence.

Třetí kapitola se věnuje již samotnému zpracování a analýze naměřených dat. Je zde popsán způsob, jakým byla naměřená data zpracována, programy a jejich kódy, které k tomuto zpracování byly použity a jak dané kódy fungují. Poté je součástí této kapitoly konkrétní analýza získaných grafů, popis a rozbor vyzařovaného spektra akordeonu, vzájemné porovnání spekter různých tónů, zobrazení směrovosti jednotlivých tónů a jejich vzájemné srovnání.

Čtvrtá kapitola je zaměřena na konkrétní párové mikrofonní techniky, které se běžně užívají k nahrávání v praxi. Několik těchto technik je použito k nahrání stereofonní nahrávky jednoduché melodie hrané na klávesový akordeon se standardními basy. Nahrávky zaznamenané pomocí různých mikrofonních párových technik jsou poté pomocí vektorskopu, měření korelace a měření efektivních a špičkových hodnot signálu analyzovány a objektivně hodnoceny.

V závěru jsou shrnuty zjištěné informace z měření a z analýzy grafů spekter a směrovosti a také zhodnoceny samotné párové techniky při praktickém použití. Na základě objektivních dat a subjektivních dojmů je dále doporučeno nejvhodnější uspořádání mikrofonní párové techniky.

1 Konstrukce akordeonu a jejich typy

Pojem akordeon může označovat více druhů nástrojů, které jsou sice příbuzné a podobně znějící, svou konstrukcí a způsobem hry na ně však odlišné. Rozdělují se podle způsobu hry v diskantové části nástroje¹ na *klávesový akordeon* a *knoflíkový akordeon* nebo podle druhu tónů v basové části nástroje² na akordeon *se standardními basy* a akordeon *s melodickými basy*.

Klávesový akordeon má v diskantové části nástroje klaviaturu, podobně jako piano, proto se mu někdy také říká pianový akordeon. Tato klaviatura je chromatická, což z tohoto typu nástroje činí chromatický nástroj – umožňuje tedy zahrát všechny půltóny ve svém rozsahu. Ten je obvykle dvě až tři oktávy, záleží na velikosti konkrétního nástroje. Speciálním případem klávesového akordeonu je tzv. basový akordeon, který je vybaven pouze touto klaviaturou v diskantové části a je určen pro hraní basových tónů. Obvykle je tento akordeon využíván při hře v různých souborech.

Knoflíkový akordeon je v diskantové části vybaven několika řadami knoflíků, které nahrazují klávesy. Jedná se taktéž o chromatický nástroj – tedy je schopen zahrát všechny půltóny ve svém rozsahu. Knoflíky jsou logicky uspořádány v řadách a žádný z knoflíků není vyvýšen (na rozdíl od zvýšených či snížených tónů na klaviatuře). Způsob uspořádání knoflíků je výhodnější pro přirozené postavení lidské ruky při hře na tento nástroj. Velmi výraznou výhodou oproti klávesovému akordeonu je to, že transpozici určité melodie lze provést pouhou změnou polohy prstů na knoflicích, bez nutnosti brát ohled na změněné předznamení.

Akordeon *se standardními basy* má v basové části různý počet knoflíků. Podle tohoto počtu se standardně určuje velikost akordeonu a může to být

- 8basový,
- 12basový,
- 24basový,
- 32basový,
- 40basový,
- 48basový (8 řad po 6 knoflicích, nebo 12 řad po 4 knoflicích),
- 60basový,
- **72basový**,
- **96basový**,
- **120basový**,
- 140basový,
- 160basový [1].

¹Oblast nástroje, kterou ve standardním držení obsluhuje **pravá** ruka.

²Oblast nástroje, kterou ve standardním držení obsluhuje **levá** ruka.

Nejčastěji používanými velikostmi jsou právě 72, 96 a 120 basů. Na nejmenší, 72basový akordeon obvykle hrají začínající hráči, a to kvůli nižší hmotnosti a menším rozměrům, přesto však dostatečnému rozsahu pro první kroky s nástrojem. Střední, 96basový akordeon je jakýmsi mezistupněm, nabízí již rozsah pro náročnější skladby, přesto však nevyžaduje takovou fyzickou vyspělost, jako větší akordeony. Největším standardně používaným akordeonem je 120basový – ten disponuje dostatečně velkým rozsahem pro běžně hrané skladby a zároveň jsou jeho hmotnost a rozměry stále přijatelné. Poslední dva zmíněné počty basů – 140 a 160 – se objevují výjimečně, jsou jimi obvykle vybaveny pouze mistrovské a koncertní nástroje, pro jiné účely by takto velké nástroje byly zbytečně těžké a nepřinášely by žádnou výhodu.

Akordeon *s melodickými basy* (někdy také nazývaný barytonový akordeon) má v basové části pouze základní tóny, a to obvykle v rozsahu několika oktáv. Hra levé ruky v basové části tedy může melodicky doplňovat hru pravé ruky v diskantové části v přibližně stejné tónové výšce.

Všechny čtyři výše zmíněné druhy je možné kombinovat, v oblasti střední a západní Evropy je však nejobvyklejší klávesový akordeon se standardními basy. Za standardní velikost pro dospělé hráče se v naší zeměpisné oblasti považuje akordeon se 120 basy. Jelikož se tato práce věnuje právě klávesovým akordeonům se standardními basy a 120basový akordeon je nejběžnější velikostí, dále bude pojmem akordeon rozuměn právě klávesový akordeon se 120 standardními basy.

1.1 Vznik zvuku

Zvuk akordeonu je tvořen kmitáním kovových **průrazných jazýčků**, které jsou rozkmitávány pomocí proudu vzduchu. Tyto kovové jazýčky jsou na jednom konci pevně uchyceny a na druhém konci volné, díky čemuž jsou schopny kmitat a ohýbat se na obě strany – proto „průrazné“, jelikož mohou procházet otvorem pouzdra, v němž jsou uchyceny, viz obr. 1.1. Kovový průrazný jazýček je netlumený (resp. málo tlu-



Obr. 1.1: Princip průrazného jazýčku, převzato z [2]

mený) a funguje jako aktivní oscilátor – svými vlastnostmi (délka, šířka, pružnost materiálu) určuje výšku produkovaného tónu bez vazby na vlastnosti rezonátoru.

Frekvenci tónu lze určit podle

$$f = k \frac{d}{l^2}, \quad (1.1)$$

kde k je materiálová konstanta (určuje pružnost a ostatní vlastnosti materiálu), d je tloušťka jazýčku a l je délka jazýčku, která může kmitat. [3]

Kovový rámeček, v němž jsou jazýčky uchyceny, se nazývá **tón**. Každý tón je vždy osazen dvěma stejnými jazýčky, viz obr. 1.2 – jeden je umístěn tak, aby kmital při tahu měchu ven, druhý tak, aby kmital při stlačování měchu dovnitř. Díky tomuto zdvojení každého hlásku na jednotlivých tónech je docíleno toho, že akordeon je nástrojem **stejnozvučným**. To znamená, že při stisknutí klávesy (resp. knoflíku) výška hraného tónu nezáleží na směru proudu vzduchu, který tyto hlásky rozkmitává (tzn. nezáleží, jestli je měch stlačován, či roztahován, vždy zní stejný tón). Na protější straně je otvor vždy zakryt klapkou (viz obr. 1.3), která zajišťuje, že daný jazýček bude rozkmitáván proudem vzduchu pouze v tom směru, ve kterém vydává požadovaný zvuk. Pro tuto klapku se dříve používala kůže, dnes bývá často nahrazena různými syntetickými materiály, které lze lépe přizpůsobit požadavkům na nástroj. Klapka, kromě utěsňování otvoru, hraje také důležitou roli v podobě výsledného tónu – pokud je klapka příliš tvrdá, může způsobovat tlumení tónu, pokud je naopak příliš měkká, může způsobovat nežádoucí ruchy, jako např. profuky pod klapkou, mírné rozechvívání protějších hlásků apod. [2, 4]



Obr. 1.2: Dva průrazné jazýčky v rámečku, z každé strany jeden, převzato z [2]



Obr. 1.3: Tón se zpětným uzávěrem otvoru, převzato z [5]

Jednotlivé tóny, každý s jedním párem hlásků, jsou připevněny na kobytku, která představuje v podstatě držák jednotlivých tónů, viz obr. 1.4. Kobytky jsou obvykle vyrobeny z různých druhů dřeva, experimentálně se používají také syntetické materiály, které ale mohou mít (ve většině případů negativní) vliv na zvuk akordeonu. Přímé spojení s jednotlivými tóny totiž dělá z kobytky nedílnou rezonanční součást nástroje

a jak známo, syntetické materiály v tomto ohledu většinou nedosahují kvalit, které nám nabízí přírodní materiály – kvalitní dřevo. Takto zkompletovaná kobyłka se nazývá **hlas** a jako celek se již připevňuje přímo do ozvučnice nástroje. Podle počtu hlasů se často akordeony rozlišují – nejobvyklejší jsou akordeony 3hlasé a 4hlasé, ty nejlepší akordeony jsou vybaveny 5 hlasy. To, které hlasy budou použity pro vytváření tónu, ovlivňují přepínače rejstříku, o kterých mj. pojednává kapitola 1.2.1. [4, 6]



Obr. 1.4: Kobyłka s novými tóny a hlásky, převzato z [5]

1.2 Popis konstrukce

Akordeon se skládá ze tří částí – *diskant* (někdy také melodická část, svršek), *měch* a *bas* (někdy také doprovodná část, spodek). Diskant a bas je k sobě spojen vzduchovým měchem, který je pomocí tahu, resp. tlaku levé ruky roztahován a stlačován. Vzduchový proud vytvářený měchem rozkmitává požadované hlásky. To, které hlásky budou proudem vzduchu rozechvěny je dáno stisknutou klávesou (v případě diskantové části) či knoflíkem (v případě basové části) a zvoleným rejstříkem.

1.2.1 Diskant

Část akordeonu, kterou obsluhuje pravá ruka je při hraní statická a má dvě hlavní části – *klaviaturu*, která slouží k hraní jednotlivých tónů a *přepínače rejstříků*, pomocí nichž se volí, které hlasy budou při hraní používány.

Klaviatura je v případě 120basového akordeonu Weltmeister Caprice vybavena 41 klávesami, což dává rozsah téměř 3 a půl oktávy. Jedná se konkrétně o tóny $f-a^3$. Takto relativně velký rozsah vzhledem k velikosti nástroje je dosažen zúžením jednotlivých kláves oproti standardu, který se nachází např. na klavírech a podobných nástrojích. Klávesy mohou být široké 19,5; 18,5; 17,8 mm – záleží, na konkrétním nástroji. Nejvyšší klávesy využívají tzv. dámské nástroje. [4]

Ke každé klávese je připevněna úzká tyč, na jejímž druhém konci je kovová destička. Na té je uchycena podložka obvykle o tloušťce cca 5 mm z kombinace plsti a semiše. Úkolem této podložky je utěsnit otvory, které se pod ní nachází, a to tak, aby nimi nemohl procházet žádný proud vzduchu (případně naprosto zanedbatelný), který by rozkmitával hlásky nacházející se za každým z otvorů. Naopak, v případě stisknutí klávesy dojde k nadzvednutí této podložky a ke zprůchodnění otvorů proudy vzduchu (viz obr. 1.5), který tudy proudí dovnitř (v případě roztažení měchu), nebo ven (v případě stlačování měchu) a rozkmitává hlásky.



Obr. 1.5: Klávesou nadzvednutá podložka a otvory pod ní

Těsně nad klaviaturou je umístěno 11 tlačítek, které slouží k přepínání rejstříků. Rejstříkem se rozumí hlas nebo kombinace hlasů, které budou použity pro vytvoření tónu po stisknutí klávesy. Jednotlivá tlačítka jsou napojena táhlem na otočný přepínač, který daný hlas zapojí (tj. umožní proudy vzduchu, aby rozkmitával hlásky umístěné na kobylce daného hlasu), nebo nezapojí (viz obr. 1.6). V akordeonu se nachází 4 hlasy (3 z nich lze použít samostatně nebo v kombinaci s ostatními). Z níže uvedených hlasů jednoduchých rejstříků lze vytvářet kombinace jejich společným zapojením.



Obr. 1.6: Táhla přepínačů rejstříků

Osmistopový rejstřík

Nezákladnějším rejstříkem je rejstřík osmistopový ($8'$), značí se pomocí jedné tečky v prostřední lince, viz obr. 1.7. Zapojuje pouze jeden hlas a ten je laděn vždy v základním rozsahu akordeonu – při stisknutí klávesy a^1 zní tón $a^1 = 440$ Hz, celkový tónový rozsah je tedy $f-a^3$. Zvuk rejstříku se barvou blíží flétně. Některé moderní akordeony mají hlas osmistopového rejstříku umístěn v šachtové ozvučnici, která slouží k potlačování vysokých harmonických a disonantních složek, díky čemuž je tón kulatější a jemnější. [4]



Obr. 1.7: Značka pro osmistopový rejstřík

Vrchní výchvěv

Dalším ze základních rejstříků je tzv. vrchní výchvěv (8°). Hlávky použité v tomto rejstříku jsou naladěny na mírně vyšší frekvenci, než hlávky u základního osmistopového rejstříku ($a^1 = 443$ Hz, frekvence naladění hlasu se může lišit podle typu nástroje). Jelikož by jeho samotné použití nedávalo smysl (zněla by táž barva, jako u osmistopového rejstříku, jen s mírně vyšší frekvencí), používá se výhradně v kombinaci s rejstříkem osmistopovým ($8'+8^\circ$), proto se značí pomocí dvou teček v prostřední lince, a to tečky uprostřed a tečky po pravé straně, viz obr. 1.8. Mírné vzájemné rozladění dvou zapojených hlasů způsobuje zázněje, díky čemuž vzniká typický akordeonový, rozechvělý zvuk, neboli **tremolo**. Některé lepší akordeony, mající pět hlasů, navíc disponují podobným hlasem, který je ale naladěný naopak na mírně nižší frekvenci ($a^1 = 437$ Hz). Princip je ale stejný – opět se používá v kombinaci s dalšími rejstříky, umožňuje vytvářet různá tremola. Nazývá se spodní výchvěv (8_\circ).



Obr. 1.8: Značka pro rejstřík vrchní výchvěv

Šestnáctistopový rejstřík

Šestnáctistopový rejstřík ($16'$) zapojuje pouze jeden hlas, který svou barvou připomíná fagot [4]. Značka pro tento rejstřík má jednu tečku ve spodní lince, viz obr.

1.9. Jedná se o tzv. oktávový rejstřík – celý je naladěn o oktávu níže, což znamená, že při stisku klávesy a^1 zní nota $a = 220$ Hz, celkový tónový rozsah je tedy o oktávu nižší – $F-a^2$.



Obr. 1.9: Značka pro šestnáctistopový rejstřík

Čtyřstopový rejstřík

Při použití čtyřstopového rejstříku ($4'$) je opět zapojen pouze jeden hlas a je taktéž hlasem oktávovým. V tomto případě je však celý hlas naladěn o oktávu výše, z čehož vyplývá, že při stisku klávesy a^1 zní nota $a^2 = 880$ Hz, celkový tónový rozsah je tedy o oktávu vyšší – f^1-a^4 a svou barvou hlas připomíná barvu pikoly [4]. Značí se pomocí jedné tečky ve vrchní lince, jak je zobrazeno na obr. 1.10.



Obr. 1.10: Značka pro čtyřstopový rejstřík

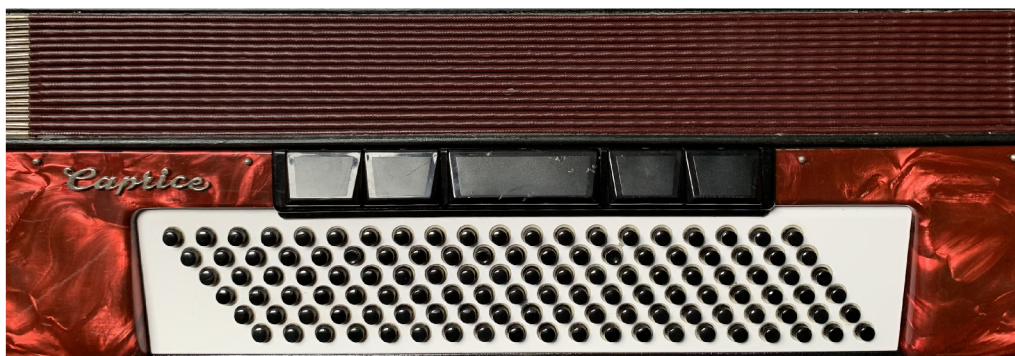
1.2.2 Bas

Jako bas je označována část akordeonu, kterou při hraní obsluhuje levá ruka. Tato část akordeonu je pohyblivá při hraní, a to z důvodu nutnosti pohybovat s měchem pro vytvoření proudu vzduchu. Dá se rozdělit na dvě hlavní části – *knoflíky*, které slouží pro hraní tónů, či akordů a *vypínače oktávového spřažení* (ty je zažité často nesprávně označovat, jako rejstříky).

Akordeony běžné, standardní velikosti, jsou vybaveny celkem 120 knoflíky, viz obr. 1.11 – 6 řad po 20 knoflicích. Právě po řadách jsou jednotlivé knoflíky seřazeny, a to následovně:

- 1. řada – tzv. pomocná řada, nachází se zde terciové tóny k základním tónům,
- 2. řada – základní tóny,
- 3. řada – durové akordy od základních tónů,
- 4. řada – mollové akordy od základních tónů,
- 5. řada – tvrdě malé (dominantní) septakordy od základních tónů
- 6. řada – zmenšeně zmenšené (zmenšené) septakordy od základních tónů.

Základní tóny jsou zde seřazeny po kvintách – při posunu o jeden knoflík směrem k vrchní části akordeonu se vždy nachází tón vzdálený o kvintu nahoru (tedy nad tónem C se nachází tón G, nad tónem G se nachází tón D atd.) a při posunu o jeden knoflík směrem ke spodní části akordeonu se vždy nachází tón vzdálený o kvintu dolů (tedy pod tónem C se nachází tón F, pod tónem F se nachází tón H_b atd.). Některé tóny bývají povrchovou úpravou zvýrazněny (mírná prohlubeň, či mřížkovaný vzor) pro snazší orientaci pomocí hmatu. U 120basového akordeonu se jedná o tóny A_b, C a E.



Obr. 1.11: Knoflíky basové části a vypínače oktávového spřažení

Celkový rozsah basové části akordeonu je As^1-g^2 . Je ale rozdělen na 4 části po velkých septimách, které se zapojují jako tzv. **oktávová spřažení**. Při stisknutí knoflíku (a to jak v základní řadě, tak v pomocné řadě) nezní pouze samotné, jednoduché tóny, ale je zapojeno více hlasů, které jsou naladěny v oktávách nad sebou – při použití plného, čtyřnásobného spřažení a stisknutí knoflíku tónu C zní tóny C, c, c¹ a c². Jednotlivá oktávová spřažení se nazývají a mají rozsah:

- základní bas – As^1-G ,
- dvojbas – $As-g$,
- 1. příznávka – $as-g^1$,
- 2. příznávka – as^1-g^2 .

Tento systém znamená, že skutečný rozsah basové části akordeonu je pouhá velká septima, lidské ucho je ale při zlomu jednotlivých oktáv oklamáváno tím, že tři ze čtyř hlasů postupují neustále nahoru, čímž je vytvořen dojem „nekonečné oktávy“.

Knoflíky hrající akordy jsou spřaženy pouze dvojnásobně, a to tak, že spojují hlasy 1. a 2. příznávky. Stiskem knoflíku, který přísluší akordu, se ozve několik tónů z hlasu 1. příznávky a několik tónů z hlasu 2. příznávky. V případě durového akordu z řady C jsou to tyto:

- 1. příznávka – e, g, c¹,
- 2. příznávka – e¹, g¹, c².

Vedle knoflíků basové části jsou umístěny tlačítka – vypínače oktávového spřažení (viz obr. 1.11). Počet těchto tlačítek je různý, podle druhu akordeonu, u standardních akordeonů je jich obvykle alespoň pět a každé zapojuje jinou kombinaci oktávových spřažení, pomocí nichž je možné docílit např. vyšší polohy tónu i přesto, že je hrán v basové části. Vždy však zůstává zapojena alespoň 1. příznávka – díky tomu je umožněno hrát akordy stále pouze stiskem jediného knoflíku. To tlačítko, které nechává zapojena všechna oktávová spřažení se obvykle označuje jako plenum. [4]

1.2.3 Měch

Měch spojuje diskantovou a basovou část. Je vytvořen z několika záhybů tvrdého papíru, či lepenky, ve vnitřních rozích je tvrdý papír nahrazen měkkou kůží. Pro pevnost a odolnost měchu jsou vnější rohy vyztuženy kovovými růžky, vnější spoje jsou ještě navíc pokryty papírem, či kůží s různou barvou a motivem, který kromě ochranné funkce má i funkci estetickou. Pohled na stažený a roztažený měch je na obr. 1.12. Hlavní funkcí akordeonového měchu je vytvářet proud vzduchu, který



Obr. 1.12: Stažený (vlevo) a roztažený (vpravo) měch akordeonu

rozkmitává hlásky nástroje. Hráč měchem pohybuje pomocí své levé ruky a silou tlaku, či tahu ovlivňuje velikost proudu vzduchu a tím i hlasitost hraných tónů. Nevýhodou tohoto systému je stejná a nerozdělitelná velikost proudu vzduchu pro obě hrací části (diskant a bas), z čehož vyplývá, že hlasitost diskantu je přímo úměrná hlasitosti basu a naopak. Pokud hráč tedy vyžaduje např. slabší tón basu

a silnější tón diskantu, lze toho docílit pouze použitím správných rejstříků a vypínačů oktávového spřažení.

1.3 Vyzařování zvuku z nástroje

Zvuk jednotlivých tónů je z nástroje vyzařován vždy otvorem, jímž ke znějícímu hlásku proudí vzduch – tyto otvory jsou umístěny tak, aby byly co nejbližší samotnému kmitajícímu jazýčku a zároveň i klávese, která zpřístupňuje příslušný otvor proudu vzduchu. Z estetických i praktických důvodů jsou ale tyto otvory zakryty – zejména pro zabránění mechanickému poškození táhel, či průniku cizích předmětů dovnitř nástroje a poškození hlasů.

Kryt diskantu je umístěn přímo nad klávesami a jsou do něj zasazeny tlačítka přepínačů rejstříků. Obvykle je tvarován tak, aby splňoval i „ozdobnou“ funkci akordeonu a nenarušoval svojí funkcí vzhled nástroje. Otvory v něm jsou zakryty tkaninou, která má vhodné vlastnosti pro propouštění zvuku. Tento kryt lze vidět na obr. 1.13.



Obr. 1.13: Kryt vyzařovacích otvorů diskantové části

Kryt basové části je umístěn z boku akordeonu ve směru, kterým je roztahován měch. Je vyroben z plastu a přímo do něj jsou vyvrtány otvory, které dále nejsou žádným způsobem zakrývány. Přímo na tento kryt je při hraní vyvíjen hráčovou dlaní tlak, kterým je měch stlačován. Přes celou délku krytu je umístěn řemen, pod nímž má hráč vloženu ruku a ten slouží naopak pro vyvíjení tlaku směrem ven – při roztahování měchu. Na obr. 1.14 lze tento kryt a řemen vidět. Ve vrchní části krytu si lze také všimnout knoflíku, který slouží jako tzv. vzduchová klapka –



Obr. 1.14: Kryt basové části

jejím stisknutím se zpřístupní otvor, ve kterém není vložen žádný hlásek a umožní volný průchod vzduchu z/do měchu. Používá se např., když hráč dohraje skladbu s roztaženým měchem, nebo když z interpretačních důvodů potřebuje začít hrát skladbu s měchem roztaženým.

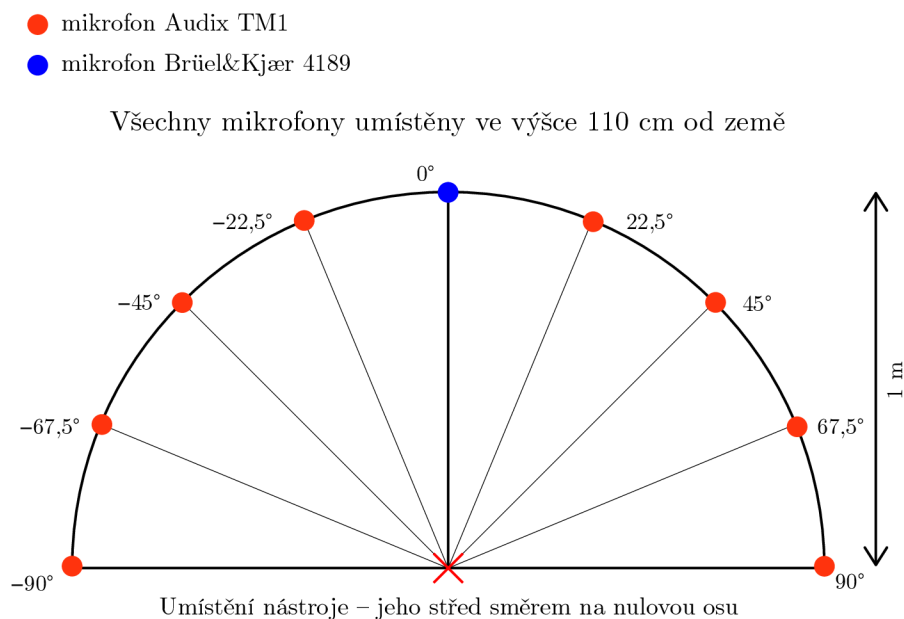
Z hlediska záznamu zvuku vyzařovaného akordeonem je komplikací zejména basová část, a to z toho důvodu, že je pohyblivá. Není tedy možné použít mikrofon, jehož pozice bude nastavena na „výchozí“ pozici se staženým měchem, stejně tak obvykle nebývá vhodné postavení jednoho mikrofonu přímo před akordeon, jelikož roztahováním měchu dochází i k mírnému natáčení vyzařovacích otvorů směrem dozadu. Z těchto důvodů je technika snímání (basové části) akordeonu obvykle různá a je třeba ji přizpůsobovat konkrétním situacím.

2 Příprava měření a jeho průběh

Pro měření směrových a frekvenčních charakteristik byly použity tři akordeony značek Delicia, Weltmeister a Hohner. Měření probíhalo v bezodrazové komoře v budově Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Měření zde probíhalo zejména proto, aby byly co nejvíce eliminovány odrazy zvukových vln od stěn, které by mohly zkreslit měření, a to jak směrovosti, tak frekvenčních charakteristik nástrojů.

2.1 Technické parametry měření

Pro měření bylo použito devět mikrofonů, z toho osm mikrofonů *Audix TM1* a jeden mikrofon *Brüel & Kjær 4189* (tento se nacházel na nulové ose měření – tedy proti středu akordeonu). Mikrofony byly v bezodrazové místnosti horizontálně rozestaveny do půlkruhu, při čemž mezi každým mikrofonem byl úhel $22,5^\circ$ a vzdálenost mezi mikrofonem a měřeným akordeonem byla 1 m, viz obr. 2.1 a 2.2 (tato vzdálenost odpovídala zejména mikrofonu na nulové ose, vzdálenost ostatních mikrofonů mohla být mírně odlišná, zejména v důsledku tahání měchu). Signály z mikrofonů byly přivedeny do mikrofonních předzesilovačů RME Micstasy, odsud přivedeny do A/D převodníku A/D – D/A Interface ADI-2 a ten předával digitální informace do DAW (Cubase 10), pomocí něhož byly nahrávané signály zaznamenávány. Nastavením interního mixu v DAW byly kompenzovány některé rozdíly v citlivostech jednotlivých měřících mikrofonů.



Obr. 2.1: Schéma rozestavení mikrofonů pro měření



Obr. 2.2: Pohled na rozestavení měřících mikrofonů

Mikrofon *Audix TM1* je měřící kondenzátorový mikrofon s frekvenčním rozsahem 20 Hz–25 kHz, citlivostí 6 mV/Pa, SNR 66 dB a ekvivalentní úrovni šumu 28 dBA [7]. Osm těchto mikrofonů bylo použito pro měření směrovosti akordeonů.

Mikrofon *Brüel & Kjaer 4189* je specializovaný, vysoce přesný měřící mikrofon s frekvenčním rozsahem 6,3 Hz–20 kHz, citlivostí 50 mV/Pa, ekvivalentní úrovni šumu 14,6 dBA a dynamickým rozsahem 14,6–146 dB [8]. Tento mikrofon umístěný na nulové ose měření byl pro svou velmi vysokou přesnost použit pro měření vyzařovaného spektra jednotlivých akordeonů. Aby bylo možné využít velmi dobré vlastnosti tohoto mikrofonu, signál z něj byl nejprve zpracováván speciálním předzesilovačem Brüel & Kjaer 2690-A-0F2 NEXUS, který zajistil nejvyšší možnou kvalitu přiváděného signálu, poté byl signál zpracován opět pomocí předzesilovačů RME Micstasy.

2.2 Měření nástroje a tóny

Pro měření směrových a frekvenčních charakteristik akordeonů byly vybrány tři různé druhy, každý jiné značky:

- Akordeon Delicia Junior III – 72 basů, 3 hlasy, rozsah diskantu $h-c^3$
- Akordeon Weltmeister Caprice 120 – 120 basů, 4 hlasy, rozsah diskantu $f-a^3$
- Basový akordeon Hohner BASSO 372 – speciální typ akordeonu disponující pouze diskantem, rozsah E^1-c^1

Akordeony se standardními basy byly měřeny na 5 různých tónech, z toho 3 v diskantu a 2 v basu. Tóny byly voleny tak, aby byla využita celá výška nástroje,

lišila se místa, ze kterých je zvuk vyzařován a zároveň tak, aby bylo možné tytéž tóny zahrát na oba nástroje se standardními basy, které byly podrobeny měření – zejména proto, aby spektra a směrovosti bylo možné porovnávat nejen mezi různými tóny jednoho nástroje, ale i mezi stejnými tóny různých nástrojů.

V diskantu byly měřeny tóny c^1 , c^2 a c^3 , vždy na osmistopovém rejstříku ($8'$), vrchním výchvěvu ($8'+8^\circ$), šestnáctistopovém rejstříku ($16'$) a kombinaci vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku ($8'+8^\circ+16'$). V případě akordeonu Weltmeister, který navíc disponuje čtyřstopovým hlasem ($4'$) byl tón c^2 měřen ještě na kombinaci čtyřstopového a šestnáctistopového rejstříku ($4'+16'$) a na tzv. plénu – zapojení všech hlasů, tedy kombinace čtyřstopového rejstříku, vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku ($4'+8'+8^\circ+16'$).

V basu byly měřeny tóny C, E a As (v případě akordeonu Weltmeister to byly As^1 , C a E), vždy na rejstříku s plným zapojením všech oktávových spřažení a s vyplou druhou příznávkou. Měřené tóny a jejich frekvence jsou vypsány v tabulce 2.1 (uvedené frekvence jsou teoretické, vztažené k $a^1 = 440$ Hz, reálné naměřené frekvence se mohou lišit, např. vlivem stáří hlásků, nesprávnému naladění ad.).

Basový akordeon nedisponuje žádnými rejstříkovými přepínači, byly u něj tedy změřeny 4 různé tóny, opět voleny tak, aby vyzařovací otvory byly rozloženy po celé výšce nástroje, a to tóny E^1 , D, c, c^1 . Měřené tóny a jejich frekvence jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Tón	Rejstřík	Základní frekvence [Hz]	Frekvence připojených oktávových hlasů [Hz]
Diskant			
c ¹	Osmístopový (8')	261,63	
c ¹	Vrchní výchvěv (8°)	261,63	
c ¹	Šestnáctistopový (16')	130,81	
c ¹	Vrchní výchvěv + šestnáctistopový (8'+8°+16')	261,63	130,81
c ²	Osmístopový (8')	523,25	
c ²	Vrchní výchvěv (8°)	523,25	
c ²	Šestnáctistopový (16')	261,63	
c ²	Vrchní výchvěv + šestnáctistopový (8'+8°+16')	523,25	261,63
c ²	Čtyřstopový + šestnáctistopový (4'+16')	261,63	1046,50
c ²	Plénium (4'+8'+8°+16')	523,25	261,63; 1046,50
c ³	Osmístopový (8')	1046,50	
c ³	Vrchní výchvěv (8°)	1046,50	
c ³	Šestnáctistopový (16')	523,25	
c ³	Vrchní výchvěv + šestnáctistopový (8'+8°+16')	1046,50	523,25
Bas			
As ¹	Plénium (<i>Weltmeister</i>)	51,92	
As ¹	Bez 2. příznávky (<i>Weltmeister</i>)	51,92	
C	Plénium	65,41	
C	Bez 2. příznávky	65,41	
E	Plénium	82,41	
E	Bez 2. příznávky	82,41	
As	Plénium (<i>Delicia</i>)	103,83	
As	Bez 2. příznávky (<i>Delicia</i>)	103,83	

Tab. 2.1: Akordeony Delicia a Weltmeister – měřené tóny a jejich frekvence

Tón	Rejstřík	Základní frekvence [Hz]	Frekvence připojených oktávových hlasů [Hz]
Diskant			
E ¹	—————	41,20	—————
D	—————	73,42	—————
c	—————	130,81	—————
c ¹	—————	261,63	—————

Tab. 2.2: Akordeon Hohner – měřené tóny a jejich frekvence

3 Analýza naměřených dat

Zvuková data zaznamenaná při měření jednotlivých akordeonů byla zpracovávána prostřednictvím programu Matlab (verze R2022b) a jeho doplňkové aplikace Signal Analyzer (Signal Processing Toolbox 9.1). Použití Matlabu umožnilo vytvoření kódu přesně dle potřeb této bakalářské práce – díky tomu bylo možné zpracovat všechna naměřená data stejným způsobem a tím zajistit co nejvyšší přesnost při analýze získaných dat.

Kód programu pro zpracování spektra zvukového záznamu je celý obsažen pouze v jednom souboru s názvem `graficke_zobrazeni_spektra.m`. Základ kódu poskytl vedoucí práce MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D. a kód byl poté modifikován pro potřeby této práce. Po spuštění programu se vyvolá dialogové okno, které uživatele vybídne k výběru zvukového záznamu pro analýzu (alternativně je možné nastavit ručně, přímo v kódu, cestu k souboru, který má být analyzován, např. pokud by bylo žádoucí vícekrát analyzovat tentýž soubor). Skript dovolí vybrat pouze jediný soubor, a to audio ve formátu `.wav`. Po zvolení souboru se zvukovým záznamem dojde k jeho analýze v těchto krocích:

1. Zjištění délky zvukového záznamu,
2. vytvoření Hannova okna s délkou odpovídající délce záznamu,
3. vynásobení dat zvukového záznamu vytvořeným Hannovým oknem,
4. provedení FFT získaných dat,
5. získání absolutní hodnoty z koeficientů FFT,
6. převedení do logaritmických jednotek (dB) pro vynesení na Y osu,
7. vykreslení samotného grafu s nastavenými popisy os, nadpisu ad.

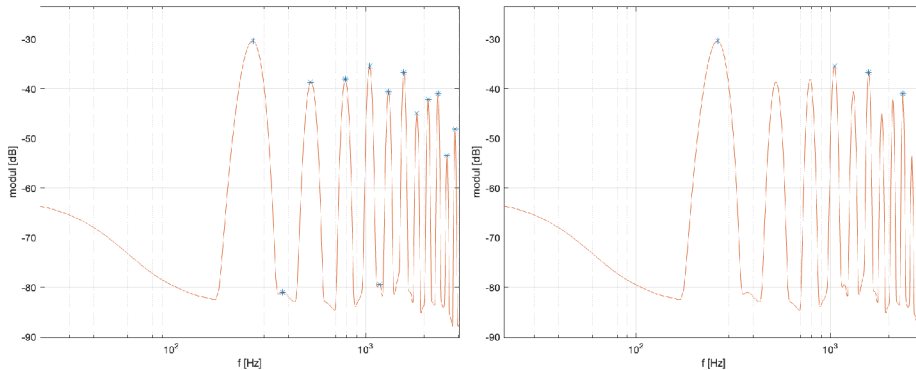
Vygenerovaný graf lze poté uložit v různých formátech dle potřeby.

Pomocí programu pro zpracování zvukového spektra signálu je také možné, v případě potřeby, vygenerovat graf časového průběhu samotného signálu. To provádí podprogram `casovy_prubeh.m`, v němž po načtení samotného zvukového souboru dojde k převedení úrovní zvukového signálu na logaritmickou jednotku dBFS, je vytvořena časová základna na základě vzorkovací frekvence daného souboru a tyto hodnoty jsou poté zobrazeny do grafu.

Pro zjištění směrovosti a následné vygenerování grafu slouží program, který se skládá z několika podprogramů. Je částečně přejat z [9] a následně upraven pro potřeby této práce. Hlavní program `main.m` slouží k zadání cesty k souborům (devíti zvukovým záznamům), z nichž bude vygenerovaný graf směrovosti a postupně volá další podprogramy, které provádí potřebné kroky. Pro spuštění programu je třeba zadat příkaz `main('fname', mpd)`, kde `fname` je cesta k adresáři, v němž jsou záznamy uloženy a `mpd` je zkratka pro „minimal peak distance“ – nejmenší vzdálenost peaků. Jedná se o číslo, které v jednotkách Hertz udává vzdálenost mezi 1. a 2. har-

monickou složkou – je tedy třeba klást důraz na správnou hodnotu, jelikož tato se liší u každého tónu (pokud bude měřeným tónem $a^1 = 440$ Hz, jako **mpd** bude zvolena cca 420 Hz, u tónu $c^1 = 261,63$ Hz to bude cca 250 Hz). Správně zvolená **mpd** je nezbytná pro korektnost následné směrové analýzy, pokud by totiž nebyla zvolena správně, program bude do vyzařovaného výkonu určitým směrem započítávat i zvuky, které nejsou samotným tónem (např. ruchy, šumy atd.).

Po zadání cesty a nejmenší vzdálenosti peaků dojde ke zjištění, počtu souborů ve formátu **.wav** a vyvolání podprogramu ze souboru **nacteniZvukovehoZaznamu.m**. Ten načte všechny audiosoubory ve složce a uloží jejich data a vzorkovací frekvence do proměnných. Zjištěná data jsou poté předány dalšímu podprogramu, který se nachází v souboru **zpracovaniZvukovehoZaznamu.m**. Zde jsou, zejména pomocí Signal Processing Toolbox, zjištěny peaky (tedy harmonické složky) v jednotlivých souborech a jejich výkony – ty jsou následně převedeny do decibelů. Také je možné zde zavolat kód programu ze souboru **vykresleniPeaku.m**, který vykreslí 9 grafů (pro každý zvukový záznam jeden), které je možné použít pro kontrolu správnosti zvoleného **mpd**. Vygenerované grafy zobrazují spektrum každého mikrofonu a body, které jsou zaznamenány jako peaky a budou následně použity jako data pro graf směrovosti. Při nesprávné volbě **mpd** jsou vidět vyznačené body mimo harmonické složky, viz obr. 3.1.

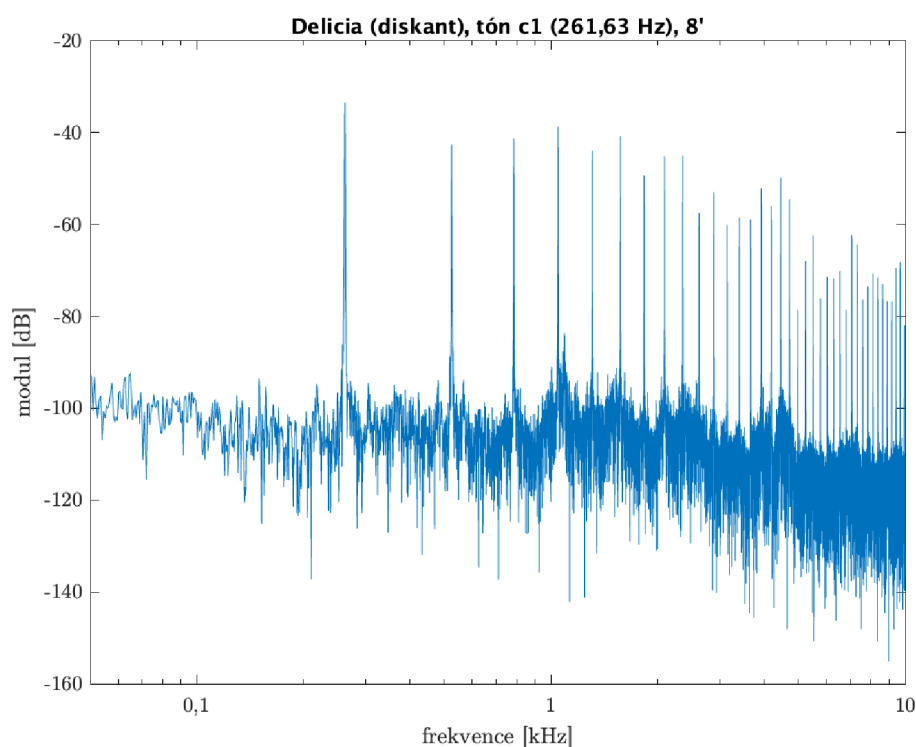


Obr. 3.1: Kontrolní vykreslení peaků při nesprávné volbě **mpd** (vlevo příliš nízké **mpd**, vpravo příliš vysoké **mpd**)

Zpracovaná data jsou poté předána do posledního podprogramu, který se nachází v souboru **vykresleniPolarPlotu.m**. Ten pracuje s velikostmi modulů peaků v dB a jejich počtem, tedy počtem mikrofonů. Je zde definována podoba výsledného grafu směrovosti, úhly a jednotlivé body, na něž jsou vykresleny zjištěné hodnoty peaků, tyto body jsou poté spojeny přímkou. Podle zadané definice je tímto programem vygenerován graf, který je opět možné ukládat v různých formátech dle potřeby.

3.1 Spektrum akordeonu Delicia

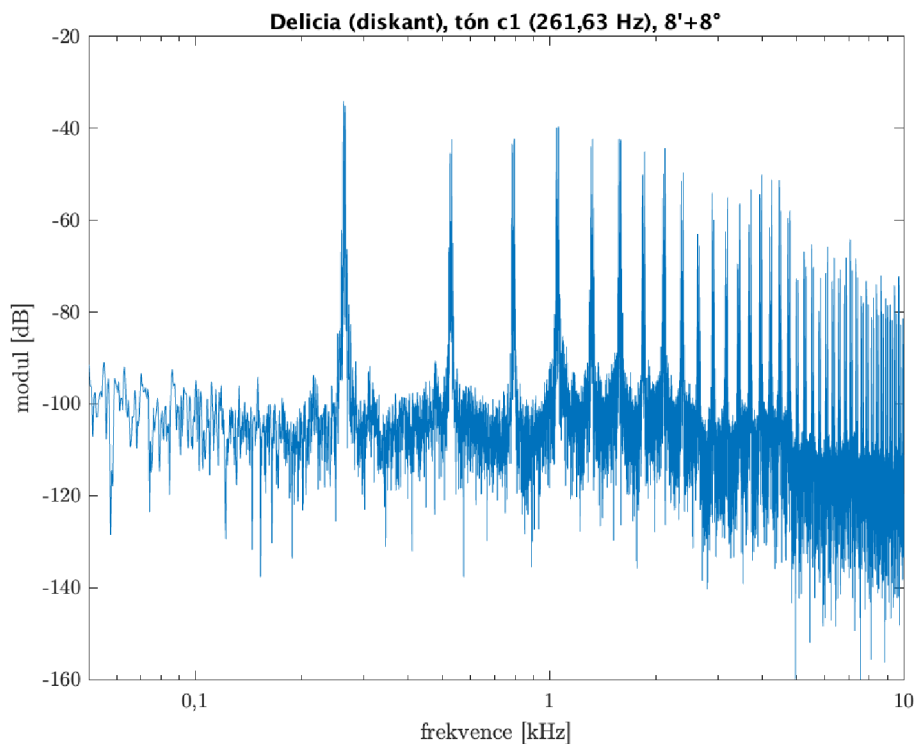
Spektrum akordeonu je bohaté na vyšší harmonické složky, dá se tedy říci, že spektrum je široké, má širokou barvu. Principem tvorby tónu nejsou přímo potlačovány žádné konkrétní vyšší alikvotní složky (např. sudé harmonické, jako u jednoplátkových dřevěných dechových nástrojů), může se ale stát, že vyšší harmonické složky jsou hlasitější, než samotný fundament, např. spojením různých rejstříků (zapojením více různých hlasů), čímž dojde ke sčítání různých harmonických složek. Dále budou tyto jevy analyzovány na konkrétně změřených tónech a jejich grafech spektra, případně budou tyto spektrální analýzy porovnávány vzájemně mezi sebou.



Obr. 3.2: Delicia – spektrum tónu c^1 , 8' rejstřík

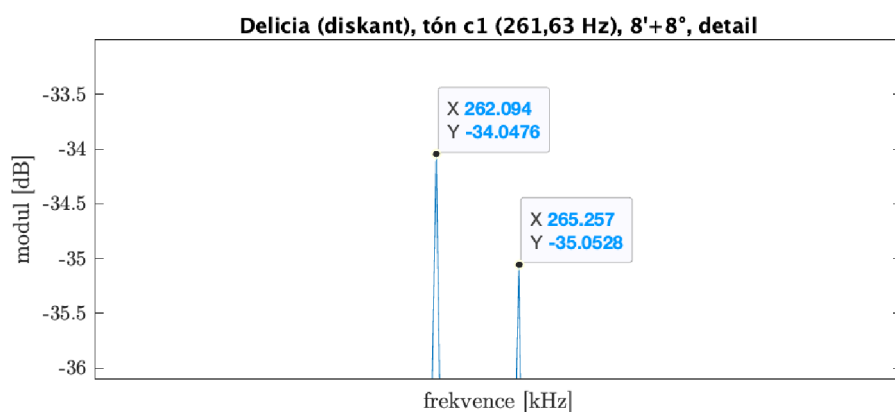
Na obr. 3.2 je zobrazeno spektrum tónu c^1 se zapojeným osmistopovým rejstříkem (8'). Dá se říci, že se jedná o nejzákladnější tón, jelikož je zapojen pouze jednoduchý, právě osmistopový rejstřík a poloha tónu je dostatečně nízká, aby se projevil vyšší harmonické složky ve slyšitelném frekvenčním rozsahu. 1. harmonická složka s frekvencí cca 262 Hz je nejsilnější složkou a hlasitost vyšších harmonických složek postupně klesají. Přesto jich lze vidět velké množství se stále velkým odstupem od šumu – to potvrzuje výše uvedené tvrzení, že spektrum akordeonu je široké.

Další analyzované spektrum na obr. 3.3 zobrazuje opět spektrum tónu c^1 , ovšem tentokrát hraného na rejstřík vrchní výchvĕv (tj. kombinace osmistopového rejstříku a mírně „nadladěného“ téhož hlasu, 8'+8°). Jednotlivé vystupující harmonické složky



Obr. 3.3: Delicia – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík

jsou na pohled širší a výraznější, než tomu bylo v případě osmistopového rejstříku. To je způsobeno již zmíněnou přítomností dvou hlasů s rozdílnou, ale velmi blízkou frekvencí. Toto spojení nezmění výslednou výšku tónu (zní tedy stále tón c^1), ale v důsledku rozdílných frekvencí vzniknou tzv. rázy, neboli zázněje. Na obrázku 3.4 je zobrazen detail fundamentu tónu – zde můžeme pozorovat právě tyto dvě odlišné složky, kde frekvence první z nich je 262 Hz a frekvence druhé je 265 Hz. Nižší frek-



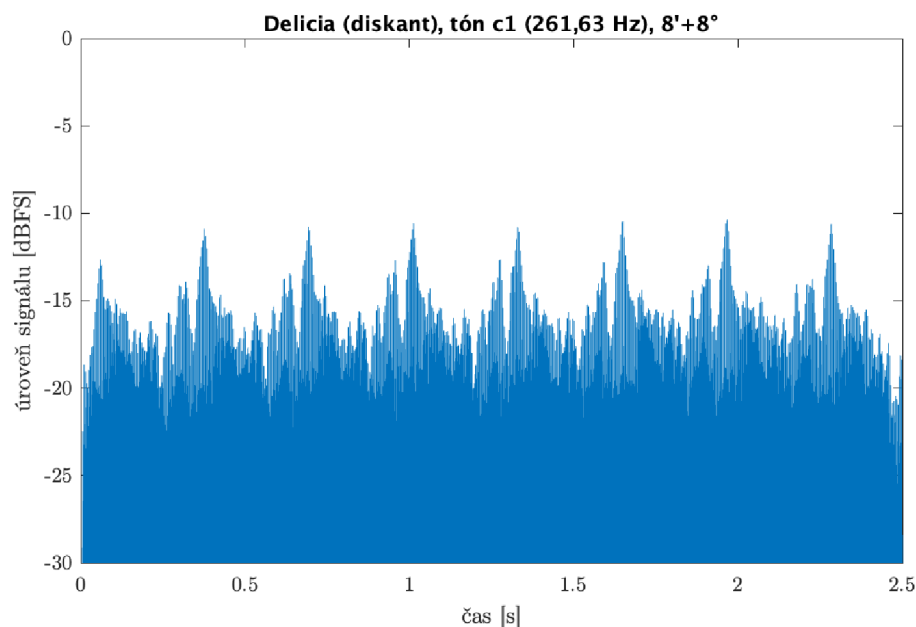
Obr. 3.4: Delicia – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík, detailní pohled

vence je frekvencí hlásku osmistopového rejstříku, vyšší frekvence je frekvencí hlásku vrchního výchvěvu – toto vyplývá z faktu, že tón $c^1 = 262$ Hz, frekvence 265 Hz tedy

musí náležet onomu nadladěnému hlasu. Tato vyšší frekvence potvrzuje tvrzení, že se jedná právě o **vrchní** výchvěv. Z rovnice pro výpočet frekvence rázů

$$f_{\text{rázy}} = f_2 - f_1 \quad (3.1)$$

lze spočítat, že frekvence rázů, které v tomto případě vzniknou, je $f_{\text{rázy}} = 265 - 262 = 3$ Hz. V důsledku těchto rázů vzniká, pro akordeony typický, efekt tremola¹. Tento efekt bývá často (nesprávně) zaměňován a označován jako vibráto², kterého je ale u akordeonu z principu tvorby tónu nemožné docílit (tón je sice možné do určité míry „ohýbat“ a měnit jeho správnou – naladěnou – výšku vlivem nedokonalostí nástroje, např. vytvořením velmi malého proudu vzduchu, který rozkmitává hlásky, stále se ale nejedná o vibráto a není spojeno s odlišnou frekvencí dvou hlasů). Že k efektu tremola opravdu dochází je patrné z obr. 3.5, na němž je zobrazena závislost úrovně signálu tónu c^1 na čase. Zde můžeme vidět periodicky se opakující maxima a minima této hodnoty, a to právě třikrát během sekundy (frekvence rázů je 3 Hz).



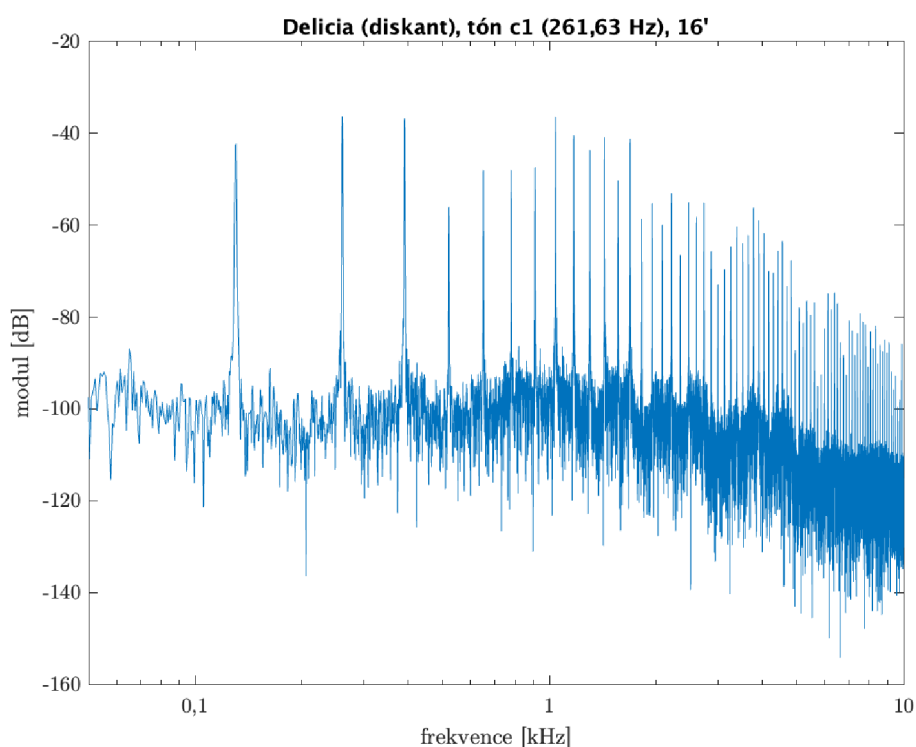
Obr. 3.5: Delicia – časový průběh tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík

V případě, že je tón c^1 hrán pouze na šestnáctistopový rejstřík ($16'$), reálná frekvence se posune o celou oktávu dolů – tedy dojde k přeladění celého diskantu (tímto vzniklý rozsah je $H-c^2$). Spektrum tohoto spojení tónu a rejstříku je zobrazeno na obr. 3.6. Fundament tónu má frekvenci cca 130,8 Hz a jelikož zní tón

¹Tremolo je efekt tzv. amplitudové modulace, kdy v průběhu času je periodicky měněna amplituda nosného signálu – v tomto případě to znamená, že **hlasitost** tónu se periodicky zvyšuje a snižuje.

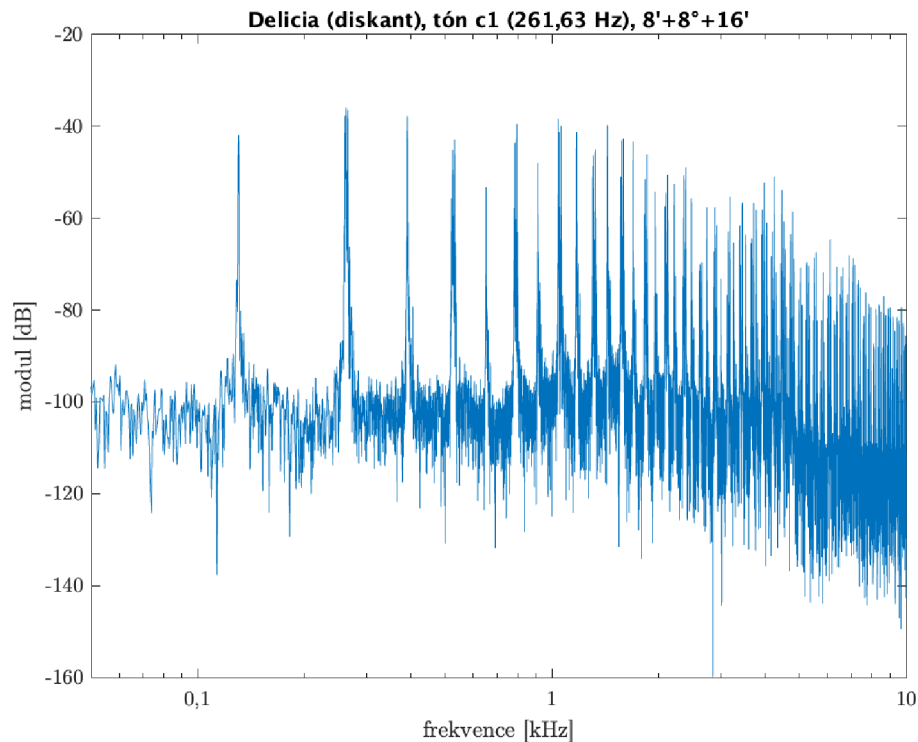
²Vibráto je efekt tzv. frekvenční modulace, kdy v průběhu času je periodicky měněna frekvence nosného signálu – v tomto případě to znamená, že **výška** tónu se periodicky zvyšuje a snižuje.

o oktávu níže, než při použití osmistopového rejstříku (8'), celkové spektrum obsahuje více slyšitelných harmonických složek a je tedy ještě širší. V grafu můžeme vidět, že 1. harmonická složka tónu je slabší, než 2. a 3. harmonická složka, dokonce až 8. harmonická složka je téměř stejně hlasitá, jako tato 2. a 3. Teprve na 14. harmonické složce začíná docházet k výraznějšímu poklesu, což je rozdílné oproti osmistopovému rejstříku (8'), kde k poklesu postupně docházelo již od 1. harmonické složky. Celkové spektrum je tedy bohatší, jelikož je však posunuto o oktávu níže, vyšší frekvence (asi 4 kHz a výše) již nejsou ve spektru tolik zastoupeny, z čehož vyplývá kulatější a méně průrazný tón.



Obr. 3.6: Delicia – spektrum tónu c^1 , 16' rejstřík

Čtvrtým měřeným rejstříkem je spojení vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku ($8'+8'+16'$). Spektrum tónu c^1 s tímto rejstříkem je vidět na obr. 3.7. Na první pohled zde může být pozorováno nejhustší spektrum ze všech předešlých grafů, u některých harmonických složek také jejich „výraznost“ a „šířka“ v grafu. Toto je způsobeno právě přítomností tří různých hlasů, které nejsou (a ani nemají/nemohou být) naladěny zcela přesně na stejné frekvence. Nejnížší, 1. harmonická složka, má opět frekvenci cca 130,8 Hz a je zde zastoupena vlivem zapojení šestnáctistopového rejstříku (16'). U 2. harmonické složky (261,6 Hz) je velmi výrazně patrné její zvýraznění a rozšíření v grafu – je totiž složena z 2. harmonické složky šestnáctistopového rejstříku (16') a z 1. harmonických složek vrchního výchvěvu ($8'+8'$).



Obr. 3.7: Delicia – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík

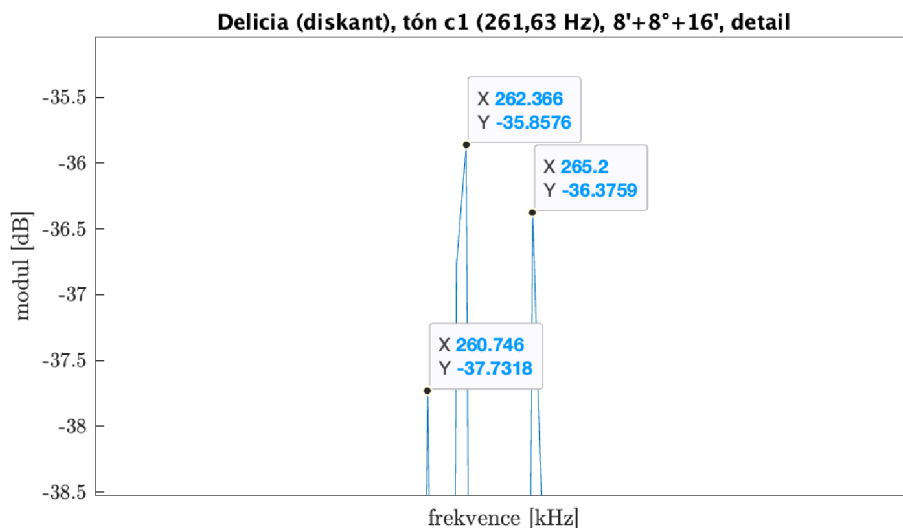
Teoretickým výpočtem by tyto složky měly mít frekvenci

$$f_{16'} = 130,8 \cdot 2 = 261,6 \text{ Hz}, f_{8'} = 261,6 \text{ Hz}, f_{8^\circ} = 264,6 \text{ Hz}.$$

Při detailním pohledu na 2. harmonickou složku na obrázku 3.8 je ale zřejmé, že se tyto frekvence mírně liší – jejich reálné hodnoty jsou

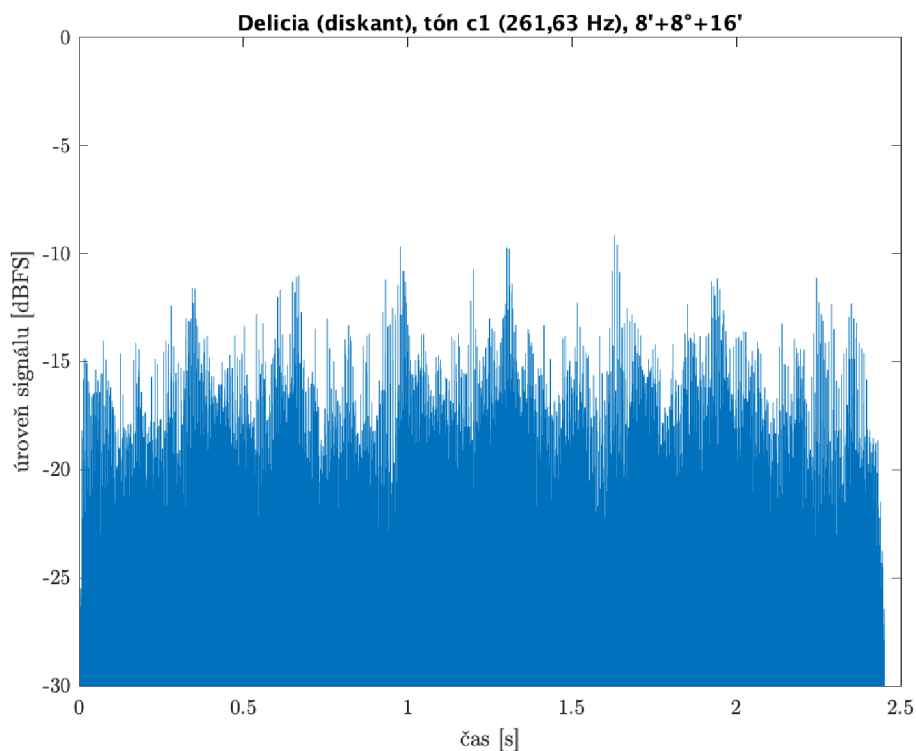
$$f_{16'} = 260,75 \text{ Hz}, f_{8'} = 262,37 \text{ Hz}, f_{8^\circ} = 265,20 \text{ Hz}.$$

Tyto rozdíly opět ve výsledném tónu způsobují rázy, tentokrát však ve větším množství, jelikož se vzájemně ovlivňují všechny tyto harmonické složky. Z důvodu většího množství rázů už efekt tremola není na obr. 3.9 s časovým průběhem tónu tak zřejmý a markantní. Rozdíly frekvencí harmonických složek jsou, mimo jiné, způsobeny nepřesným naladěním hlásku, resp. postupnou změnou jeho ladění za určitý čas. Tyto nepoměry mohou poté posluchači způsobovat subjektivní vjemy „nepříjemného“ tónu a „rozladěnosti“ nástroje. Tyto pocity jsou vyvolány zejména neceločíselnými poměry mezi frekvencemi jednotlivých harmonických složek, které lidskému uchu, potažmo mozku, zní nepříjemně a nevlídně. Na druhé straně je možné pomocí této kombinace rejstříku hustě zaplnit poměrně široké spektrum a tím dosáhnout velmi průrazného a přítomného tónu, který se relativně snadno prosadí mezi zvuky jiných



Obr. 3.8: Delicia – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík, detailní pohled

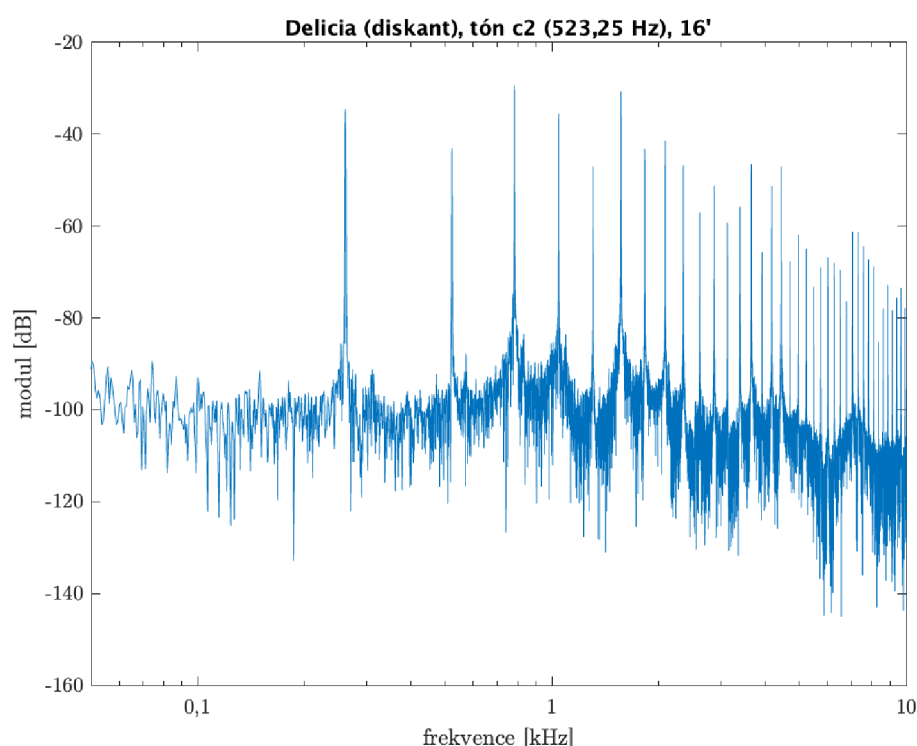
nástrojů, např. v situacích, kdy není žádoucí tón s velkou hlasitostí, ale je vyžadována jeho výrazná přítomnost a dobrá srozumitelnost ve shluku tónů jiných nástrojů.



Obr. 3.9: Delicia – časový průběh tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík

Spektrum tónu c^2 je zobrazeno na obr. 3.10. Tón je zde hrán s použitím šestnáctistopového rejstříku ($16'$), což opět znamená, že znějící tón je přeladěn o oktávu níže

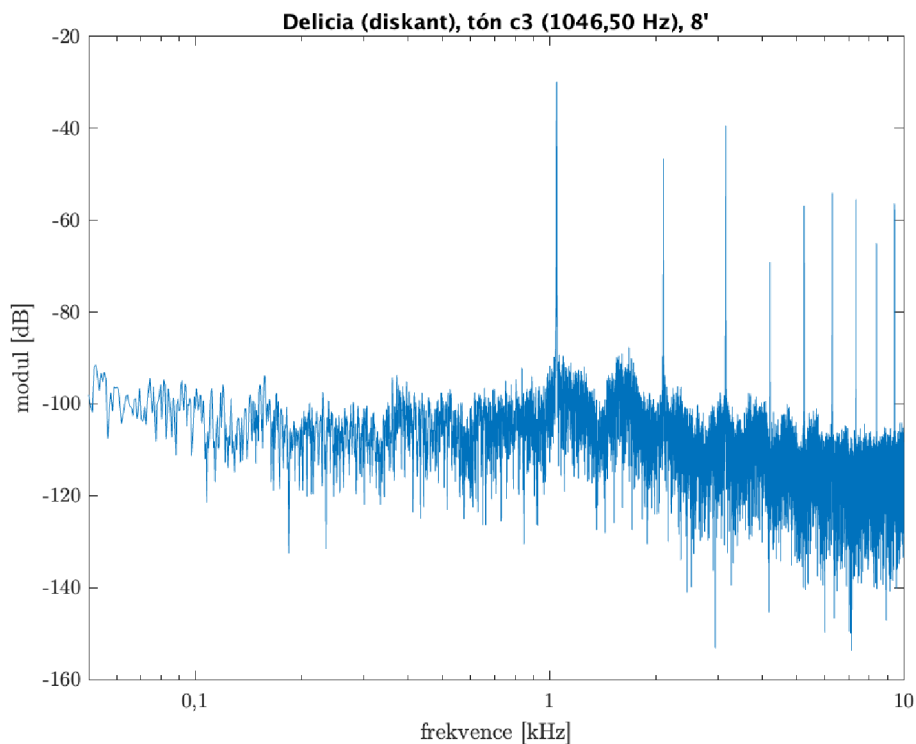
(zní c^1). Toto přeladění pomocí rejstříků způsobí, že co do výšky zní stejný tón, jako v případě tónu c^1 na osmistopový rejstřík (8'). Spektrum se ale na pohled liší – je zde výraznější zejména 3. a 5. harmonická složka, která svojí hlasitostí vystupuje nad 1. harmonickou složku (v případě osmistopového rejstříku klesaly hodnoty jednotlivých harmonických složek hned od 1. složky tohoto tónu, viz obr. 3.2). Tyto rozdíly nejsou zanedbatelné a mají vliv na výsledný tón – jeho barvu a vjem, který vyvolává. Vlivem výraznějších lichých složek má tón dutější a kulatější zvuk. Z tohoto porovnání plyne, že není možné zaměňovat různě vysoké tóny přeladěné pomocí oktávových rejstříků – např. právě zaměnění tónu c^1 na osmistopový rejstřík (8') za tón c^2 na šestnáctistopový rejstřík (16'). I přesto, že teoreticky mají tyto tóny stejnou výšku, resp. frekvenci fundamentu, barva tónu a jeho charakter je jiný.



Obr. 3.10: Delicia – spektrum tónu c^2 , 16' rejstřík

Nejvyšší měřený tón byl tón c^3 při použití osmistopového rejstříku (8'). Jeho spektrum je zobrazeno na obr. 3.11 a můžeme zde vidět, že vzhledem k výšce tónu už je toto spektrum poměrně úzké a obsahuje méně harmonických složek ve slyšitelném pásmu, než předchozí tóny. Hlasitosti jednotlivých harmonických složek také klesají výrazněji, což ještě podporuje subjektivní „tenkost“ tónu.

Nejnižším tónem, který lze na tento akordeon zahrát je tón C, a to v basové části. Spektrum tohoto tónu lze vidět na obr. 3.12, kde tento tón byl hrán na plénum, tedy se zapojením všech 4 oktávových spřažení. Na tomto grafu můžeme vidět spektrum velmi bohaté na vyšší harmonické složky, a to zejména na sudé. To je způsobeno

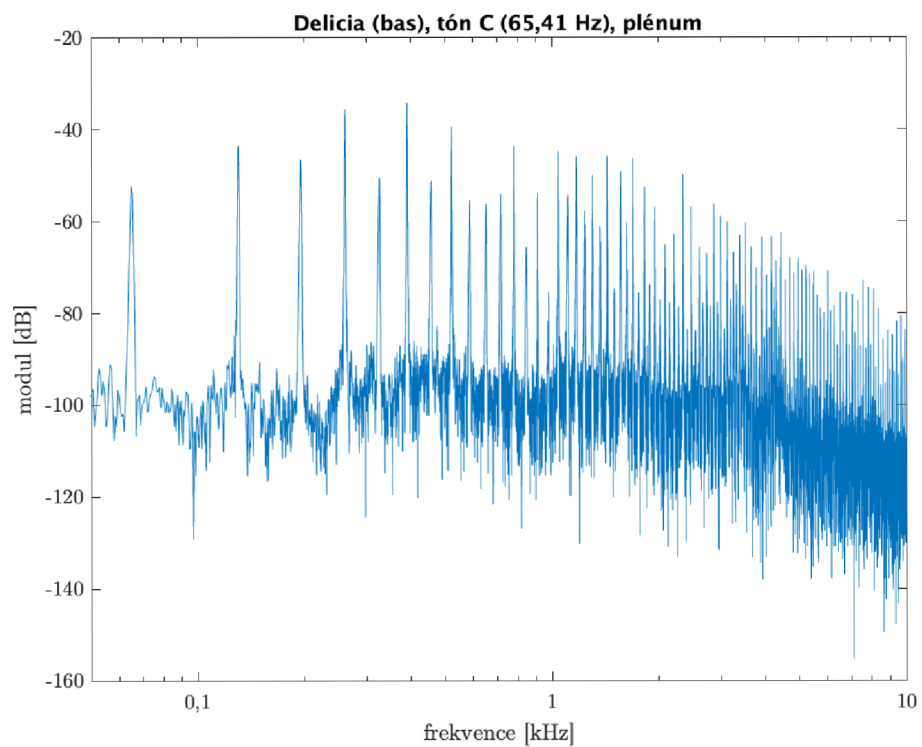


Obr. 3.11: Delicia – spektrum tónu c^3 , 8' rejstřík

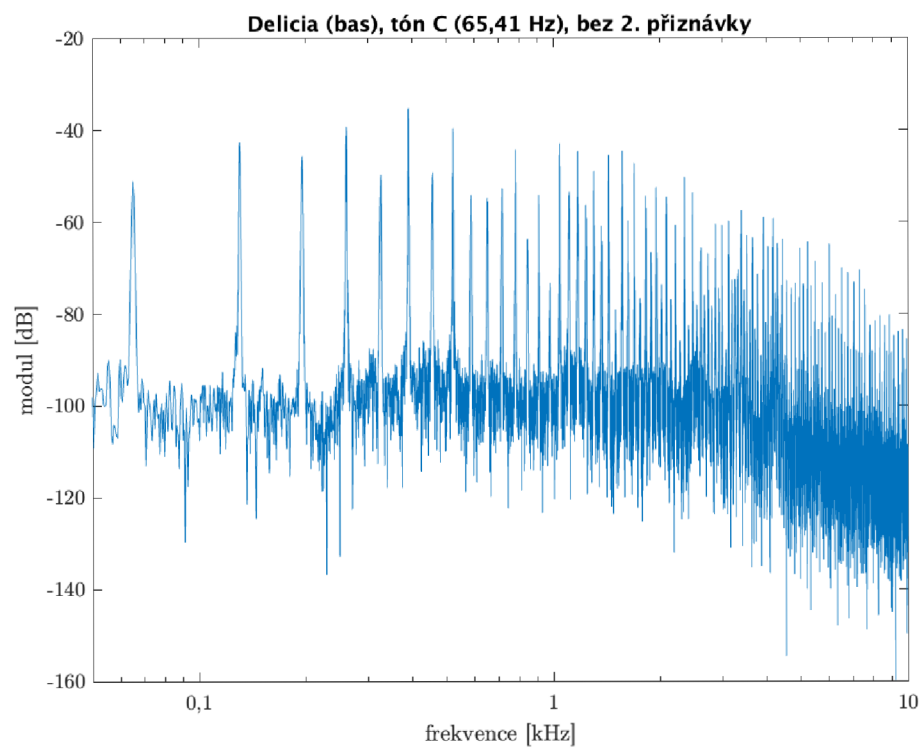
hlavně přítomností 4 hlasů nad sebou, v oktávových intervalech, jejichž jednotlivé hodnoty harmonických složek se sčítají. Výrazná 4. harmonická složka je tedy složena ze znějících hlasů:

- základního basu – 4. harmonická,
- dvojbasu – 2. harmonická,
- 1. příznávky – 1. harmonická.

Při porovnání se spektrem téhož tónu, ale hraného s vypnutým nejvyšším oktávovým spřažením (tedy bez 2. příznávky) na obr. 3.13 zjistíme, že se na pohled tyto spektra téměř vůbec neliší, přesto, že zde není přímo zastoupen nejvyšší hlas 2. příznávky (v případě tónu C je frekvence tónu produkovaného hlasem 2. příznávky cca 523,2 Hz, což odpovídá 8. harmonické složce ve spektru na obr. 3.12 a 3.13). To je způsobeno vyššími harmonickými složkami 3 níže naladěných oktávových spřažení (základní bas, dvojbas, 1. příznávka). Součty harmonických složek z těchto tří nižších hlasů na frekvenci, která odpovídá nejvyššímu hlasu 2. příznávky jsou tak výrazné, že odpojení nejvyššího oktávového spřažení nemá při hraní základních tónů téměř žádný vliv na spektrum tónu.



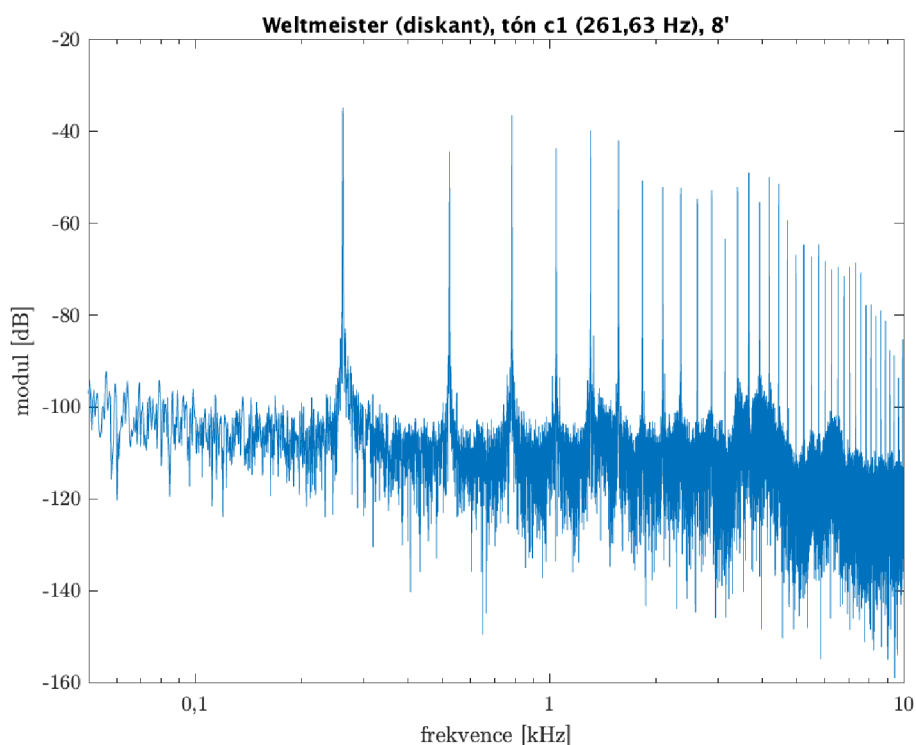
Obr. 3.12: Delicia – spektrum tónu C, plénium



Obr. 3.13: Delicia – spektrum tónu C, bez 2. přiznávky

3.2 Spektrum akordeonu Weltmeister

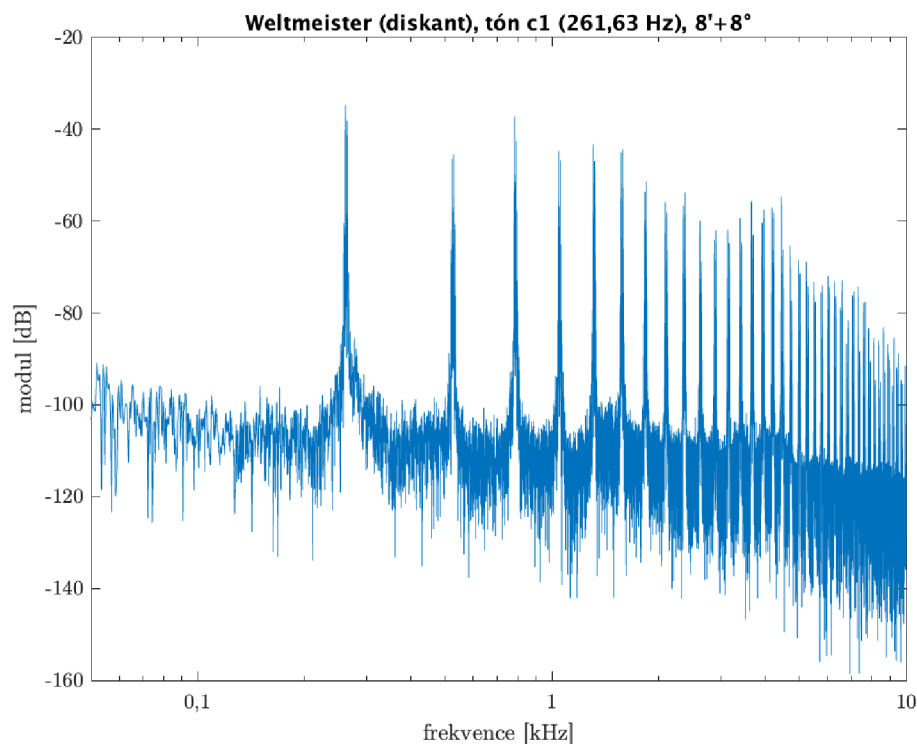
Dalším měřeným akordeonem byl Weltmeister Caprice 120. Jedná se o novější a modernější nástroj při porovnání s předcházejícím akordeonem značky Delicia. Jak bylo zmiňováno v teoretickém úvodu – některé akordeony mají osmistopový rejstřík (8') uložený v šachtové ozvučnici, což je případ právě tohoto nástroje. To zda a jaký vliv ozvučnice má, bude mimo jiné zkoumáno v této podkapitole. Poznatky budou také porovnávány s výsledky, které byly popsány v předchozí podkapitole věnující se spektru akordeonu Delicia.



Obr. 3.14: Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 8' rejstřík

Jako nejzákladnější bude opět považován tón c^1 při použití osmistopového rejstříku (8'). Na obr. 3.14 je zobrazeno spektrum tohoto tónu a je v něm vidět nejdominantnější fundament tónu. Přibližně do 6. harmonické složky je spektrum vyrovnané, klesá pouze minimálně. Dále vyšší harmonické složky výrazně klesají a od 16. harmonické složky lze vidět výrazný útlum těchto částí spektra, na frekvenci 10 kHz je již přítomnost těchto složek, relativně vůči fundamentu, zanedbatelná. Při porovnání se stejným tónem u akordeonu Delicia (obr. 3.2) lze pozorovat, že útlum vyšších harmonických je v tomto případě mnohem výraznější. To je způsobeno právě umístěním hlasu osmistopového rejstříku (8') do šachtové ozvučnice, která svou konstrukcí (měry, tvarem, materiálem, ...) potlačuje tyto části spektra, ve kterých by se mohly objevovat složky v neharmonických poměrech, disonantní složky aj. Ve výsledném

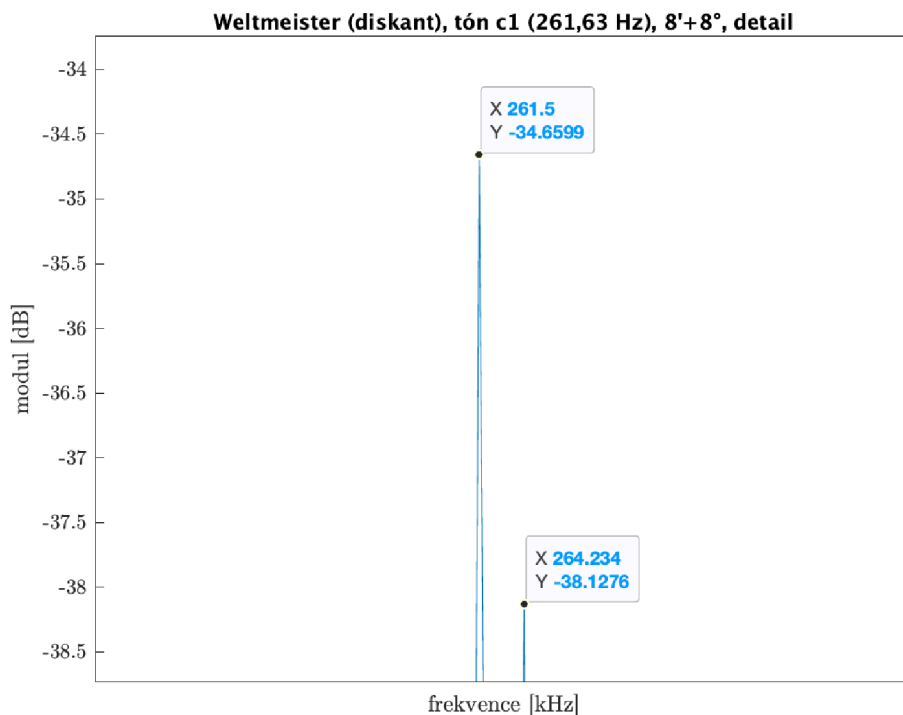
tónu to způsobí příjemnější výraz, jemnější a kulatější zvuk a také napomůže spojení se zvuky ostatních hudebních nástrojů při zvukovém mixu apod.



Obr. 3.15: Weltmeister – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík

Jak ukazuje graf na obr. 3.15, použití rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$) způsobilo optické rozšíření jednotlivých harmonických složek tohoto spektra – v těsné blízkosti se nacházejí dvě složky s blízkou frekvencí. V oblasti nejvyšších frekvencí zobrazovaných v grafu je opět vidět velký útlum a také lze pozorovat právě toto složení spektra ze dvou různých hlasů. Harmonické složky s nižší úrovní jsou složkami nadladěného hlasu vrchního výchvěvu (8°), u nich lze pozorovat ještě větší potlačení na vysokých frekvencích, než tomu bylo u hlasu samotného osmistopového rejstříku ($8'$). Toto je z důvodu, aby se při použití rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$) nezačaly objevovat vysoké harmonické či disonantní složky, které mají základ v nadladěném hlase. Spojení **nepřítomnosti** vysokých harmonických složek **základního hlasu** ($8'$) a **přítomnosti** vysokých harmonických složek **nadladěného hlasu** by způsobilo ještě výraznější disonanci a bylo by lidskému uchu mnohem více nepříjemné, než kdyby se ve výsledném tónu nacházely vysoké harmonické složky obou hlasů. Z grafu a výše zmíněných poznatků lze tedy usoudit, že v šachtové ozvučnici je umístěn jak hlas osmistopového rejstříku ($8'$), tak i hlas vrchního výchvěvu (8°).

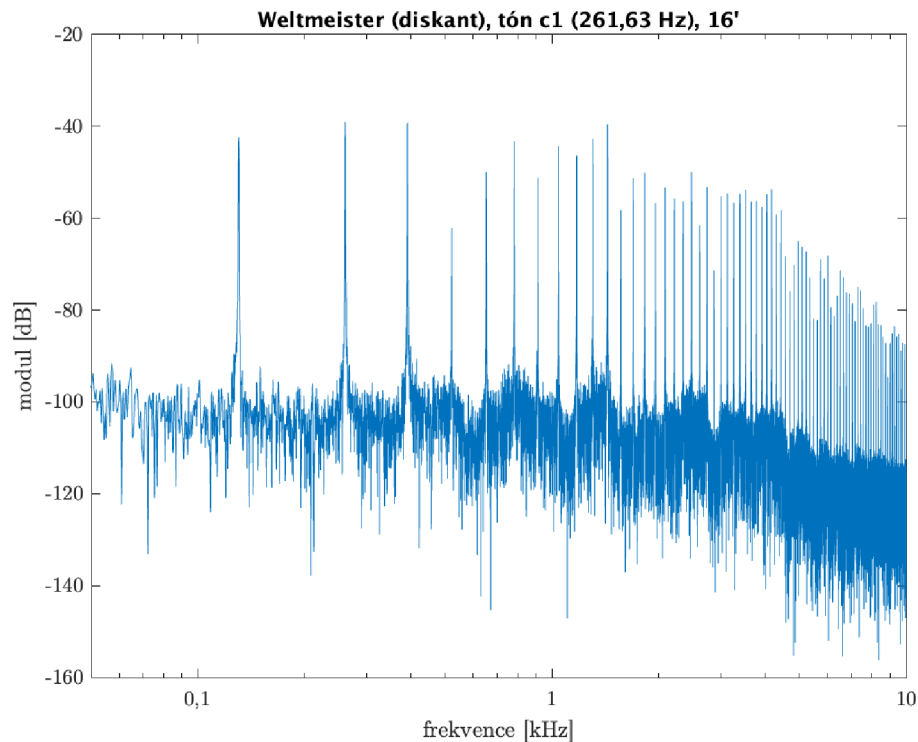
Graf na obr. 3.16 je detailním pohledem na 1. harmonické složky hlasu osmistopového rejstříku ($8'$) a vrchního výchvěvu (8°). Lze vidět, že akordeon je přesněji naladěn – frekvence základního hlasu je 261,5 Hz, což je oproti teoretické frekvenci



Obr. 3.16: Weltmeister – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík, detailní pohled

261,63 Hz rozdíl pouze 0,13 Hz (pro porovnání u akordeonu Delicia – obr. 3.4 – tento rozdíl činil téměř 0,50 Hz). Hlas vrchního výchvěvu (8°) je naladěn na frekvenci 264,23 Hz, což výpočtem jednoduchého rozdílu těchto dvou frekvencí dává frekvenci vzniklých rázů – $f_{\text{rázy}} = 264,23 - 261,5 = 2,74$ Hz. To je mírně nižší frekvence, než teoretická frekvence těchto rázů, která by měla být 3 Hz. Tento fakt sám o sobě nemá nijak negativní vliv na tón, či jeho kvalitu, problém by ale mohl vzniknout v případě, že by hrálo více akordeonů zároveň a každý z nich by měl jinou frekvenci rázů, které vzniknou při použití rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$). Tím by mohl být právě např. akordeon Delicia, který má frekvenci těchto rázů téměř 3,2 Hz (viz obr. 3.4). Tato rozdílná frekvence rázů může způsobit další rázy. V podstatě by se jednalo o rázy tónů, které jsou složeny z rázů jiných tónů – ovšem s mnohem nižší frekvencí (v tomto případě cca $f_{\text{rázy}} = 3,2 - 2,7 = 0,5$ Hz).

Jak již bylo zmiňováno – použití šestnáctistopového rejstříku ($16'$) způsobí přeladění tónu o oktávu níže, při hraní tónu $c^1 = 261,63$ Hz tedy zní tón $c = 130,81$ Hz. Spektrum tohoto tónu zobrazuje graf na obr. 3.17 a lze pozorovat výrazně potlačenou 4. harmonickou složku, ovšem ostatní harmonické složky až po 11. jsou velmi výrazné a srovnatelně zastoupené ve spektru, jako první tři harmonické složky. Celkově je spektrum široké a na vyšších frekvencích méně potlačené, než tomu bylo při použití osmistopového rejstříku ($8'$) (obr. 3.14), a to i přesto, že fundament tónu leží o celou oktávu níže, než ve výše zmiňovaném případě osmistopového rejstříku ($8'$).

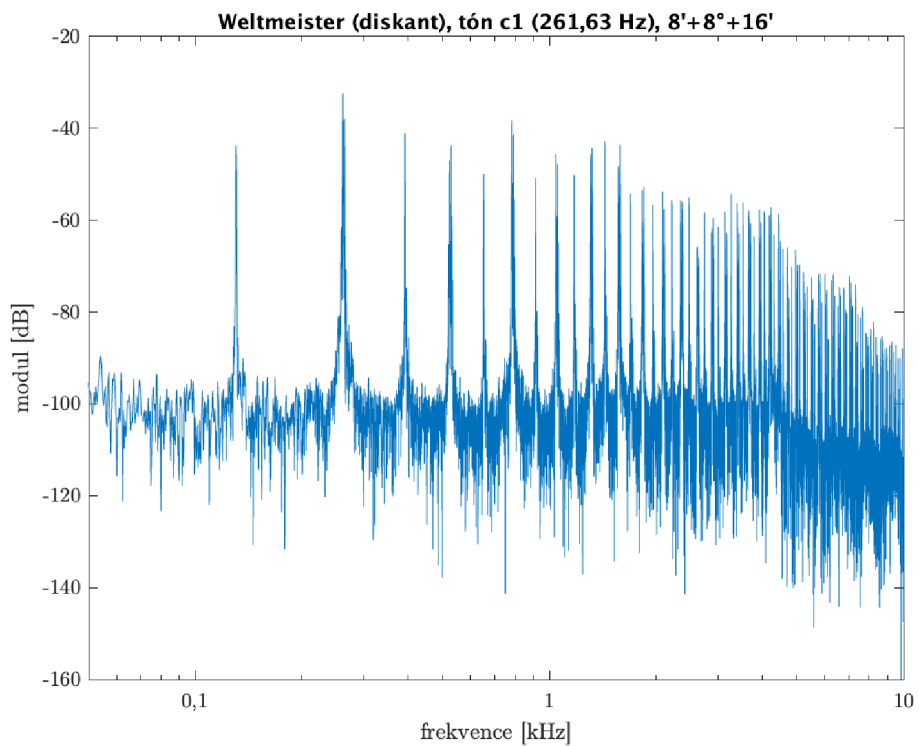


Obr. 3.17: Weltmeister – spektrum tónu c^1 , 16' rejstřík

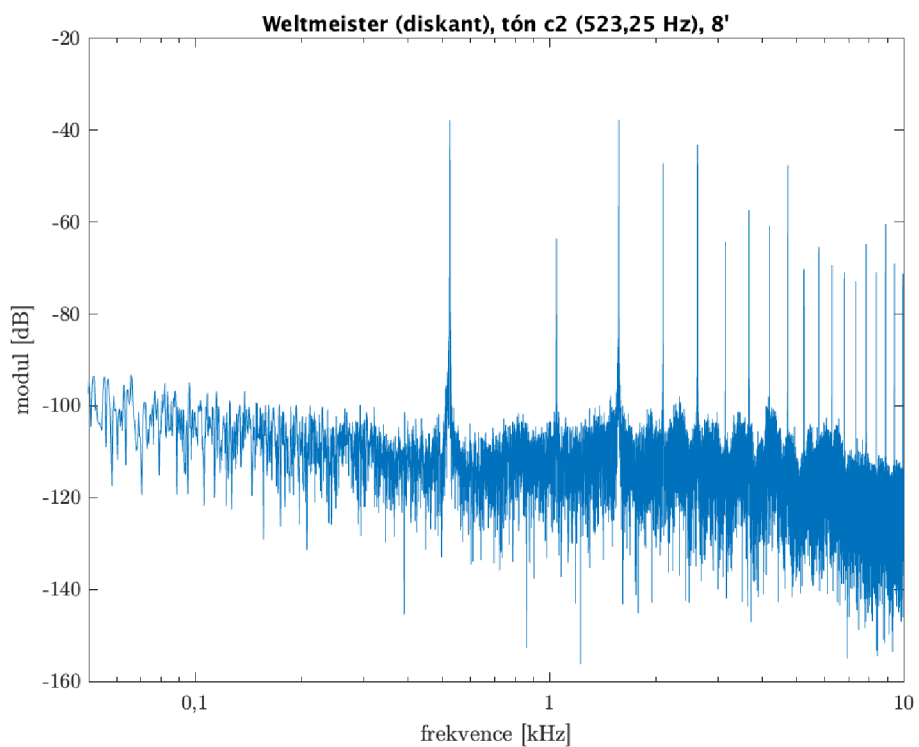
Tato skutečnost poukazuje na fakt, že do šachtové ozvučnice je pro potlačení vyšších harmonických složek umístován pouze osmistopový rejstřík a vrchní výchvěv ($8'$, 8°), šestnáctistopový ($16'$) pak již nikoliv. Vlivem této konstrukce jsou vyšší harmonické složky ve spektru hlasu šestnáctistopového rejstříku ($16'$) více přítomny a tón má tedy sytější spektrum, průraznější charakter a mírně vyšší ostrost.

Použití kombinace vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku ($8'+8'+16'$) zachová podobný tvar a šířku spektra tónu, pouze některé harmonické složky jsou v grafu, který lze vidět na obr. 3.18, „výraznější“ než ostatní. To je opět způsobeno, jako například u vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$), složením tónů z více hlasů s blízkými frekvencemi a následným výskytem jejich vyšších harmonických složek. Kromě toho lze opět v oblasti nejvyšších zobrazených frekvencí pozorovat a rozlišit vyšší harmonické složky pocházející z hlasu šestnáctistopového rejstříku ($16'$) – ty jsou hlasitější – a harmonické složky pocházející z hlasu osmistopového rejstříku ($8'$) a vrchního výchvěvu (8°) – ty jsou v této části spektra méně hlasité. Původ tohoto jevu je v již zmiňované šachtové ozvučnici.

Graf, který se nachází na obr. 3.19 zobrazuje spektrum tónu c^2 při použití osmistopového rejstříku ($8'$). Zvláštním úkazem, který se zde vyskytuje, je výrazné potlačení druhé harmonické složky na frekvenci cca 1046,5 Hz. Tento výrazný útlum je způsoben pravděpodobně umístěním otvoru, kterým je k danému hlásku přiváděn proud vzduchu a kterým je zároveň vyzařován tón. Tento otvor se totiž nachází téměř

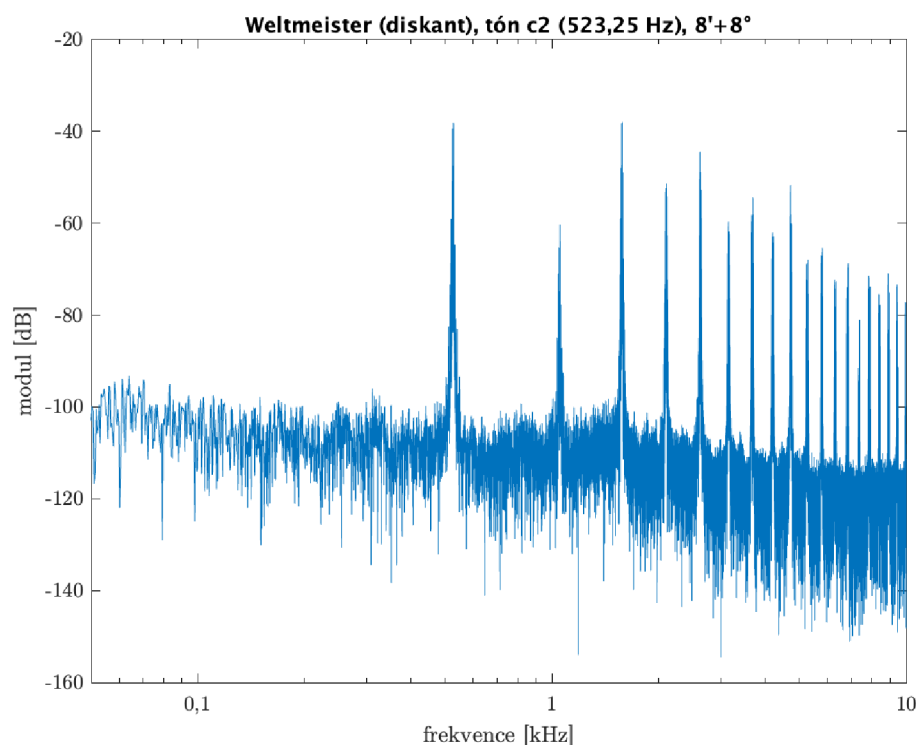


Obr. 3.18: Weltmeister – spektrum tónu c^1 , $8'+8^\circ+16'$ rejstřík



Obr. 3.19: Weltmeister – spektrum tónu c^2 , $8'$ rejstřík

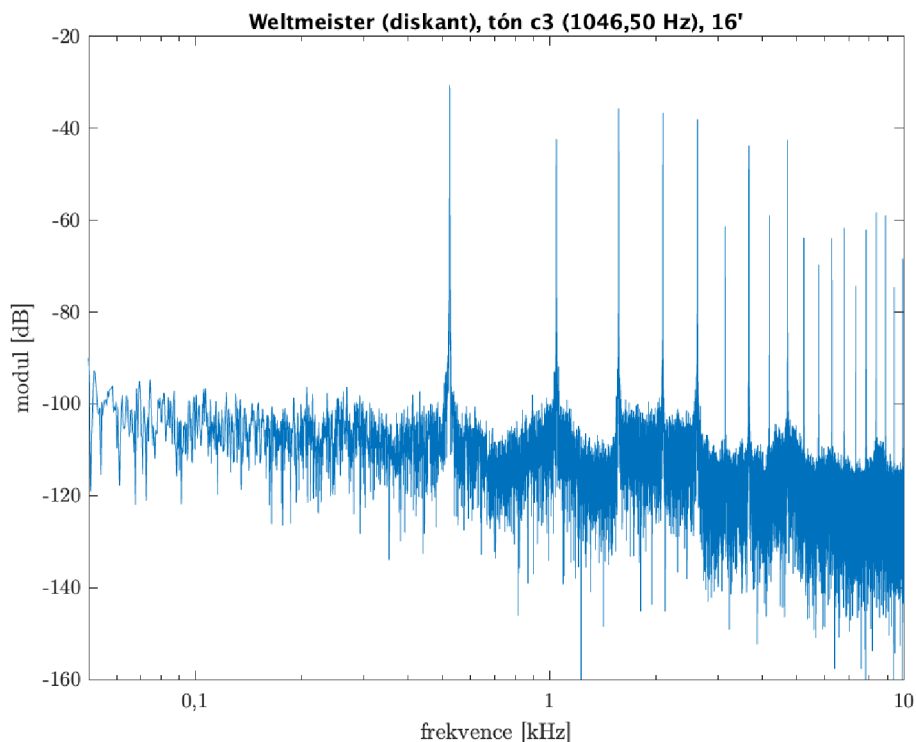
přesně ve středu nástroje a do krytu těchto otvorů je přímo před něj vložen znak (toto lze vidět na obrázku 1.13). Vlnová délka této harmonické složky je přibližně 33 cm, což by ve spojení právě se zmíněným umístěním mohlo způsobit, že okolo relativně velké překážky, nacházející se přímo před vyzařovacím otvorem, dochází k obcházení této překážky zvukem, který se na frekvenci odpovídající druhé harmonické složce, setkává v mírné protifázi, což způsobí její potlačení ve výsledném spektru.



Obr. 3.20: Weltmeister – spektrum tónu c^2 , $8'+8^\circ$ rejstřík

Spektrum tónu c^2 s použitím vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$), které se nachází na obr. 3.20 dále potvrzuje toto zdůvodnění pro potlačení druhé harmonické složky, jelikož k tomuto potlačení dojde i při zapojení hlasu pro vrchní výchvěv (8°). Díky tomu lze vyloučit, že by se jednalo o vadu jednoho z hlásků, který je používán v hlasu pro osmistopový rejstřík ($8'$). Kromě tohoto faktu lze vidět totéž, co v dříve popisovaných grafech při použití rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$) – jednotlivé harmonické složky jsou v grafu „výraznější“, a to z důvodu přítomnosti dvou blíže naladěných hlasů.

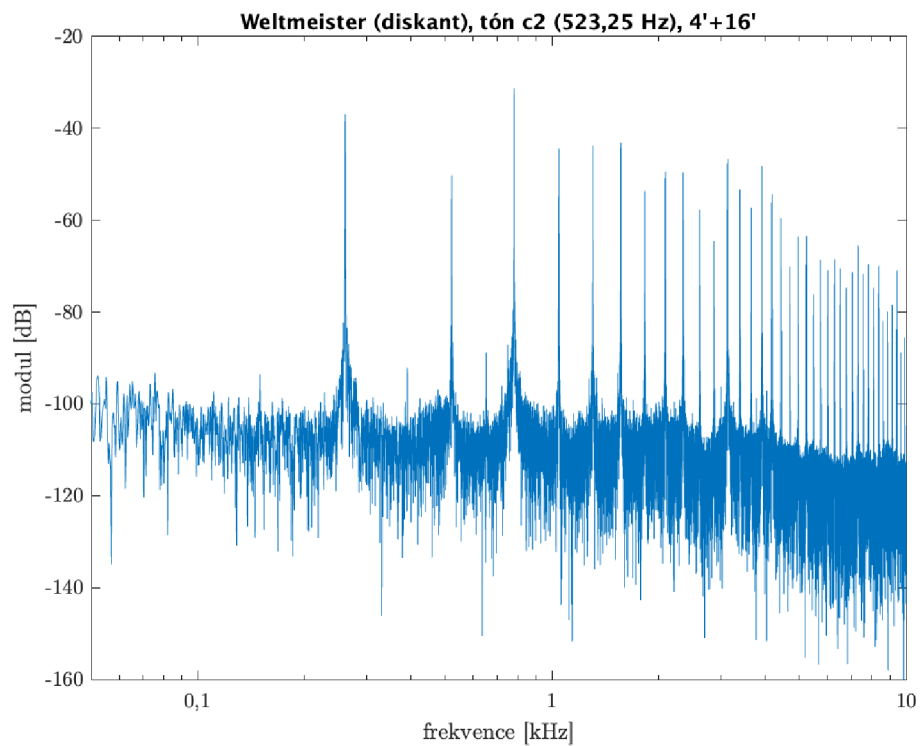
Graf na obr. 3.21 zachycující spektrum tónu c^3 s použitím šestnáctistopového rejstříku ($16'$) ukazuje spektrum tónu znějícího stejnou výškou, jako tón c^2 s použitím osmistopového rejstříku ($8'$). Jelikož ale byla stisknuta klávesa c^3 , otvor, kterým byl zvuk vyzařován se nachází v jiné části nástroje, než tomu bylo u tónu c^2 . V tomto grafu lze vidět, že 2. harmonická složka již není tak výrazně potlačena, jako tomu



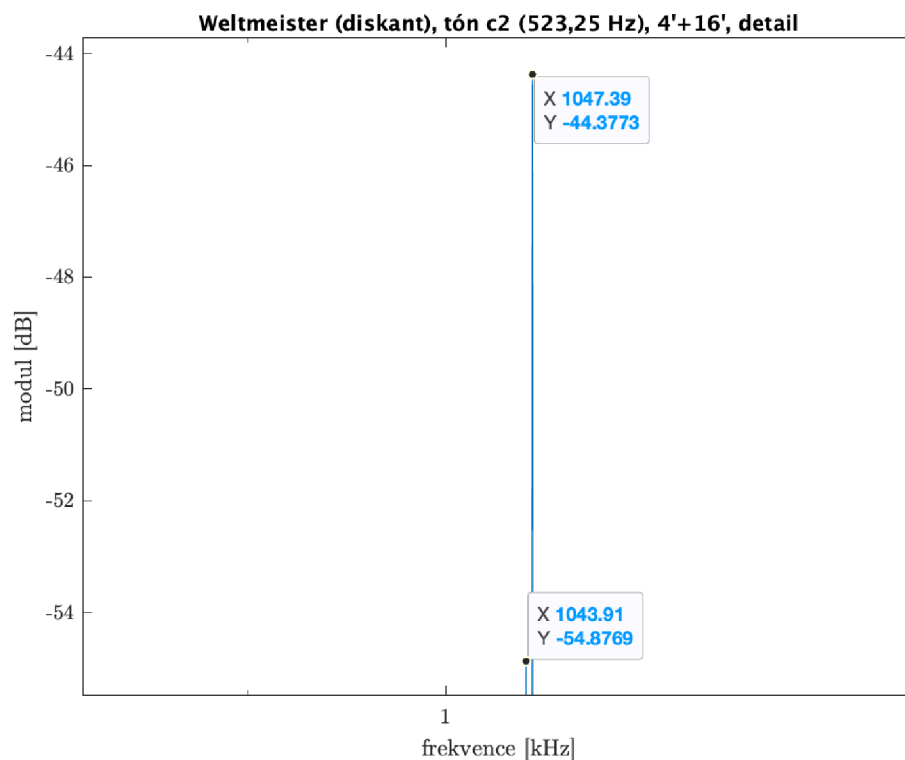
Obr. 3.21: Weltmeister – spektrum tónu c^3 , 16' rejstřík

bylo ve výše zmíněném případě tónu c^2 s osmistopovým rejstříkem (8'). Byl sice použit jiný hlas (16'), než v onom předchozím případě (8'), ale potenciální vada hlasu byla vyloučena porovnáním samotného osmitopového rejstříku s vrchním výchvěvem (obr. 3.19 a 3.20). Skutečnost, že v tomto případě (c^3 , 16') nedošlo k tak výraznému potlačení 2. harmonické složky, dále dokládá tvrzení o negativním vlivu krytu na nástroji a částečném odečtení vlny v protifázi.

Jelikož akordeon Weltmeister je čtyřhlasým nástrojem, disponuje navíc oproti akordeonu Delicia čtyřstopovým rejstříkem (4'). Tento rejstřík podobně, jako rejstřík šestnáctistopový (16'), způsobuje přeladění o oktávu, pouze v tomto případě směrem nahoru. Při stisknutí klávesy c^2 ($= 523,25$ Hz) se tedy rozezní hlásek s frekvencí 1046,5 Hz. Spektrum tónu při kombinaci tohoto hlasu a hlasu šestnáctistopového rejstříku (tedy rejstřík 4'+16') je zobrazeno v grafu na obr. 3.22. Lze vidět, že fundament tónu se nachází na frekvenci 261,63 Hz ($= c^1$), 2. a 3. harmonická složka jsou pouze celočíselnými násobky samotného fundamentu tónu a až na pozici 4. harmonické složky ($= 1046,5$ Hz) se k hlasu šestnáctistopového rejstříku (16') přidává harmonická složka vznikající vlivem přítomnosti čtyřstopového rejstříku (4'). Ještě výrazněji jsou tyto dvě složky vidět na pozici 8. harmonické složky (tedy 8. harmonická složka šestnáctistopového rejstříku (16') a 2. harmonická složka čtyřstopového rejstříku (4')), kde rozdíl ve frekvenci, mezi jednotlivými složkami, je ještě výraznější. Na obr. 3.23 lze vidět detailní pohled na zmíněnou 4. harmonickou složku a také

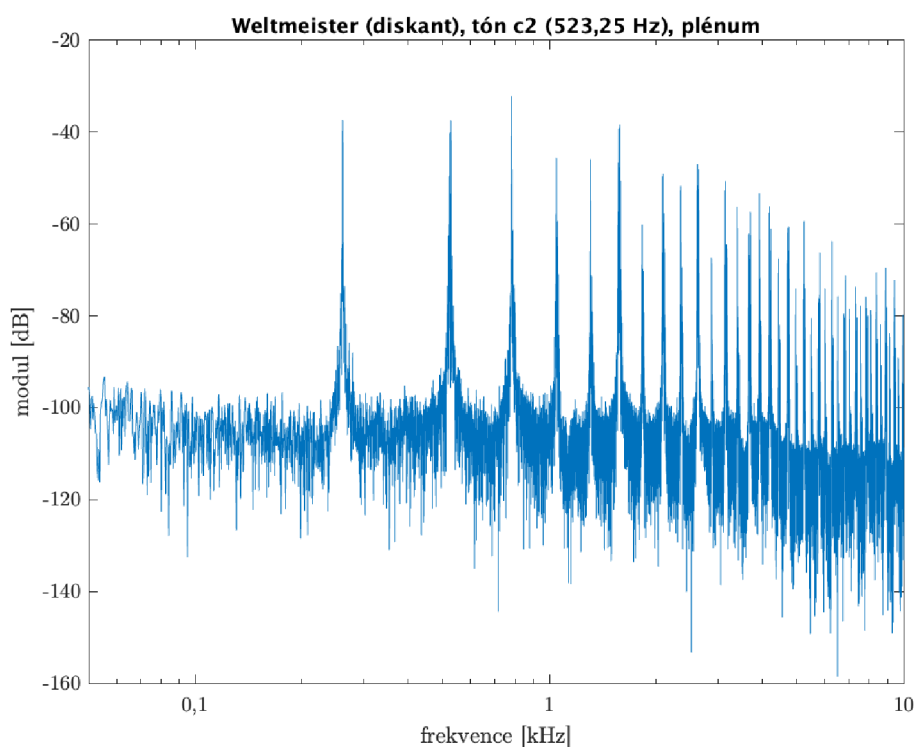


Obr. 3.22: Weltmeister – spektrum tónu c^2 , 4'+16' rejstřík



Obr. 3.23: Weltmeister – spektrum tónu c^2 , 4'+16' rejstřík, detailní pohled

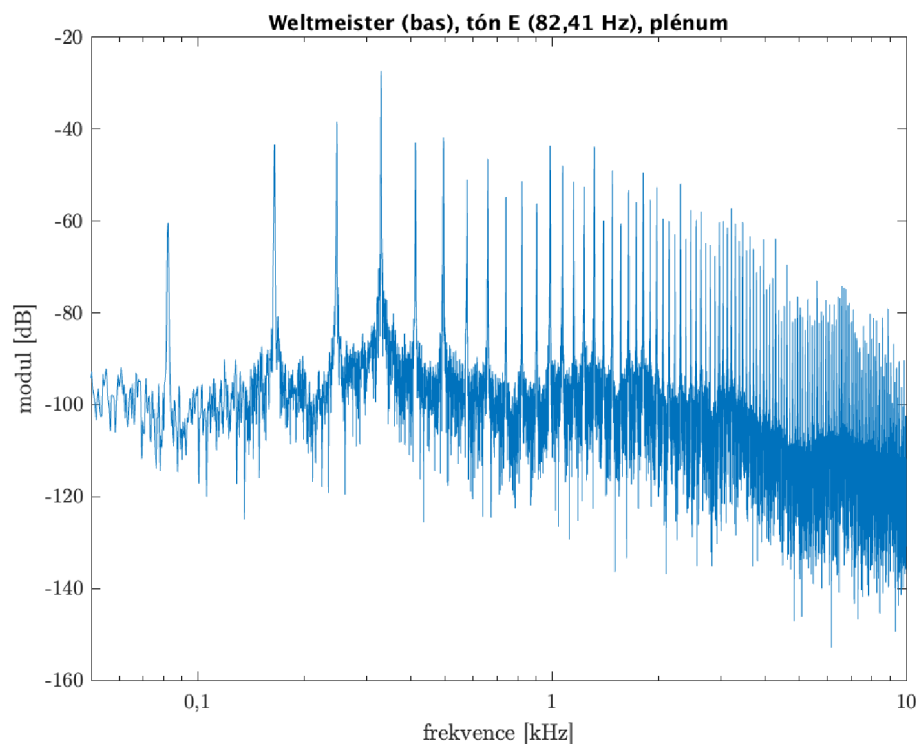
to, že se skládá ze dvou dílčích složek dvou rozdílných hlasů. Slabší z těchto dvou složek s frekvencí 1043,91 Hz je složka vzniklá vlivem šestnáctistopového rejstříku (16') a jeho harmonických složek. Silněji zastoupená složka s frekvencí 1047,39 Hz je fundamentem hlasu čtyřstopového rejstříku (4'). Rozdíl mezi moduly těchto dvou složek je cca 10 dB, což znamená, že při poslechu tohoto tónu lze jasně oddělit jeden hlas od druhého. Mezi složkami je také rozdíl ve frekvencích, který činí přibližně 3,5 Hz, z čehož vyplývá, že při znění tohoto tónu budou vznikat rázy s touto frekvencí. Jelikož jsou ale tyto složky s rozdílnými, ale blízkými frekvencemi ve spektru obsaženy s výrazně nižší četností, než tomu bylo např. u vrchního výchvěvu (8'+8°), rázy budou obtížně pozorovatelné a posluchač je v tomto případě téměř nebude vnímat.



Obr. 3.24: Weltmeister – spektrum tónu c^2 , plénium (4'+8'+8°+16')

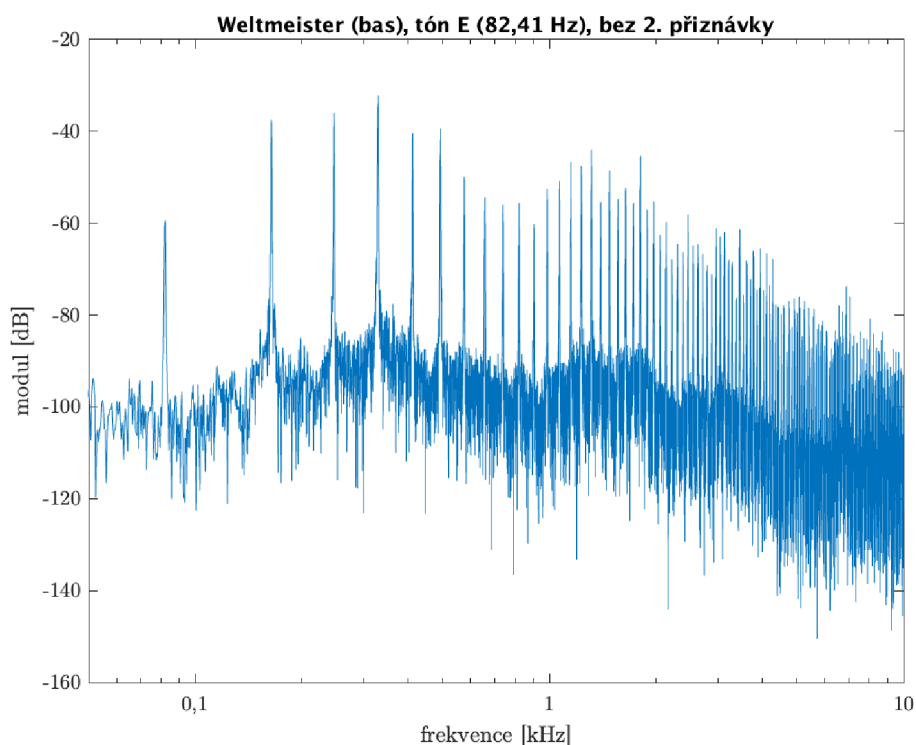
Graf na obr. 3.24 zachycuje spektrum tónu c^2 při použití rejstříku, který se nazývá „plénium“ – tedy kombinace zapojení všech dostupných dostupných hlasů v daném nástroji (v tomto případě to je 4'+8'+8°+16'). Na první pohled lze vidět nejhustší spektrum ze všech měřených tónů v diskantové části nástrojů a také nejvýraznější jednotlivé spektrální složky na pozicích některých harmonických složek. To je způsobeno tím, že na některých těchto celočíselných násobcích frekvence fundamentu, jsou přítomny harmonické složky až 4 různých hlasů, které zcela jistě nemají a nemohou mít totožnou frekvenci. Od fundamentu tónu, který se nachází na frekvenci 261,63 Hz a je zde zastoupen pouze základní harmonickou složkou

hlasu šestnáctistopového rejstříku (16') lze pozorovat postupný nárůst „šířek“ jednotlivých harmonických složek s tím, jak se postupně přidává hlas osmistopového rejstříku (8'; 523,25 Hz), hlas vrchního výchvěvu (8°; 526,25 Hz) a hlas čtyřstopového rejstříku (4'; 1046,5 Hz). V oblasti nejvyšších zobrazených frekvencí v grafu je vidět nižší útlum vysokých frekvencí, než např. u samotného osmistopového rejstříku (8'), což je způsobeno zapojením více různých hlasů, které nejsou umístěny v šachtové ozvučnici. Spektrum je tedy výrazně širší než u jednodušších rejstříků, což způsobuje výraznější, ostřejší tón, a také hlasitější tón. Díky tomuto rejstříku je akordeonu umožněno prosadit se v hlasitých pasážích skladeb, kdy hraje současně i s ostatními nástroji, k čemuž je tento rejstřík také nejčastěji využíván.



Obr. 3.25: Weltmeister – spektrum tónu E, plénium

Z basové části akordeonu je na obr. 3.25 zobrazeno spektrum tónu E, při zapojení všech oktávových spřažení. Modul fundamentu tónu na frekvenci 82,41 Hz je cca o 20 dB slabší než další vyšší harmonické složky, což je způsobeno nízkou frekvencí tónu a také tím, že tato frekvence je ve spektru zastoupena pouze jediným hlasem – základním basem. Moduly vyšších harmonických složek poté postupně narůstají až ke 4. harmonické složce, jejíž modul je největší. Poté je spektrum vyrovnané až k frekvenci cca 2 kHz, odkud začne postupně klesat. Celkově lze opět říci, že spektrum tohoto basového tónu je velmi široké, husté a tón tedy bude sytý, silný a bude se snadno prosazovat mezi ostatními zvuky.



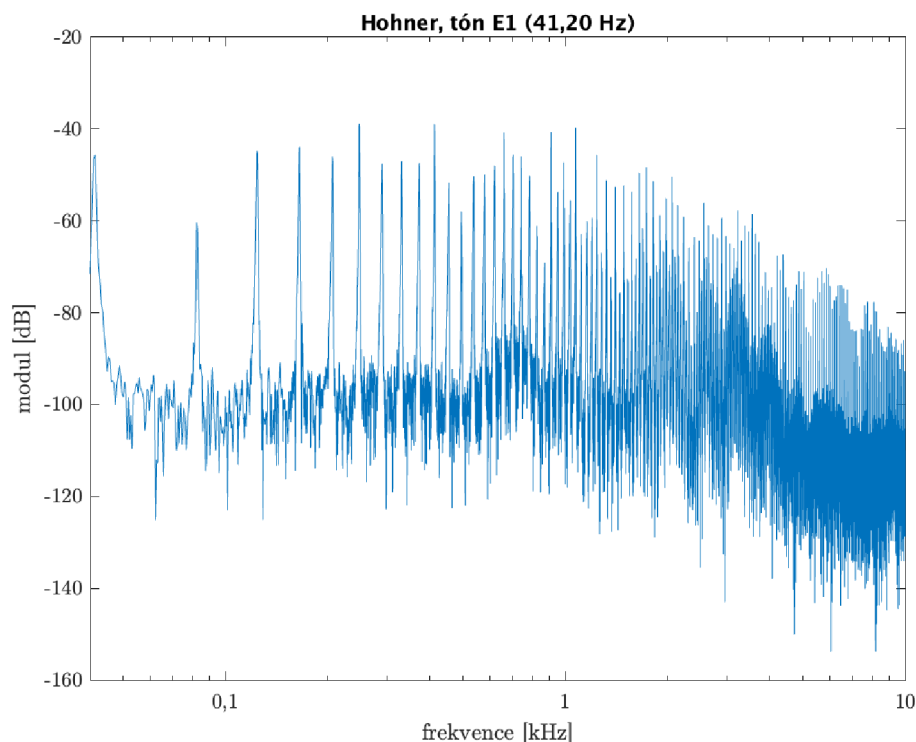
Obr. 3.26: Weltmeister – spektrum tónu E, bez 2. příznávky

Pro porovnání je na obr. 3.26 zobrazeno spektrum téhož tónu, ovšem s výplou 2. příznávkou (tedy nejvyšší oktávové spřažení). Ta má frekvenci cca 659,3 Hz a na této frekvenci lze ve spektru pozorovat snížení modulu harmonické složky o přibližně 10 dB oproti tónu hraného na plenum. Tento pokles samotný je snadno rozpoznatelný lidským sluchem – posluchač tedy při porovnání uslyší, že nejvyšší hlas není přítomen. Kromě této konkrétní harmonické složky lze také pozorovat celkové zeslabení v oblasti 1 kHz a poté ve vyšších částech frekvenčního spektra. Přítomnost hlasu 2. příznávky tedy v případě tohoto akordeonu má vliv na zvuk a barvu výsledného tónu v basové části nástroje.

3.3 Spektrum akordeonu Hohner

Měřený akordeon Hohner je speciální typ akordeonu, který je určen primárně pro hraní basových tónů, což z něj činí nástroj vhodný především do různých souborů a uskupení. Vzhledem k obvyklé (nízké) frekvenci hraných tónů je třeba, aby tóny samotné měly dostatečný výkon a byly výrazné, aby se v prostředí ostatních zvuků dokázaly prosadit. Tomuto nejvíce napomůže velká šířka spektra tónů a vysoké výkony těchto tónů, čímž tento akordeon disponuje – to bude dokázáno na následujících grafech analyzující vybrané tóny. (*Měřítka grafů u spekter tónů tohoto akordeonu je*

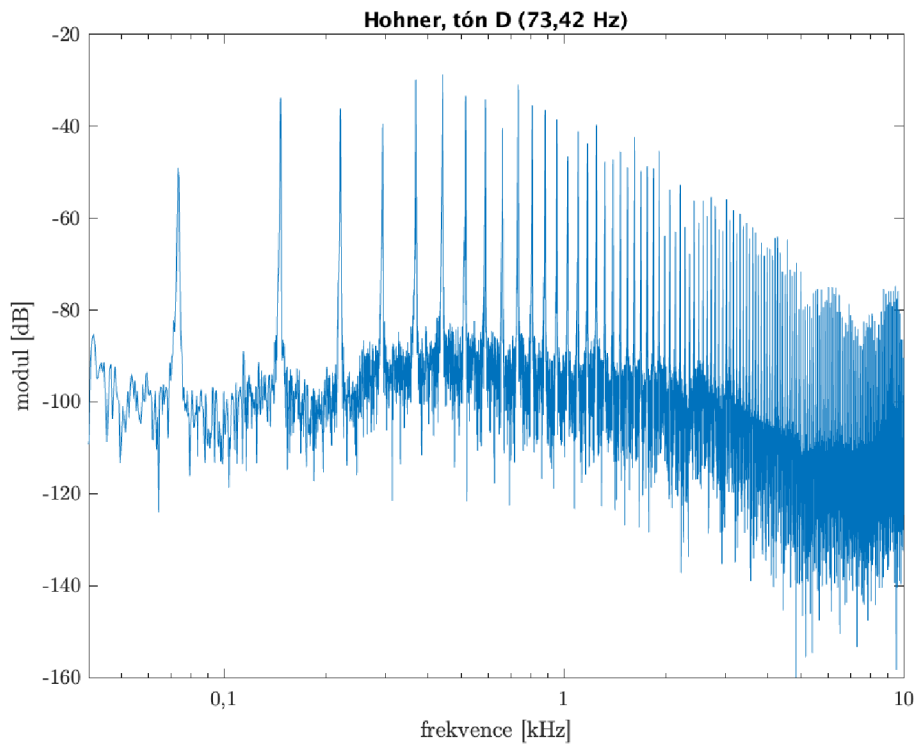
uzpůsobeno nízké frekvenci jeho tónů, oproti ostatním grafům jeho rozsah začíná o 10 Hz níže – tedy na frekvenci 40 Hz.)



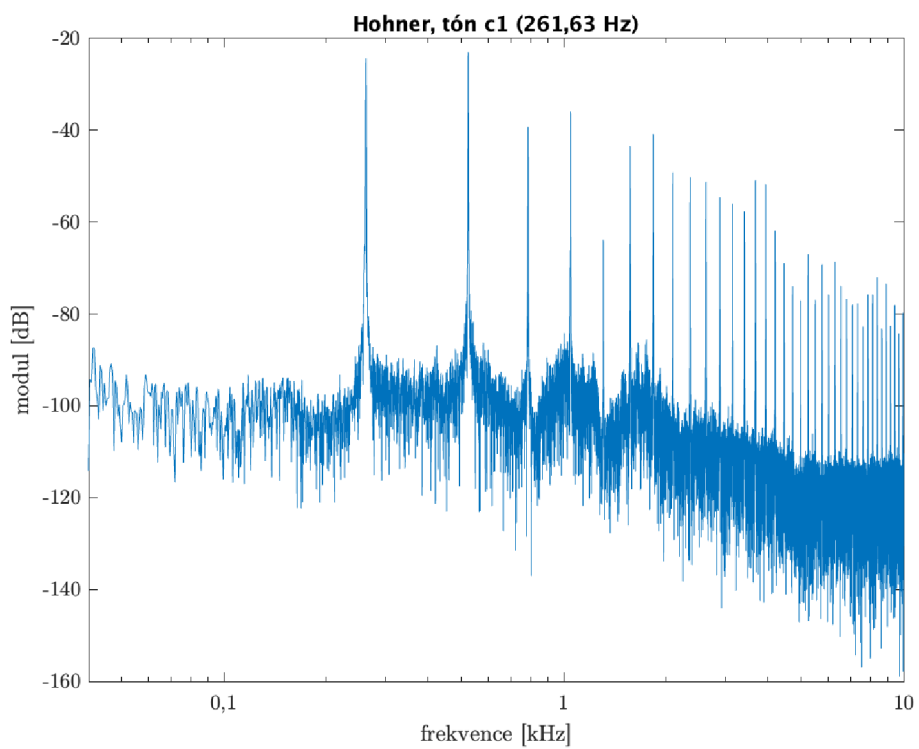
Obr. 3.27: Hohner – spektrum tónu E¹

Nejnižším tónem z celého rozsahu tohoto akordeonu je E¹ a jeho spektrum je zobrazeno na obr. 3.27. Fundament tónu lze vidět cca na teoretické frekvenci 41,20 Hz a i přes svou nízkou frekvenci je tato harmonická složka zastoupena relativně výrazně, ne však nejvíce. 2. harmonická složka je proti fundamentu tónu asi o 15 dB potlačena – toto je pravděpodobně způsobeno rozměry nástroje a s tím souvisejícím potlačováním určité vlnové délky, jelikož podobný jev bude pozorován i u dalšího měřeného tónu. Moduly jednotlivých vyšších harmonických složek tónu jsou vyrovnané a drží se svou hodnotou na úrovni fundamentu, až do frekvence přibližně 1 kHz, což odpovídá asi 25. harmonické složce. To poukazuje na velmi výrazný tón se sytým, plným a pronikavým spektrem, díky čemuž, jak už bylo zmiňováno, jsou tyto nízko položené tóny schopny prosadit svůj zvuk mezi jinými nástroji a zdroji zvuku.

Spektrum dalšího měřeného tónu – D – lze vidět v grafu na obr. 3.28. Spektrum je již méně široké oproti předcházejícímu tónu E¹. Lze vidět, že modul fundamentu, nacházející se v oblasti 73 Hz, je nižší opět asi o 15 dB (tedy podobně, jako 2. harmonická složka u předchozího měřeného tónu). To poukazuje na přirozené potlačování této oblasti kmitočtů nástrojem a lze tedy vyloučit, že by se jednalo o vadu hlásku. Dále k poklesu modulů jednotlivých harmonických složek opět dochází v okolí kmitočtu 1 kHz, ovšem tón D je o malou septimu vyšší, než tón E¹. Oblast spektra



Obr. 3.28: Hohner – spektrum tónu D



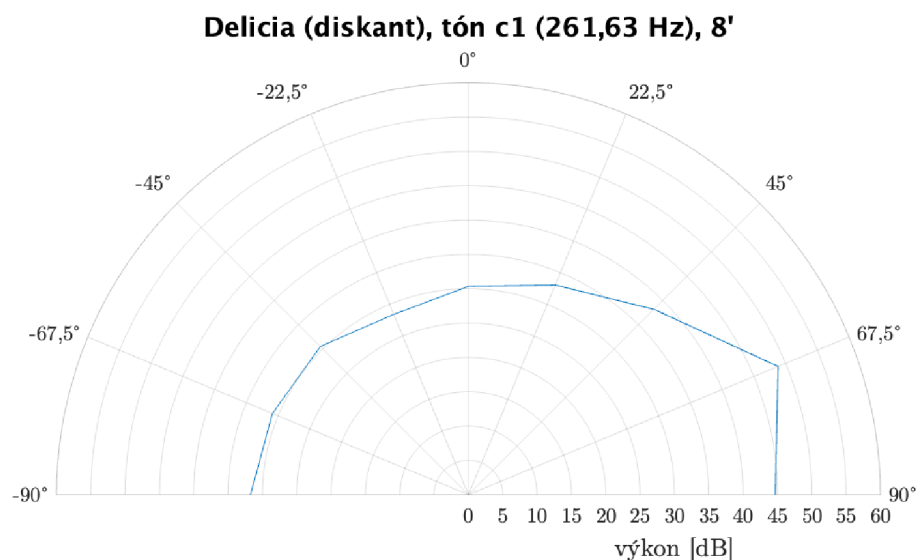
Obr. 3.29: Hohner – spektrum tónu c¹

nízkých kmitočtů je tedy přirozeně méně zaplněna a oblast vyšších kmitočtů zůstává podobná, jako v předchozím případě. I přesto je tón stále hutný, sytý a basově pronikavý.

Posledním spektrálně analyzovaným tónem (a zároveň nejvyšším tónem z celého rozsahu) tohoto akordeonu, je tón c^1 , jehož spektrum je zobrazeno na obr. 3.29. V porovnání s předešlými analyzovanými tóny je zřejmé výrazně užší spektrum. První dvě harmonické složky jsou vyrovnané a silně zastoupené, již 3. harmonická složka ale klesá o cca 20 dB, 5. harmonická složka poté o dalších asi 30 dB. To poukazuje na výrazné zúžení spektra tohoto akordeonu v porovnání s tóny o nízkých frekvencích. Tón c^1 je tón, který je obvykle součástí rozsahu diskantové části standardního akordeonu a jak lze vidět ze spektrální analýzy, tak je vhodnější tóny o takto vysokých frekvencích hrát pomocí standardního akordeonu – zejména proto, že tento tón bude pro posluchače při použití basového akordeonu úzký, nevýrazný a bude se velmi obtížně prosazovat např. při souborové hře.

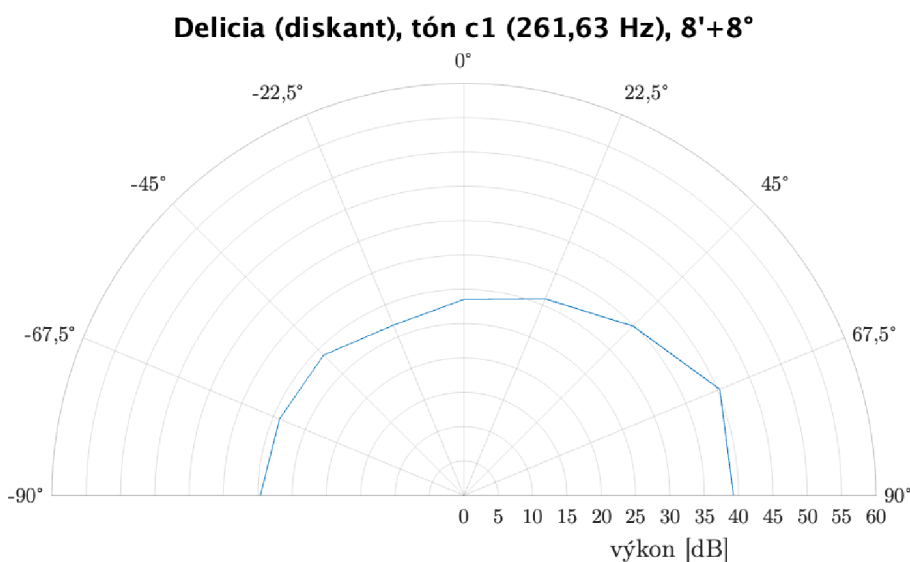
3.4 Směrnost akordeonu Delicia

Akordeon má otvory, kterými vyzařuje zvuk, rozděleny pro diskantovou část (směr téměř doprava od nástroje) a pro basovou část (přímo doleva od nástroje). Svou konstrukcí tedy přirozeně vyzařuje do dvou různých stran, a to podle toho, která část akordeonu hraje. Výsledná směrnost je do velké míry ovlivněna výškou hraného tónu a spojením různých rejstříků, které jsou pro hru využity. Některé z těchto poznatků vyplývají z grafů níže, které budou dále analyzovány a porovnávány.



Obr. 3.30: Delicia – směrnost tónu c^1 , 8' rejstřík

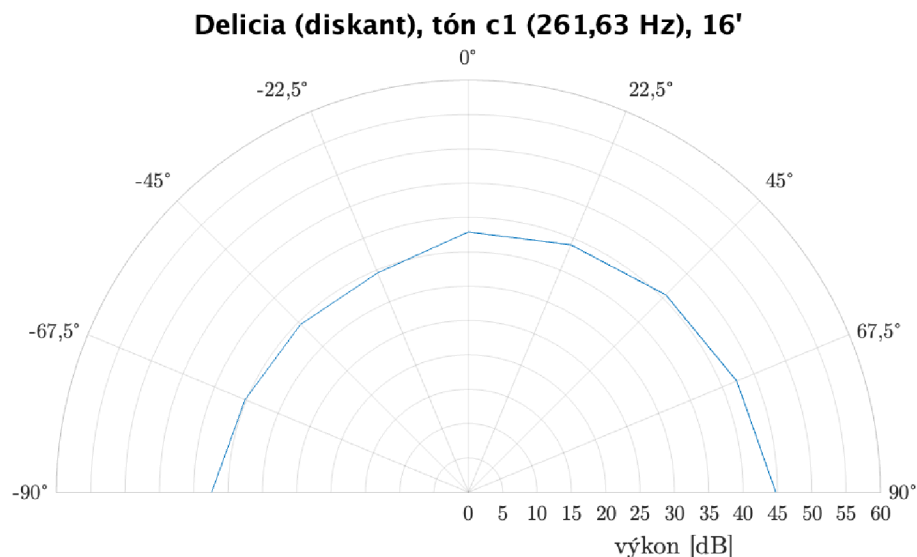
Prvním analyzovaným tónem je tón c^1 hraný na osmistopový rejstřík, jehož směrovost je zobrazena na polárním grafu na obr. 3.30. Zde můžeme vidět, že tento „nejzákladnější“ tón je výrazně směrový. Tón je nejsilnější přímo směrem, kam směřují otvory diskantové části – cca na $67,5^\circ$ od nulové osy nástroje i měření (tedy středu nástroje – jeho měchu). V tomto směru má tón téměř o 20 dB větší výkon, než na nulové ose. Druhým směrem, doleva od nástroje, poté vyzařuje přibližně se stále stejným výkonem, jako na nulové ose.



Obr. 3.31: Delicia – směrovost tónu c^1 , $8'+8^\circ$ rejstřík

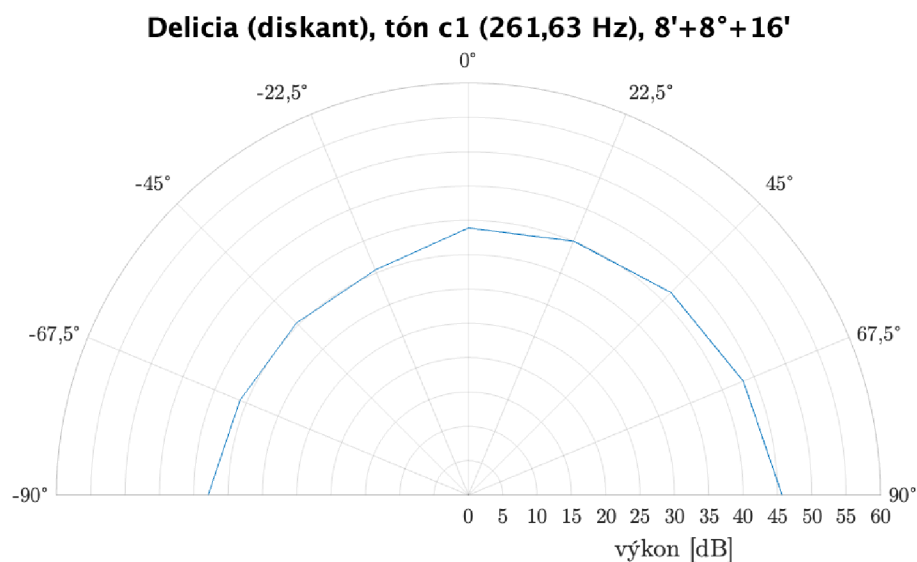
Na obr. 3.31 je polární graf směrovosti téhož tónu, jako v přechodím případě (c^1), který je zde ale hrán na rejstřík vrchní výchvěv ($8'+8^\circ$). Z grafu je stále patrná směrovost – tón je vyzařován s větším výkonem na pravou stranu nástroje v souladu s umístěním vyzařovacích otvorů diskantu, ale tato směrovost je mnohem méně výrazná, než v případě použití osmistopového rejstříku ($8'$). V úhlu $67,5^\circ$ je vyzařovaný výkon nástroje pouze o cca 11 dB vyšší, než na nulové ose měření. Směrem doleva od nástroje je výkon opět přibližně stejný, jako na nulové ose. Kromě nižší směrovosti tónu lze z grafu pozorovat také celkový nižší výkon tónu, než tomu bylo u osmistopového rejstříku ($8'$). Důvodem snížení směrovosti i výkonu je v tomto případě použití vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$), který je příčinou rázů, kvůli kterým vzniká efekt tremola. Tremolo svým principem s frekvencí rázů periodicky snižuje (a vrací zpět na původní hodnotu) hlasitost tónu, což ve výsledném tónu ústí ve snížení celkové hlasitosti, a to všemi směry.

Použití šestnáctistopového rejstříku ($16'$) způsobí přeladění o oktávu níže, při hraném tónu $c^1 = 261,6$ Hz tedy zní $c = 130,8$ Hz. Graf směrovosti tohoto tónu je na obr. 3.32. Lze pozorovat celkové zvýšení výkonu tónu, což je přisuzováno zejména výšce tónu, která je o oktávu nižší, než ve dvou předchozích případech – to znamená



Obr. 3.32: Delicia – směrovost tónu c¹, 16' rejstřík

pomalejší kmitání kovových jazýčků, které tím mohou dosáhnout větší amplitudy kmitu, tzn. vyšší celkové hlasitosti. Dále graf ukazuje, že nejvyšší výkon je vyzařován na 90°, tj. přímo doprava od nulové osy nástroje. Hodnota výkonu je zde o přibližně 11 dB vyšší, než na nulové ose. Od nulové osy směrem doleva se výkon ještě snižuje, a to cca o 4 dB. Směrovost tónu tedy zůstává stále natočena tak, jak jsou namířeny vyzařovací otvory diskantové části nástroje.

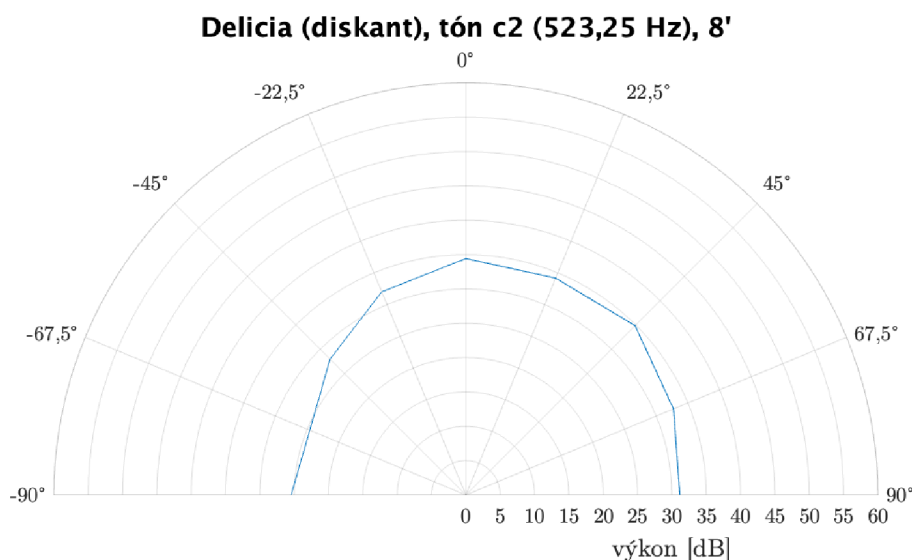


Obr. 3.33: Delicia – směrovost tónu c¹, 8'+8°+16' rejstřík

Graf, který je na obr. 3.33 zobrazuje směrovost tónu c¹ při použití kombinace vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku (8'+8°+16'). Při porovnání se smě-

rovostí téhož tónu s použitím pouze šestnáctistopového rejstříku (16') na obr. 3.32 vidíme, že se téměř vůbec neliší, z čehož vyplývá, že směrovost tónu je stejná, jako v předchozím případě. Tento fakt podtrhuje tvrzení, že tón hraný na šestnáctistopový rejstřík (16') má vyšší výkon, než tón hraný na vrchní výchvěv (8'+8°) nebo samotný osmistopový rejstřík (8'). Směr a výkon, s jakým je tón vyzařován, je zde tedy ovlivněn převážně hlasem šestnáctistopového rejstříku (16') a připojení dalších hlasů vrchního výchvěvu (8'+8°) změní pouze spektrum, nikoliv směrovost výsledného tónu.

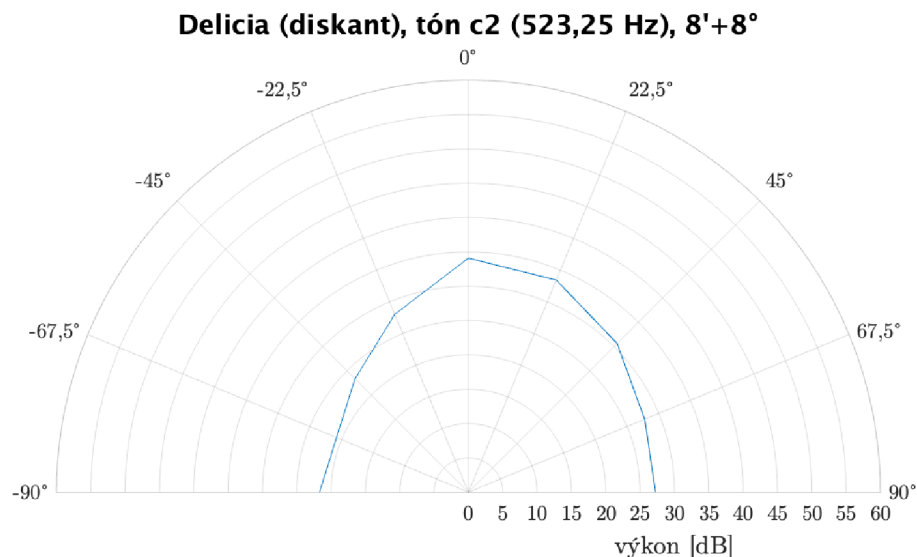
O oktávu výše se nachází tón c^2 , který má při hraní na osmistopový rejstřík (8') směrovost, jež je zobrazena na obr. 3.34. V tomto grafu je možné pozorovat výrazné zúžení prostoru, do něhož je tón vyzařován a také nižší výkon, než při tónech v nižších polohách. Nejvyšší výkon je opět směřován doprava od nástroje, cca na 45° od nulové osy nástroje – na té je výkon totožný, směrem doleva od nástroje pak klesá. Na -90° (zcela na levé straně) je výkon nižší o přibližně 10 dB v porovnání s výkonem na nulové ose.



Obr. 3.34: Delicia – směrovost tónu c^2 , 8' rejstřík

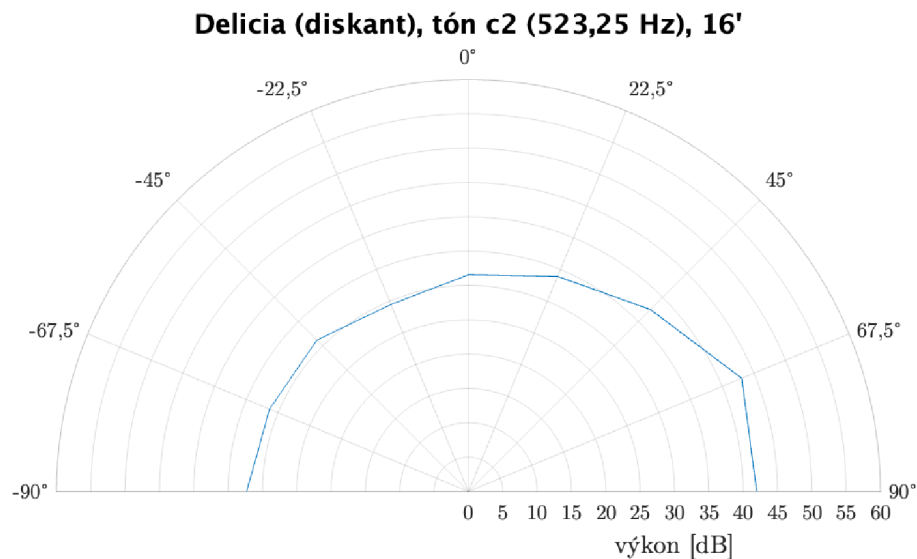
Ještě výraznější směrovostí disponuje tón c^2 , který je hrán na vrchní výchvěv (8'+8°). Z jeho grafu směrovosti na obr. 3.35 můžeme vyčíst, že nejvyšší výkon tónu je vyzářen na nulovou osu nástroje a na obě strany poté tento výkon klesá. Na -90° (vlevo) je výkon o téměř 15 dB nižší, naopak na 90° (vpravo) je výkon nižší pouze o cca 7 dB.

Zapojením šestnáctistopového rejstříku (16') a zahráním tónu c^2 dojde k přeladění o oktávu níže a zní tón c^1 – výškou tónu je tedy tato kombinace srovnatelná se zahráním tónu c^1 na osmistopový rejstřík (8'). Tato podobnost je zřejmá i z grafu na obr. 3.36, kde lze vidět tvar křivky udávající výkon nástroje v různých úhlech



Obr. 3.35: Delicia – směrovost tónu c², 8'+8° rejstřík

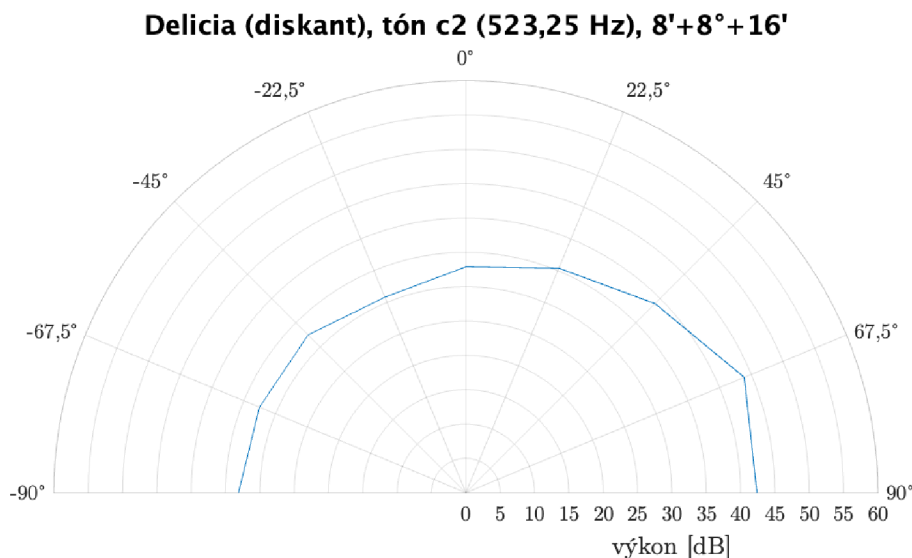
horizontální roviny. Tento tvar je srovnatelný s tvarem křivky směrovosti tónu c¹ na osmistopový rejstřík (8'), která je v grafu na obr. 3.30. Nejvyšší výkon je opět vyzářen doprava, na 67,5° od nulové osy. Výkon je zde o cca 14 dB vyšší, než právě na nulové ose. Směrem doleva je opět tón vyzářován s přibližně stejným výkonem, jako na nulovou osu.



Obr. 3.36: Delicia – směrovost tónu c², 16' rejstřík

Na obr. 3.37 lze vidět graf směrovosti tónu c² při použití kombinace vrchního výchvěvu a šestnáctistopového rejstříku (8'+8°+16'). Tento tvar je opět téměř shodný, jako při použití pouhého šestnáctistopového rejstříku (16') stejně tak, jako tomu bylo

u tónu c^1 . Toto pouze potvrzuje již dříve zmíněnou „dominanci“ o oktávu nižšího, šestnáctistopového rejstříku ($16'$) v kombinaci ostatních hlasů.



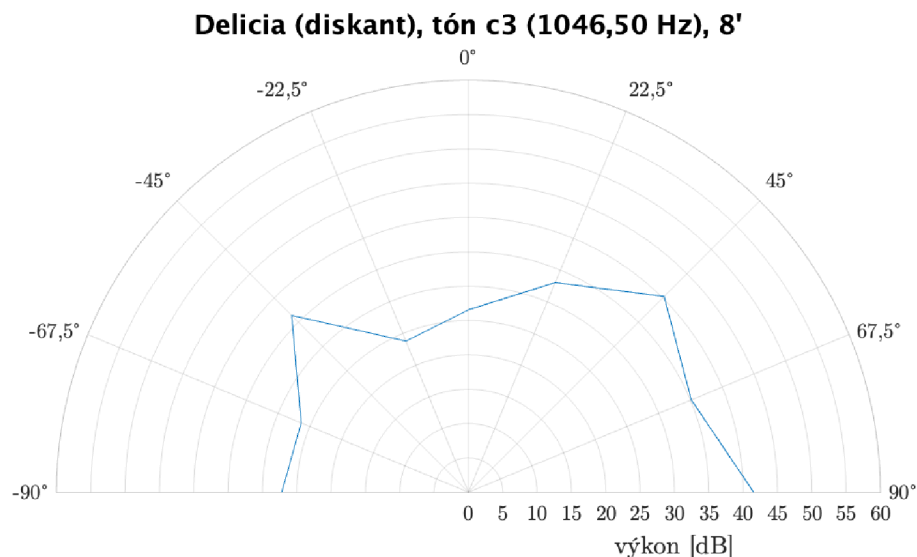
Obr. 3.37: Delicia – směrovost tónu c^2 , $8'+8'+16'$ rejstřík

Při zahrání nejvyššího měřeného tónu c^3 na osmistopový rejstřík ($8'$) můžeme v jeho grafu směrovosti na obr. 3.38 pozorovat velmi výrazné a „zvláštní“ pokřivení křivky směrovosti oproti předchozím tónům. Při použití vzorce pro výpočet délky zvukové vlny ze znalosti rychlosti zvuku $c = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a frekvence $f = 1046,50 \text{ Hz}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{1046,50}$$

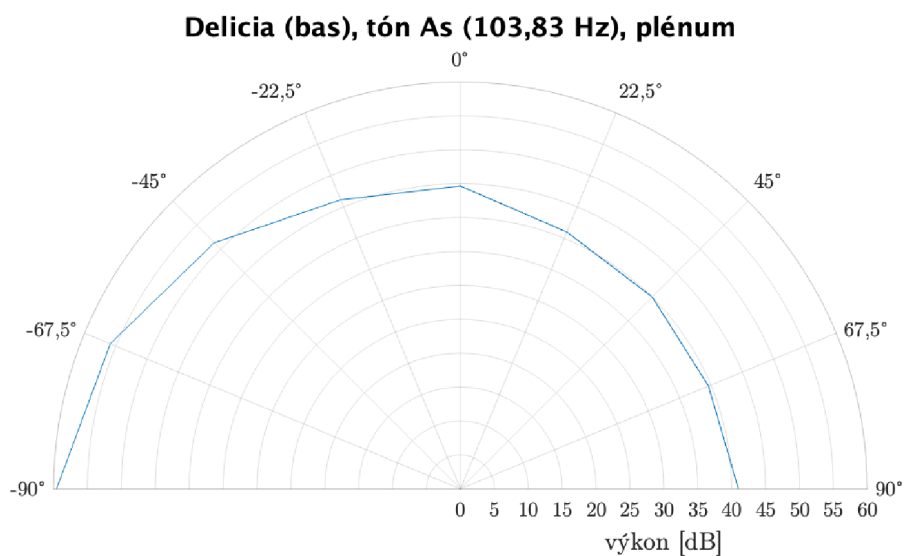
zjistíme, že délka jedné vlny tohoto tónu je $\lambda = 32,8 \text{ cm}$. Tato vzdálenost již přibližně odpovídá vzdálenostem některých stěn v konstrukci akordeonu, což poukazuje na pravděpodobnou rezonanci zvukových vln uvnitř nástroje. Ta poté způsobí vyzařování tónu i směrem, kterým se nenachází žádné otvory pro přímé vyzařování zvuku diskantové části nástroje. Nejvyšší výkon je opět vyzáren doprava, na 45° od nulové osy, na níž je výkon o cca 13 dB nižší. Strmě ovšem vzroste směrem doleva – na -45° je výkon o 10 dB vyšší, než na nulové ose.

Basová část má otvory pro vyzařování tónů namířené přímo doleva od nástroje, tedy na -90° na grafu směrovosti, který je pro tón A_5 s použitím všech 4 oktávových spřažení (plenum) zobrazen na obr. 3.39. Na tomto grafu můžeme vidět celkové zvýšení výkonu, zejména v porovnání s výše analyzovanými tóny diskantové části akordeonu. To je způsobeno zejména nižší polohou tónu (více než o oktávu nižší, než v případě nejnižšího měřeného tónu – c^1 – v diskantu), kde kovové jazýčky mohou kmitat s větší amplitudou a také spojením 4 hlasů v oktávových intervalech nad sebou (oktávové spřažení). Směr vyzařování zcela odpovídá tomu, co lze předpokládat



Obr. 3.38: Delicia – směrovost tónu c³, 8' rejstřík

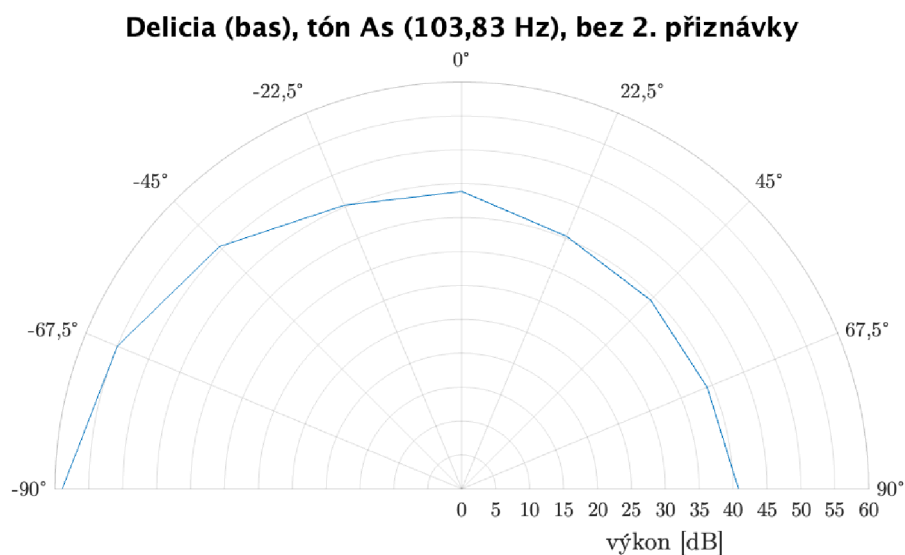
na základě umístění vyzařovacích otvorů. Nejvyšší výkon je vyzařován doleva (na -90° od nulové osy). Výkon zde je o 15 dB vyšší, než na nulové ose měření a směrem doprava dále klesá, a to přibližně o dalších 5 dB. Mezi levou a pravou stranou nástroje je tedy rozdíl asi 20 dB.



Obr. 3.39: Delicia – směrovost tónu A5, plénium

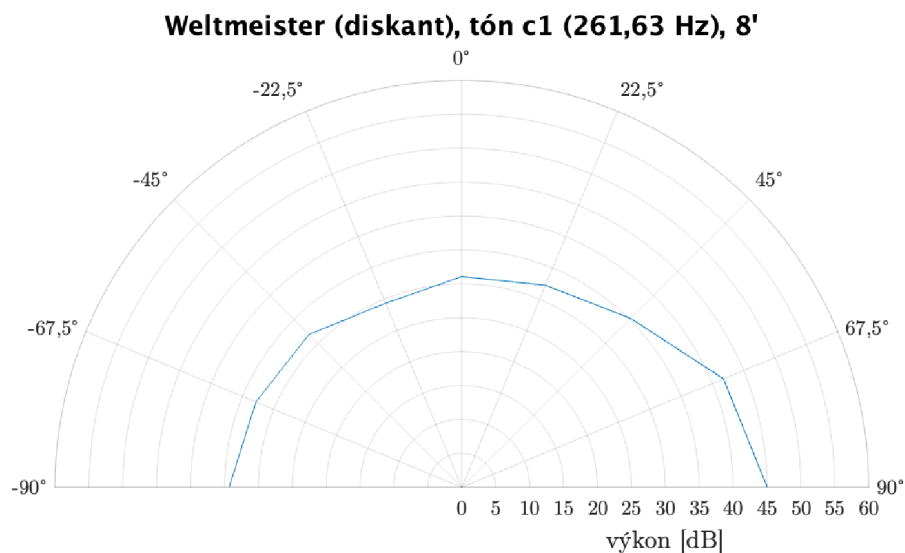
V případě zahrání téhož tónu (A5) s vypnutím nejvyššího oktávového spřažení (2. příznávka) nedojde k žádné změně směrovosti v porovnání s plným zapojením všech oktávových spřažení. Toto lze vidět na obr. 3.40, kde je zobrazen graf směrovosti tónu A5 s vypnutou 2. příznávkou. Stejná směrovost, jako v předchozím případě, je dána téměř stejným složením spektra, tedy i podobnou schopností vzniklé vlny se

šířit prostorem. Jediným rozdílem, který lze pozorovat, je mírné snížení celkového výkonu tónu – asi o 1 dB, což je způsobeno oním odebráním nejvyššího hlasu z tónu.



Obr. 3.40: Delicia – směrovost tónu As, bez 2. příznávky

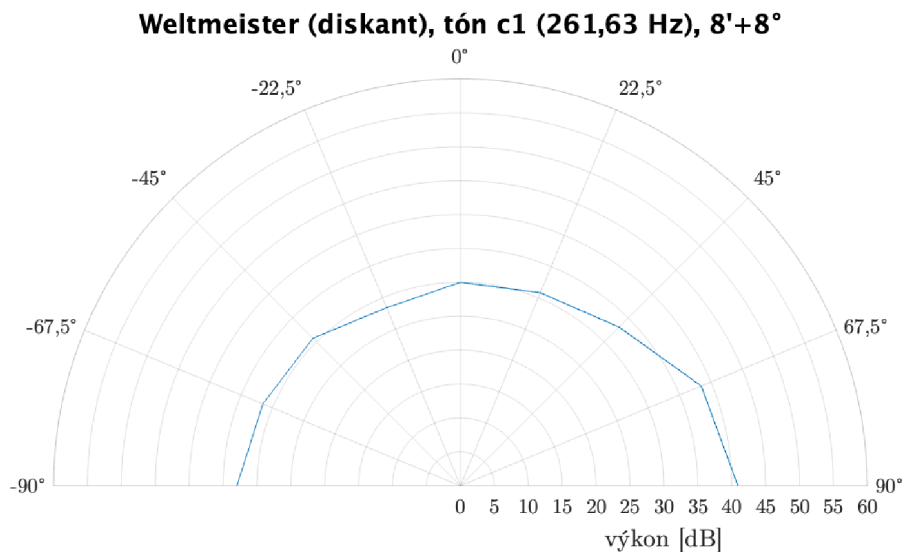
3.5 Směrovost akordeonu Weltmeister



Obr. 3.41: Weltmeister – směrovost tónu c¹, 8' rejstřík

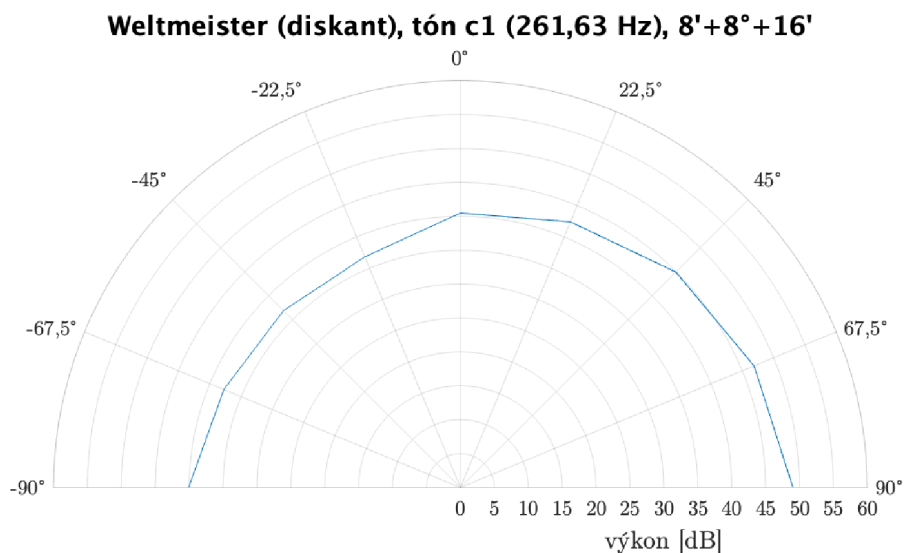
V grafu na obr. 3.41 je zobrazena směrovost tónu c¹ při použití osmistopového rejstříku (8'). Směrovost tónu je, dle očekávání, přirozeně orientována přímo se směrem vyzařovacích otvorů. Směrem doprava od nulové osy nástroje na 90° se vyzařovaný výkon zvyšuje, a to až o 15 dB. Vzhledem k relativně nízké frekvenci tónu

(mírně se prosazuje všesměrovost nízkých frekvencí) lze pozorovat i určitý nárůst výkonu směrem doleva (-90°) – o necelých 5 dB.



Obr. 3.42: Weltmeister – směrovost tónu c¹, 8'+8° rejstřík

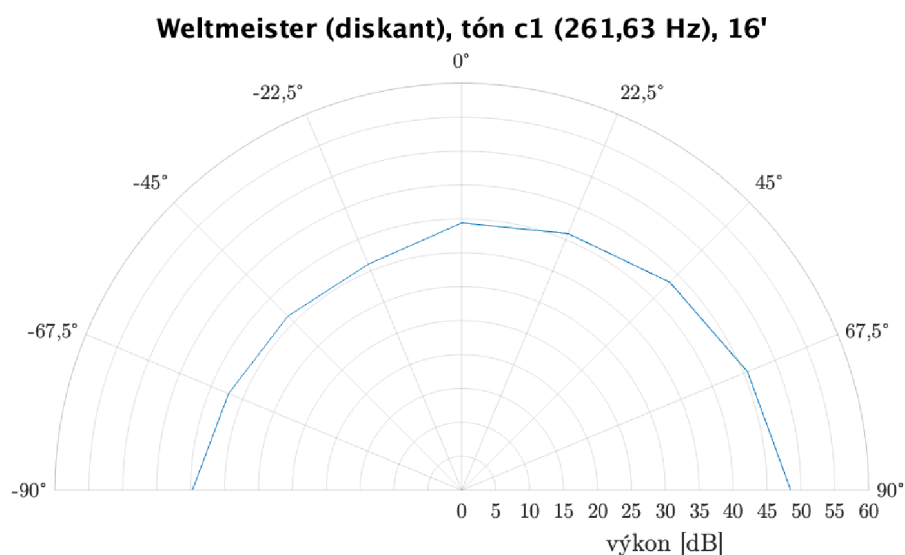
Na obr. 3.42 lze vidět směrovost téhož tónu (c¹), který byl zahrán na rejstřík vrchní výchvěv (8'+8°). Použití tohoto rejstříku, stejně jako v případě předchozího měřeného akordeonu Delicia, nezpůsobilo změnu směrovosti tónu, pouze vzniklé rázy zapříčinily, že celkový vyzařovaný výkon tónu je nižší – ve směru 90° od nulové osy nástroje asi o 5 dB proti samotnému osmistopovému rejstříku (8').



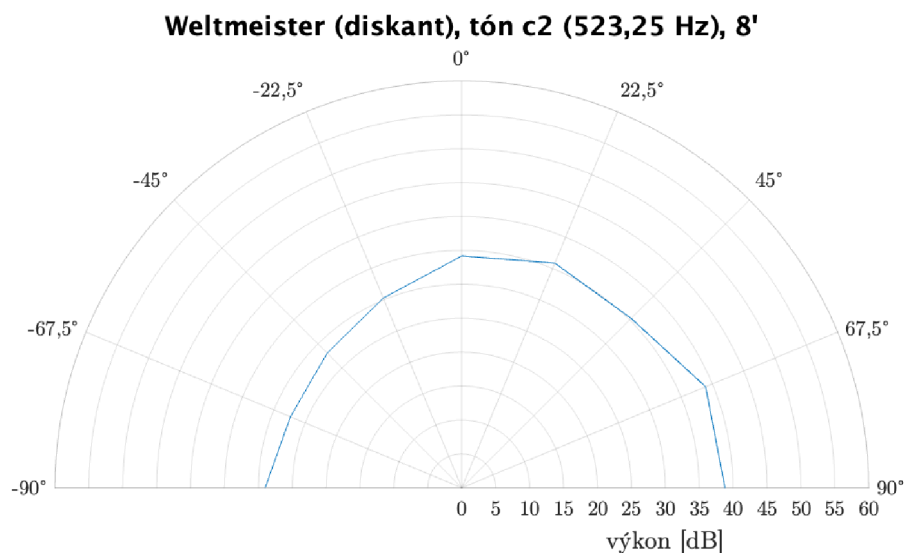
Obr. 3.43: Weltmeister – směrovost tónu c¹, 8'+8°+16' rejstřík

Při připojení šestnáctistopového rejstříku k vrchnímu výchvěvu, tedy vytvoření kombinace (8'+8°+16') se celkový výkon zvýší a také se rozšíří prostor, do kterého

je tón vyzařován. To lze vidět v grafu směrovosti na obr. 3.43. Na úhlu 90° je výkon nejvyšší, a to o necelých 10 dB oproti nulové ose. Směrem doleva od nástroje se vyzařovaný výkon mírně snižuje, ovšem na -90° už je opět srovnatelný s výkonem na nulové ose. Tento nárůst výkonu a rozšíření směrového pokrytí je způsobeno zapojením nejnižšího, právě šestnáctistopového rejstříku ($16'$). Ten zní na poloviční frekvenci než tón c^1 (tedy $c = 130,81$ Hz) a ještě více se u něj prosazuje všesměrovost nízkých frekvencí.



Obr. 3.44: Weltmeister – směrovost tónu c^1 , $16'$ rejstřík

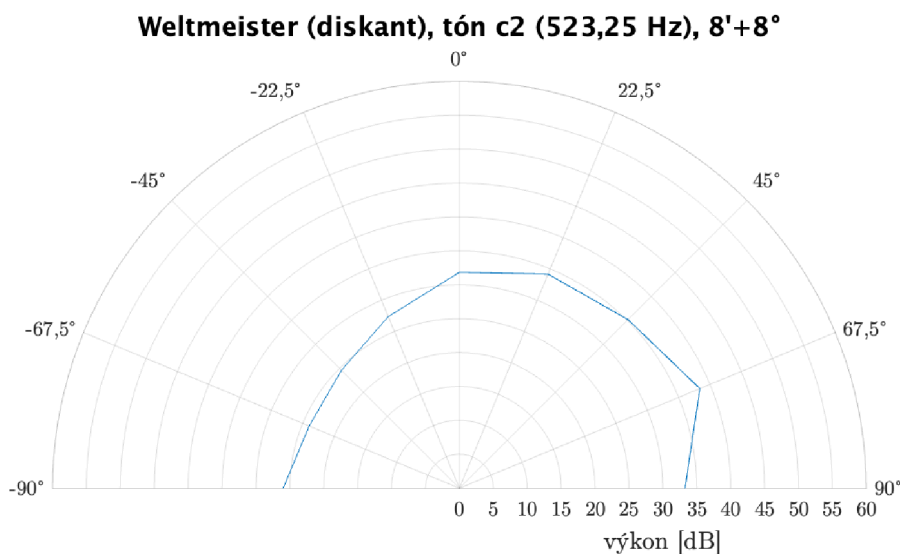


Obr. 3.45: Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $8'$ rejstřík

Vypnutí vrchního výchvěvu ($8'+8'$) a použití pouze šestnáctistopového rejstříku ($16'$) výslednou směrovost a výkon téměř vůbec nezmění, jak lze vidět z grafu na

obr. 3.44. Na základě této skutečnosti lze tedy tvrdit, že směrovost daného tónu je ovlivněna nejnižším zapojeným hlasem a hlasy s vyšší frekvencí sice ovlivní barvu, spektrum aj., nicméně neovlivní celkový směr, kterým je tón vyzařován.

O oktávu vyšší tón c^2 s použitím osmistopového rejstříku již disponuje nižším výkonem a vyšší směrovostí, než v předcházejících případech – prosazuje se směrovost vysokých frekvencí a snížená schopnost vlnění obcházet překážky. Jak je vidět na obr. 3.45 – nejvyšší výkon je směřován opět ve směru vyzařovacích otvorů nástroje, tedy na $67,5^\circ$ a 90° a je cca o 5 dB vyšší, než tomu je na nulové ose. Směrem doleva se výkon dále snižuje o přibližně 6 dB.

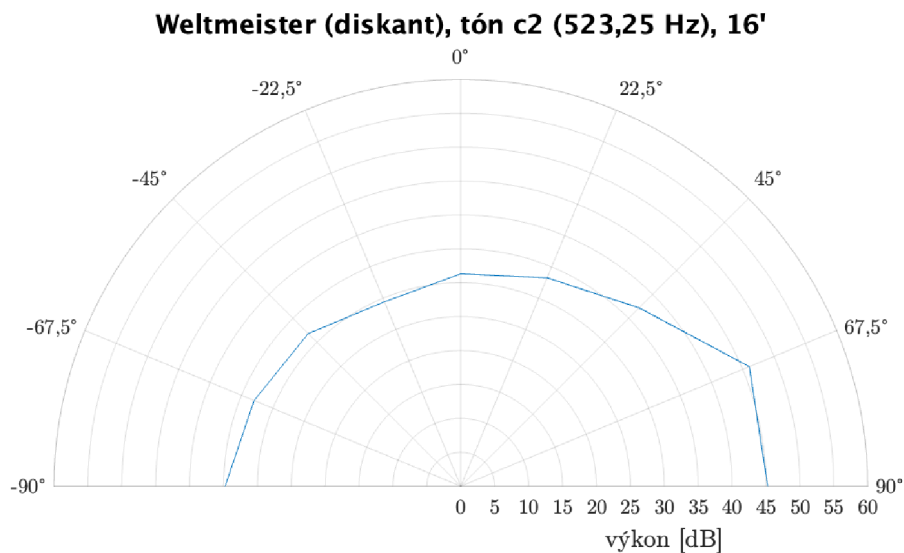


Obr. 3.46: Weltmeister – směrovost tónu c^2 , $8'+8^\circ$ rejstřík

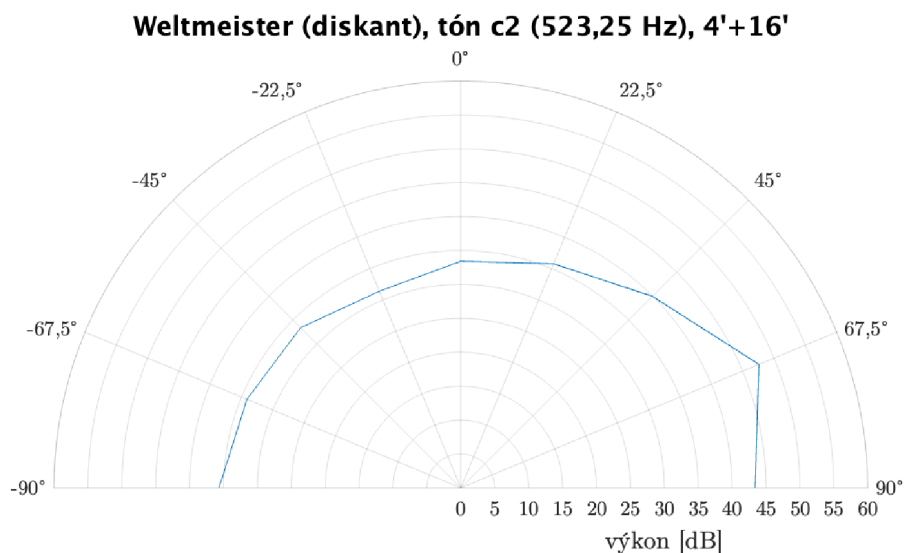
Stejně, jako u tónu c^1 , ani v případě tónu c^2 použití vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$) téměř nezmění směr vyzařování tónu, dojde pouze ke snížení celkového výkonu (viz obr. 3.46). Toto chování bylo pozorováno již na několika různých tónech a lze tedy tvrdit, že použití vrchního výchvěvu svým principem způsobí celkové snížení výkonu. Kromě toho je na 90° vidět poměrně výrazné snížení výkonu, což bylo pravděpodobně způsobeno nevhodným umístěním hráčovy ruky, která vytvořila přímý akustický stín mezi některými vyzařovacími otvory a měřícím mikrofonom.

Šestnáctistopový rejstřík ($16'$) způsobí přeladění o oktávu níže, tedy na znějící c^1 ($= 261,63$ Hz) a – jak lze vidět na obr. 3.47 – vytvoří opět směrovost a rozložení výkonu v horizontální rovině stejné, jako v případě hraného tónu c^1 za použití osmistopového rejstříku ($8'$) (viz obr. 3.41).

Pokud je k šestnáctistopovému rejstříku ($16'$) připojen ještě nejvyšší, čtyřstopový rejstřík (tedy vznikne kombinace $4'+16'$), opět se ve směrovosti a celkovém výkonu nejvíce prosadí níže znějící, šestnáctistopový rejstřík ($16'$). V grafu na obr. 3.48 je možno pozorovat, že vlivem vysokého, čtyřstopového rejstříku ($4'$) dojde



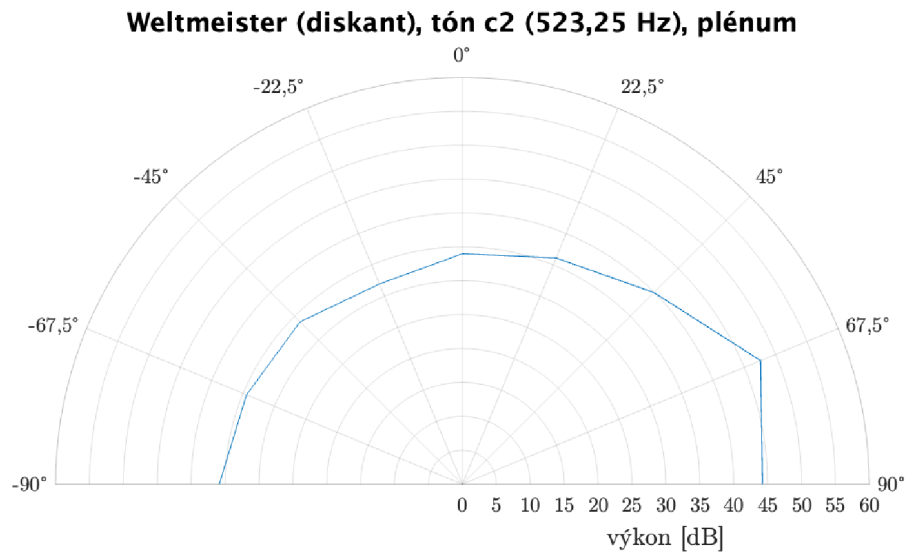
Obr. 3.47: Weltmeister – směrovost tónu c², 16' rejstřík



Obr. 3.48: Weltmeister – směrovost tónu c², 4'+16' rejstřík

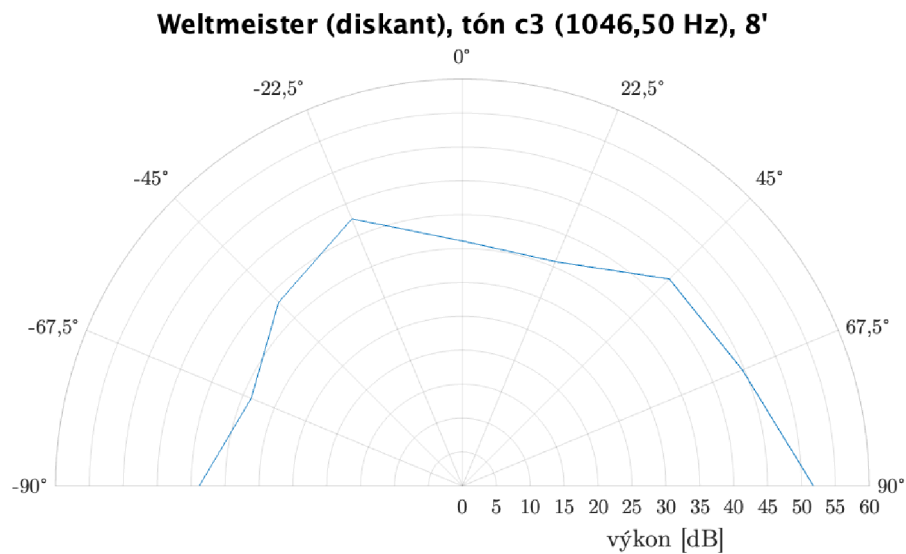
pouze k celkovému mírnému nárůstu výkonu a k výraznějšímu a pozorovatelnějšímu nárůstu přímo ve směru vyzařovacích otvorů (na 67,5°). Tento nárůst je způsoben vysokou frekvencí čtyřstopového rejstříku (4'), a tedy jeho výraznou směrovostí.

Zapojení všech hlasů, kterými tento akordeon disponuje (tedy použití rejstříku zvaného jako „plénum“) doplní oproti předchozímu analyzovanému tónu kombinaci hlasů ještě o vrchní výchvěv (8'+8°), ve výsledku jsou tedy zapojeny 4 hlasy – 4'+8'+8°+16'. I přesto ve směrovosti (obr. 3.49) ani v celkovém vyzářeném výkonu nelze pozorovat žádné výrazné změny oproti samotnému šestnáctistopovému rejstříku (16'). Dojde sice opět k mírnému nárůstu celkového výkonu a zvýraznění



Obr. 3.49: Weltmeister – směrovost tónu c², plénium

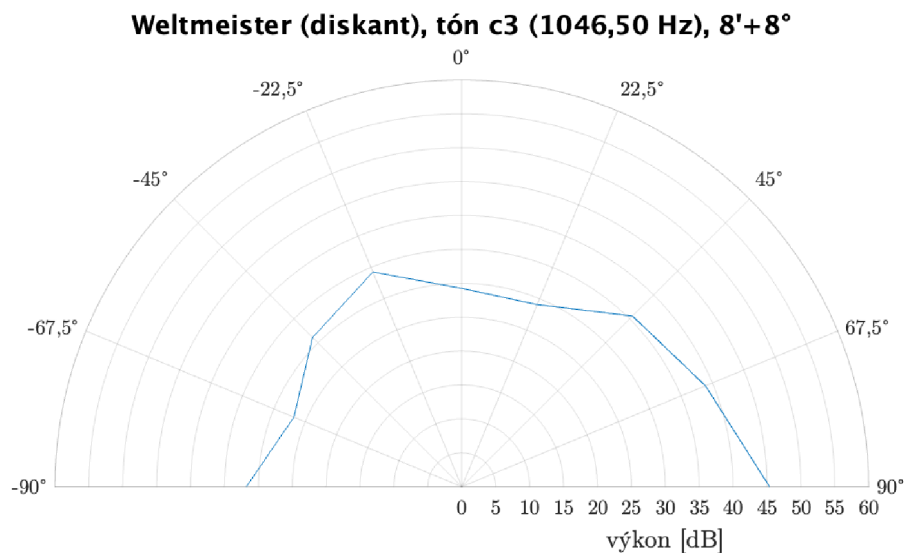
směrovosti na úhlu 67,5°, jedná se však maximálně o nízké jednotky dB. Toto, při porovnání se skutečností, že je zapojeno 4násobné množství hlasů, než u samotného šestnáctistopového rejstříku (16'), je zanedbatelné a opět dokazuje, že výsledná směrovost nejvíce záleží na nejnižším zapojeném hlasu.



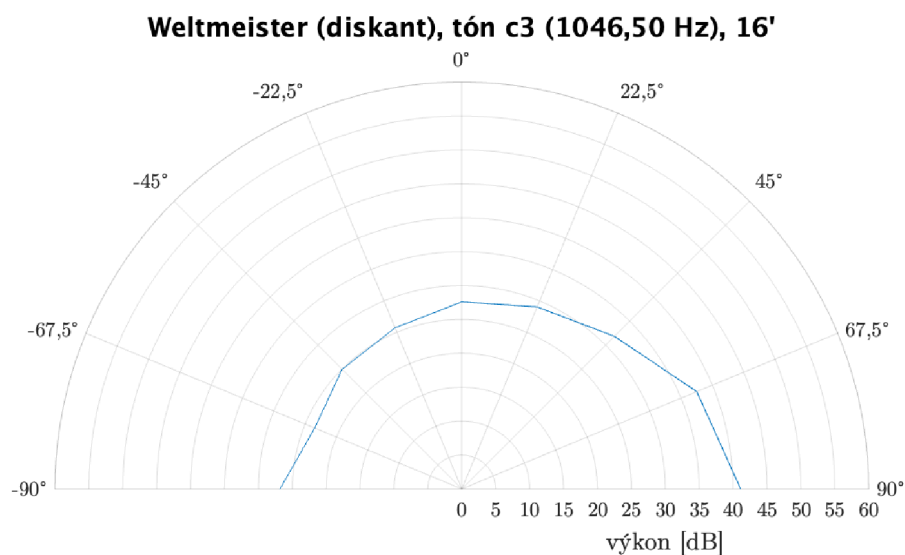
Obr. 3.50: Weltmeister – směrovost tónu c³, 8' rejstřík

Směrovost tónu c³ při použití osmistopového rejstříku (8'), která je zobrazena na obr. 3.50, opět vykazuje nepředpokládanou směrovost tak, jak tomu bylo v případě akordeonu Delicia (viz obr. 3.38). Nejvyšší výkon je sice vyzářen směrem doprava od nulové osy nástroje (90°), tedy ve směru vyzářovacích otvorů a poté tento výkon

směrem k nulové ose klesá, ovšem na $-22,5^\circ$ dojde k náhlému zvýšení výkonu vyzařeného tímto směrem. Výkon je pouze asi o 3 dB nižší, než na úrovni vyzařovacích otvorů. Jedná se o podobný vzorec chování tónu o vysoké frekvenci, který spočívá v neočekávaném směru vyzaření tónu – zcela jinam, než kam směřují vyzařovací otvory diskantové části nástroje. Lze tedy opět tvrdit, že toto je způsobeno rezonancí těchto vlnových délek uvnitř nástroje.



Obr. 3.51: Weltmeister – směrovost tónu c³, 8'+8° rejstřík

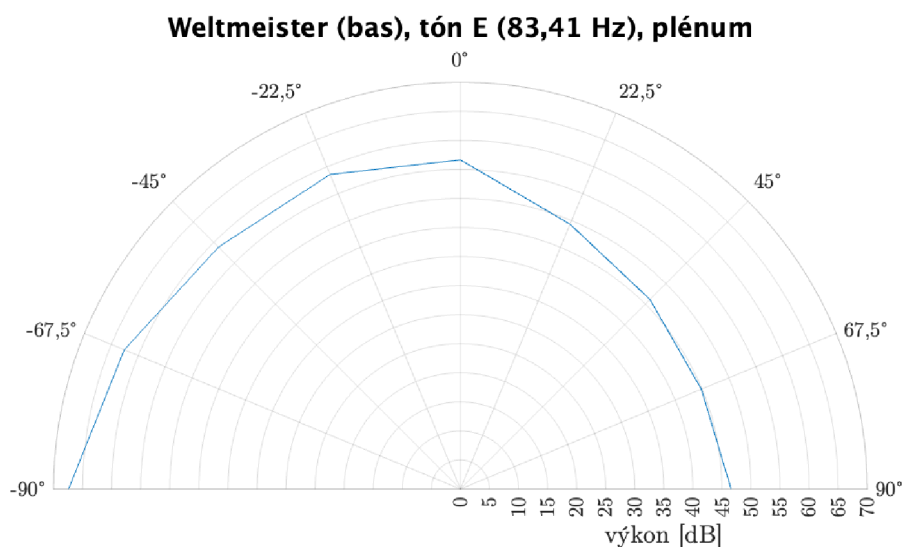


Obr. 3.52: Weltmeister – směrovost tónu c³, 16' rejstřík

Použití rejstříku vrchního výchvěvu (8'+8°) při zahrání téhož tónu zcela přesně zachová tvar křivky, udávající směrovost, což lze vidět na obr. 3.51, pouze opět dojde

k celkovému poklesu výkonu. Tento fakt vylučuje chybu měření, či vadu hlasu samotného osmistopového rejstříku (8'), která by mohla způsobovat onu nepředvídatelnou směrovost.

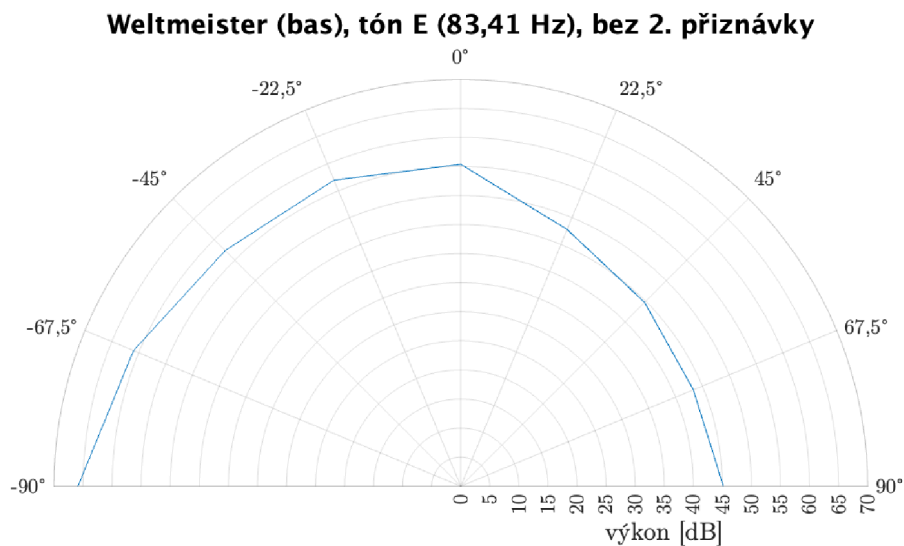
Naopak analýza směrovosti tónu c^3 při použití šestnáctistopového rejstříku (16'), kterou lze vidět na obr. 3.52, navrácí křivku směrovosti do původního tvaru, již známého např. z tónu c^2 na osmistopový rejstřík – tedy nejvyšší výkon je vyzářen směrem doprava od nástroje a poté postupně směrem k nulové ose klesá. Tato skutečnost tedy vyvrací možnost, že by neočekávanou směrovost tónu c^3 při použití osmistopového rejstříku (8') způsoboval např. vyzářovací otvor, vada na klávěse apod.



Obr. 3.53: Weltmeister – směrovost tónu E, plénium

Tón E hraný v basové části s použitím všech 4 oktávových spřažení (plénium) vykazuje naprosto přímou směrovost (obr. 3.53) doleva od nulové osy nástroje (-90°), což se shoduje se směrem, kterým jsou namířeny otvory basové části akordeonu. V porovnání s tóny hranými pomocí diskantové části akordeonu lze pozorovat výrazný nárůst výkonu, který je způsoben zejména velikostí hlásků, které jsou přizpůsobeny tak, aby byly schopné kmitat s nízkou frekvencí, ale s dostatečně velkou amplitudou a také využitím systému 4 oktávových spřažení. Zcela vlevo, na -90° , je vyzářený výkon o cca 12 dB vyšší než na nulové ose, odkud směrem doprava celkový výkon dále klesá – vpravo, na úhlu 90° , je výkon nižší o asi 21 dB, než na protější straně.

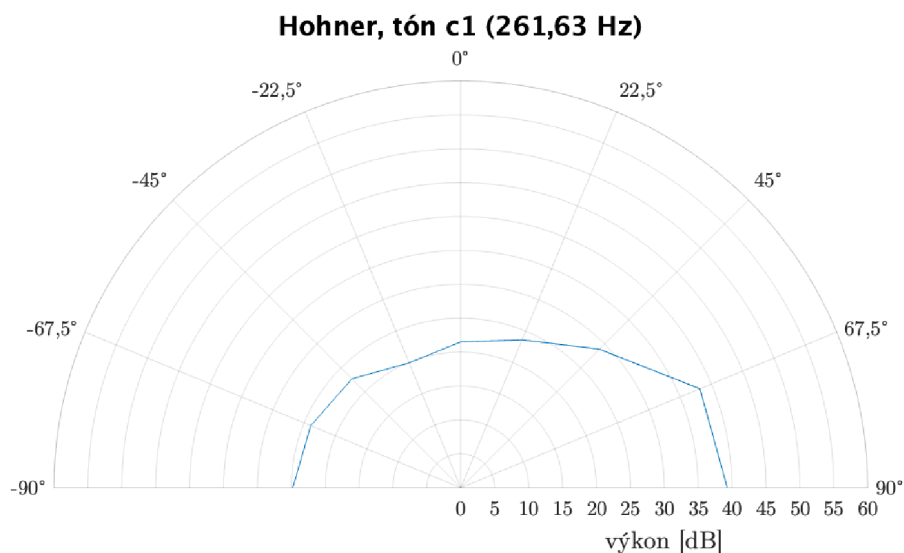
Na obr. 3.54 je poté zobrazena směrovost téhož tónu, pouze s vypnutým nejvyšším oktávovým spřažením – 2. příznávkou. Jak je vidět v grafu, směrovost tónu tímto nijak není ovlivněna. Tak, jako v předchozím případě je nejvyšší výkon vyzářen přímo doleva od nástroje a směrem k nulové ose a doprava tento výkon klesá. Na



Obr. 3.54: Weltmeister – směrovost tónu E, bez 2. příznávky

základě tohoto porovnání tedy lze tvrdit, že vypínače oktávového spřažení v basové části akordeonu nemají vliv na směrovost vyzařování základních tónů.

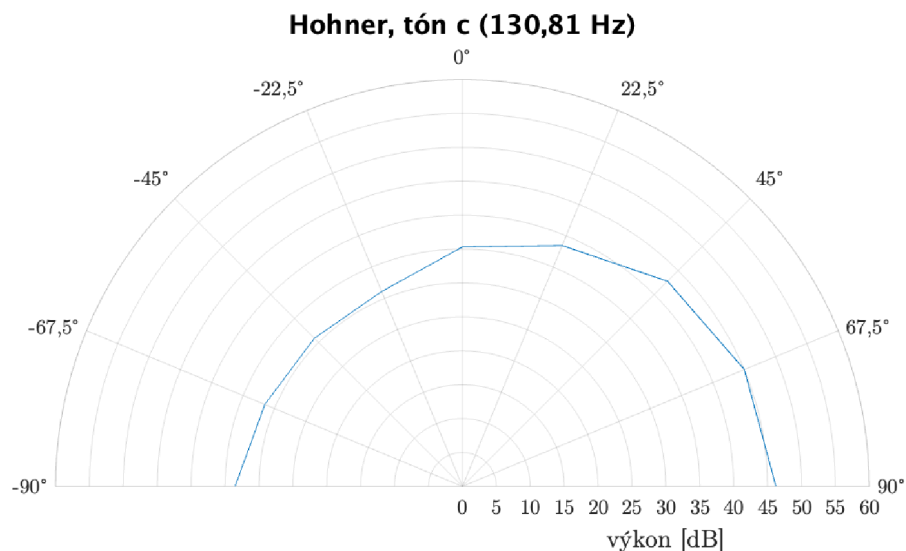
3.6 Směrovost akordeonu Hohner



Obr. 3.55: Hohner – směrovost tónu c¹

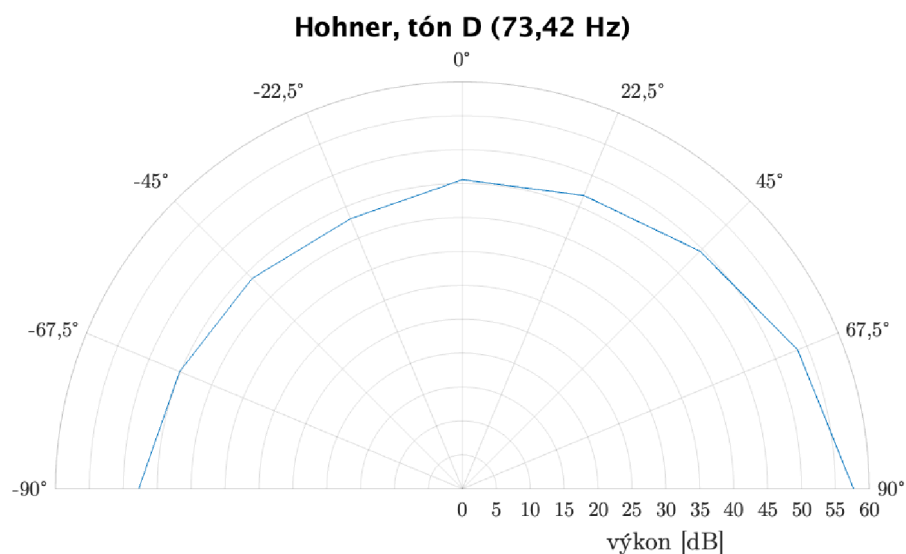
Na obr. 3.55 je zobrazen graf směrovosti nejvyššího tónu z rozsahu basového akordeonu Hohner. Je zde snadno viditelný nízký celkový výkon a výrazná směrovost, která přesně odpovídá nasměrování vyzařovacích otvorů. Nejvíce zvuku je

tedy vyzařováno doprava od nástroje – na $67,5^\circ$ a 90° od nulové osy. Výkon vyzařovaný tímto směrem je cca o 15 dB vyšší než na nulové ose. Celkově nízký výkon tohoto tónu dokazuje skutečnost, že tento nástroj není příliš vhodný svou konstrukcí a volbou použitých hlasů na hraní tónů o takto vysokých frekvencích.



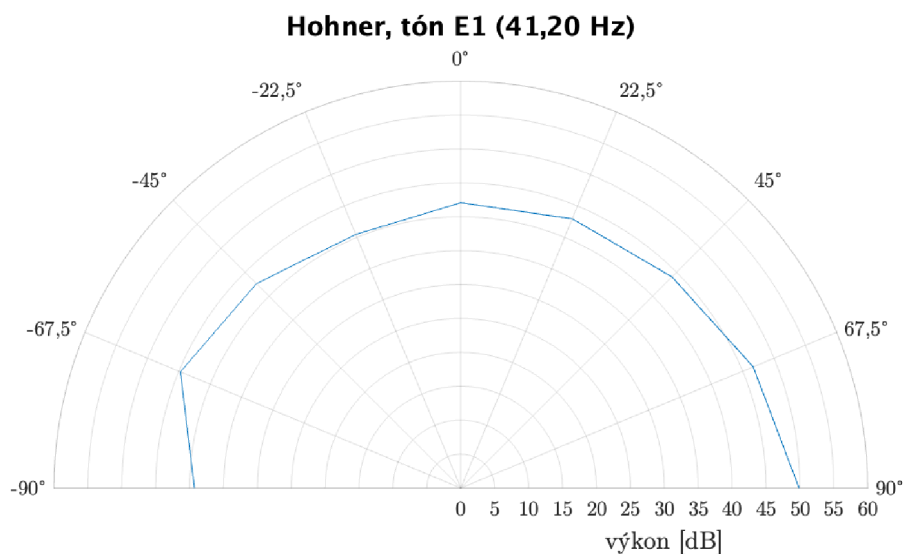
Obr. 3.56: Hohner – směrovost tónu c

O oktávu nižší tón – c – má směrovost, která je zachycena v grafu na obr. 3.56. V porovnání s předchozím analyzovaným tónem lze pozorovat výrazný nárůst výkonu ve všech směrech, stále je však zachována směrovost. Nejvyšší výkon je na $67,5^\circ$ a 90° od nulové osy, kde je asi o 10 dB vyšší vůči výkonu na nulové ose. Směrem doleva od nulové osy poté výkon dále postupně klesá.



Obr. 3.57: Hohner – směrovost tónu D

Tón D, jehož směrnost je zobrazena na obr. 3.57, se nachází v nevhodnější poloze pro basový akordeon. To lze tvrdit na základě vysokého výkonu, a to ve všech směrech, díky čemuž akordeon nejlépe vyplní prostor, bude hlasitý a dokáže se prosadit mezi ostatními zvuky. Nejvyšší výkon je vyzářen směrem doprava (na 90°), kde je výkon o 13 dB vyšší, než na nulové ose. U takto nízké frekvence se již začíná projevovat všesměrovost těchto frekvencí, tedy směrem doleva od nulové osy již výkon dále neklesá a velké množství energie bude vyzářeno i směrem doleva od nástroje.



Obr. 3.58: Hohner – směrnost tónu E¹

Z grafu směrnosti tónu E¹ (obr. 3.58), který je nejnižším tónem z celého rozsahu tohoto akordeonu, je možné vidět, že celkový výkon se při porovnání s předcházejícím tónem D snížil, stejně, jako se snížila i jeho směrnost. Celkové snížení výkonu je způsobeno nízkou frekvencí tónu. Jednotlivé hlásky kmitají (relativně) velmi pomalu a jejich rozměry nejsou dostatečně velké na to, aby byly schopné dosáhnout dostatečně velké amplitudy. Aby byl výkon srovnatelný např. s tónem D, musely by hlásky být rozměrnější, což již není možné realizovat vzhledem k tomu, že nástroj musí mít přijatelné rozměry pro přenášení, samotnou obsluhu apod. Směrnost je nejvýraznější opět na 90° , směrem k nulové ose ale výkon klesne pouze cca o 6 dB, poté již zůstává opět přibližně vyrovnaná.

4 Použití párových mikrofonních technik

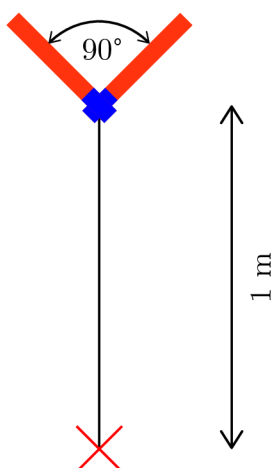
Pro záznam akustických nástrojů lze použít mnoho způsobů. Jedním z nich jsou právě párové (stereo) mikrofonní techniky, které umožňují zachytit nejen samotný zvuk, ale také informaci o rozložení nástroje (nástrojů) v prostoru. Těchto technik existuje relativně velký počet a každá z nich má své charakteristické znaky – vzdálenost mikrofonních kapslí, úhel, který mikrofonní kapsle svírají ad. V praxi se také často používají techniky odvozené od těch „standardizovaných“, které jsou ale upravené pro konkrétní potřeby nahrávání.

V této kapitole bude popsáno a analyzováno pět různých párových technik, s nimiž bylo provedeno měření s akordeonem. Měření proběhlo v nahrávací místnosti Studia Škroupova, tedy v místnosti s akustikou upravenou právě pro nahrávání hudebních nástrojů, čímž bylo simulováno použití těchto technik v praxi. Použité mikrofony byly malomembránové AKG SE 300 B s kapslemi CK 91 s ledvinovou charakteristikou. Signály z obou mikrofonů byly nahrány a uloženy do stereo stopy (levý kanál stera = mikrofón snímající levou stranu z pohledu posluchače, pravý kanál stera = mikrofón snímající pravou stranu z pohledu posluchače) – tedy rozestření mikrofónů bylo 100 % L, 100 % R. Pro co nejvěrnější nasimulování praktického využití byl nahráván vždy krátký melodický úryvek, v němž levá ruka (bas) hrála svou typickou, doprovodnou úlohu a pravá ruka (diskant) hrála, opět typicky, melodii. Nahrané zvukové soubory poté byly analyzovány pomocí softwaru Logic Pro, ve kterém byly použity pluginy pro zobrazení vektorskopu (rozložení stereo obrazu doleva × doprava), měření korelace signálu (zda jsou kanály stereo audia ve fázi) a měření energie signálu (špičkové a efektivní hodnoty v každém z kanálů). Jednotlivé techniky a údaje z grafů popisujících nahrávku s použitím jednotlivých párových technik budou dále analyzovány a popsány. Nulové osy mikrofonního stereo systému byly vždy namířeny na nulovou osu nástroje a mikrofony byly ve výšce 110 cm od země (s výjimkou techniky XY, u níž se kapsle musely vzájemně překrývat). Bylo měřeno s následujícími párovými mikrofonními technikami:

- technika XY – vzdálenost mikrofonních kapslí 0 cm, mikrofony svírají úhel 90°, střed systému míří na střed nástroje ze vzdálenosti 1 m,
- technika AB – vzdálenost mikrofonních kapslí 30 cm, mikrofony jsou vůči sobě umístěny rovnoběžně, střed systému míří na střed nástroje ze vzdálenosti 1 m,
- technika ORTF – vzdálenost mikrofonních kapslí 17 cm, mikrofony svírají úhel 110°, střed systému míří na střed nástroje ze vzdálenosti 1 m,
- technika NOS – vzdálenost mikrofonních kapslí 30 cm, mikrofony svírají úhel 90°, střed systému míří na střed nástroje ze vzdálenosti 1 m,
- technika odděleného snímání obou částí nástroje – vzdálenost mikrofonních kapslí cca 2,5 m, mikrofony svírají úhel asi 120°, pravý mikrofón stereosys-

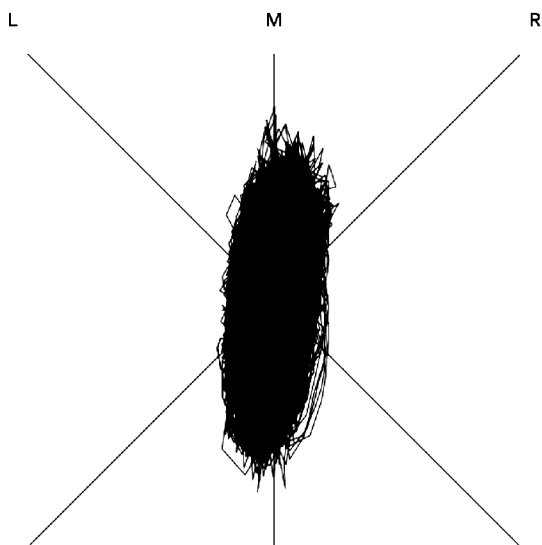
tému snímá basovou část nástroje a míří přímo na vyzařovací otvory, levý mikrofón stereosystému snímá diskantovou část nástroje a taktéž míří přímo na vyzařovací otvory.

4.1 Párová technika XY



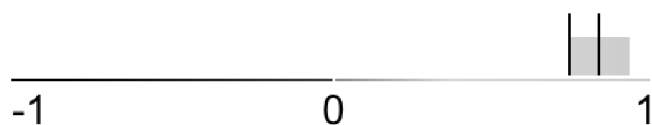
Obr. 4.1: Schéma rozestavení mikrofónů techniky XY

Schéma na obr. 4.1 ilustruje umístění mikrofónů při měření pomocí párové techniky XY. Střed mikrofonního stereo systému směřoval do středu nástroje, tedy na měch akordeonu.



Obr. 4.2: Vektorskop stera při použití techniky XY

Na obr. 4.2 lze vidět vektorskop, který zobrazuje rozložení zvuku v rámci sterea při použití techniky XY. Z vektorskopu lze na první pohled vyčíst, že výsledný stereo obraz je úzký, s velkým množstvím energie soustředěným na střed snímaného prostoru. To ve výsledném záznamu znamená spojení zvuků z obou částí nástroje téměř do jednoho místa v prostoru, zdůraznění zvukových vln, které se šíří vnitřním prostorem nástroje a vyzařují měchem a snížení čitelnosti a rozlišitelnosti melodie (diskantu) od doprovodu (basu). Navíc lze vidět mírné natočení na křivku směrem doprava, což znamená, že bude výraznější pravá část stereo obrazu (v tomto případě basová část).



Obr. 4.3: Zobrazení korelace sterea při použití techniky XY

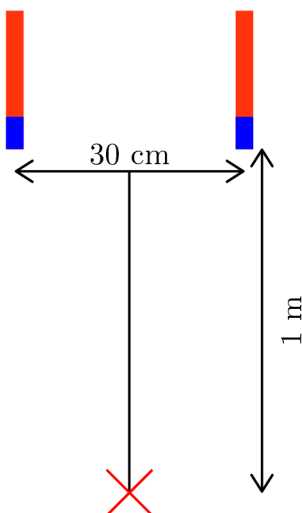
Graf popisující korelaci signálů obou kanálů na obr. 4.3 vykazuje téměř 100% korelaci, což znamená, že signály v obou kanálech jsou vzájemně téměř přesně ve fázi. To je jednoznačnou (obecnou) výhodou techniky XY, zejména pak v případě, kdy by měl být stereo záznam reprodukován monofonně – dojde pouze k minimální ztrátě informace. Tato vlastnost párové techniky XY vyplývá ze vzájemného blízkého umístění mikrofonních kapslí, díky čemuž zvuková vlna dopadne na membrány obou mikrofonů téměř ve stejný čas, a tím nezpůsobí fázové problémy.

	L	R
dB	-10.6 Peak	-11.0
	-24.2 RMS	-21.4

Obr. 4.4: Energie kanálů sterea při použití techniky XY

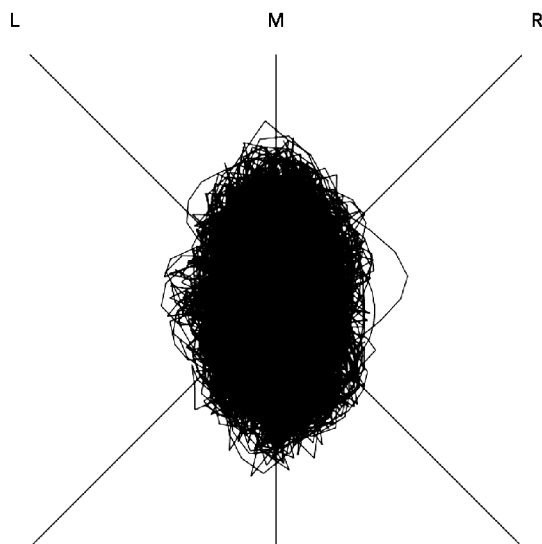
Hodnoty vypsané na obr. 4.4 jsou naměřené špičkové a efektivní hodnoty signálů v jednotlivých kanálech. Z těchto hodnot lze v návaznosti na tvar obrazce na vektorskopu potvrdit, že signál v pravém kanálu stereo záznamu je silnější, a to přibližně o 3 dB RMS. Jelikož byl mikrofonní systém umístěn tak, že směřoval na střed akordeonu, znamená to, že basová část vyzařuje zvuk s větší energií, na základě čehož lze předpokládat, že pravá část stereo obrazu bude silnější i v dalších měřených a analyzovaných párových technikách.

4.2 Párová technika AB



Obr. 4.5: Schéma rozestavění mikrofonů techniky AB

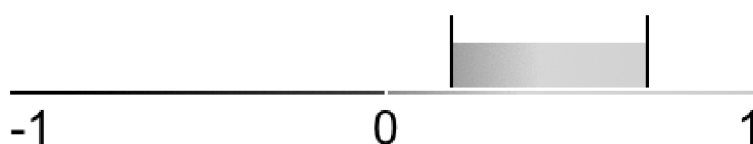
Schéma na obr. 4.5 ilustruje umístění mikrofonů při měření pomocí párové techniky AB. Střed mikrofonního stereo systému směřoval do středu nástroje, tedy na měch akordeonu, samotné mikrofony poté směřovaly přibližně do míst vyzařovacích otvorů jednotlivých částí nástroje.



Obr. 4.6: Vektorskop sterea při použití techniky AB

Vektorskop na obr. 4.6 zobrazuje obrazec, který je oproti předchozí technice XY výrazně širší a na středu naopak nižší. To znamená, že se zvuková energie rozkládá

mnohem více do stran a do jednotlivých kanálů sterea, než aby byla soustředěna na střed prostorového obrazu. To způsobí prostorové rozdělení vyzařovaného zvuku z jednotlivých částí nástroje a tím zvýší jejich čitelnost a rozlišitelnost ve výsledném dvoukanálovém zvuku. Postupné rozšiřování obrazce směrem k vertikálnímu středu vektorskopu a největší šířka uprostřed vertikální roviny ale značí, že rozdělení do jednotlivých kanálů je až příliš velké a při subjektivním poslechu nahrávky již může začít docházet k pocitu přetržení stereo báze – rozestup, mezi jednotlivými částmi nástroje v prostoru je až příliš velký, zvuky basu a diskantu hrají až příliš z boku a střed zvukového prostoru je „prázdný“.



Obr. 4.7: Zobrazení korelace sterea při použití techniky AB

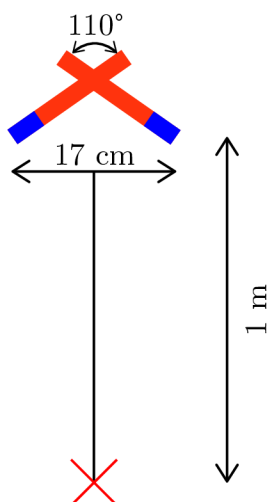
Měřič korelace pro techniku AB, který je na obr. 4.7 vykazuje sice kladnou korelaci, což znamená, že signály v jednotlivých kanálech nejsou v protifázi, rozsah korelace se však pohybuje téměř od 0 a po celé kladné části měřiče. To poukazuje na široký stereo obraz a také na fakt, že při mono reprodukci by mohly nastat komplikace s protifázemi jednotlivých signálů. Tato skutečnost je dána zejména rovnoběžností mikrofonů a třiceticentimetrovou vzdáleností mezi nimi.

	L	R
dB	-9.5 Peak	-11.7
	-23.5 RMS	-23.7

Obr. 4.8: Energie kanálů sterea při použití techniky AB

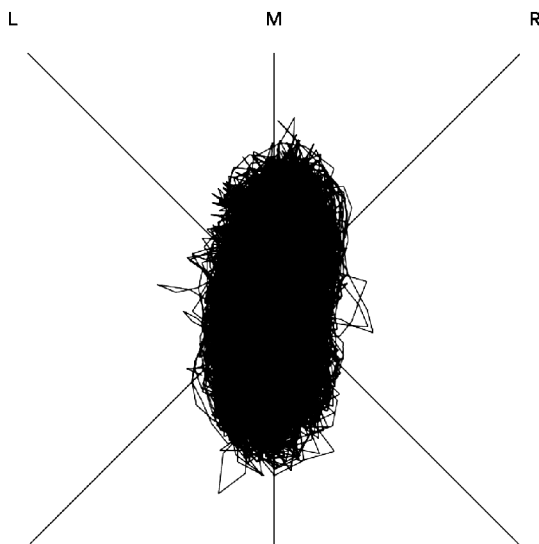
Výhodou techniky AB je vyrovnaná zvuková energie v obou kanálech sterea, viz hodnoty na obr. 4.8. To je způsobeno zejména zesílením levé strany stereo obrazu díky umístění mikrofonu téměř přímo naproti vyzařovacím otvorům diskantové části akordeonu. Naopak pravá strana stereo obrazu není výrazně zesílena, jelikož vyzařovací otvory basové části akordeonu směřují do boku a mikrofon je vůči nim tedy natočen o 90°. Lze tedy říci, že pro vyrovnanou zvukovou energii v obou kanálech sterea je vhodné použití této párové techniky. Nevýhodou ale dále je, že umístění mikrofonů a jejich směřování k určitým mechanickým částem akordeonu (knoflíky a klávesy) způsobí, že při stlačování těchto částí je slyšet mechanický ruch – cvakání, klepaní, ťukání nehtů o klávesy ad.

4.3 Párová technika ORTF



Obr. 4.9: Schéma rozestavení mikrofonů techniky ORTF

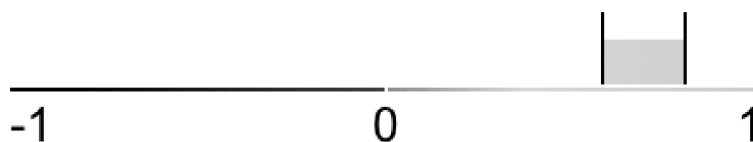
Na obr. 4.9 je zobrazeno schéma ilustrující umístění mikrofonů při měření pomocí párové techniky ORTF. Střed mikrofonního stereo systému se nachází v místě, kde se oba mikrofony kříží a při nahrávání směřoval do středu nástroje, tedy na měch akordeonu.



Obr. 4.10: Vektorskop stera při použití techniky ORTF

Vektorskop pro nahrávku zaznamenanou pomocí párové techniky ORTF je zobrazen na obr. 4.10. Lze na něm vidět určitou šířku obrazce, která naznačuje, že stereo obraz bude mít prostor, ale zároveň nebude až příliš široký. Téměř konstantní šířka

obrazce také poukazuje na pozitivní fakt, a to, že nedojde k subjektivnímu přetržení stereo báze, kdy by pro posluchače působil střed prostoru příliš prázdně. Vlivem užšího obrazu, než např. v případě techniky AB, se ale může stát, že jednotlivé části nástroje budou hůře rozlišitelné a čitelné. Lze také pozorovat mírné stočení obrazce směrem k pravé křivce, což znamená větší zvukovou energii soustředěnou v pravém kanále stera.



Obr. 4.11: Zobrazení korelace stera při použití techniky ORTF

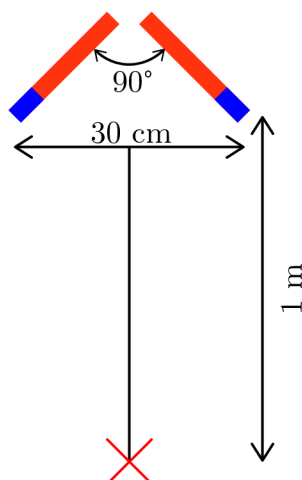
Měření korelace (obr. 4.11) vykázalo kladné hodnoty – ty se pohybují cca od 0,5 do 0,8. Tyto hodnoty se shodují s fakty zjištěnými z vektroskopu – výsledný stereo záznam má širší obraz, než např. v případě techniky XY, ale ne tak široký, aby docházelo k fázovým problémům při monofonní reprodukci záznamu. Tento pozitivní vliv vznikl přiblížením mikrofónů (oproti předchozí technice AB), což by samo o sobě mohlo způsobit zúžení stereo obrazu a zdůraznění středu akordeonu, jako v případě techniky XY. Natočení mikrofónů tak, aby svíraly úhel 110° ale tento problém eliminovalo a způsobilo ono rozšíření stereo báze a zvýšilo rozlišitelnost zvuků z jednotlivých částí nástroje.

	L	R
dB	-12.3 Peak	-11.9
	-23.9 RMS	-22.6

Obr. 4.12: Energie kanálů stera při použití techniky ORTF

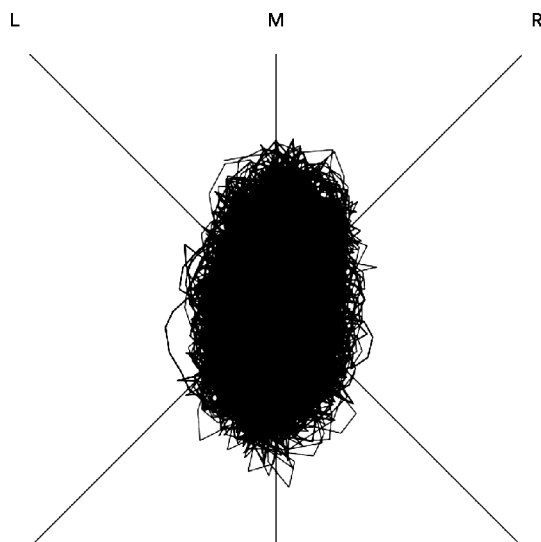
Naměřené hodnoty v dB (4.12) potvrzují tvrzení vzniklé na základě analýzy vektroskopu, a to, že více zvukové energie je soustředěno v pravém kanálu stereo záznamu. Efektivní hodnota v pravém kanálu je o 1,3 dB vyšší, než v kanálu levém, což může být stále zaznamenatelné, je to ale výrazně nižší rozdíl, než byl změřen u párové techniky XY (téměř 3 dB). Silnější signál pravého kanálu je způsoben opět větší koncentrací zvukové energie v pravé části prostoru a tím, že ani jeden z mikrofónů nesměřuje přímo na vyzařovací otvory akordeonu.

4.4 Párová technika NOS



Obr. 4.13: Schéma rozestavení mikrofonů techniky NOS

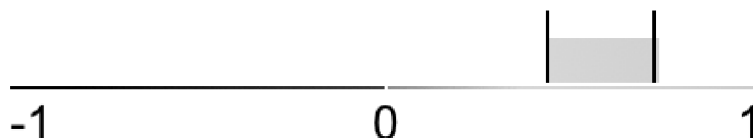
Schéma na obr. 4.13 ilustruje umístění mikrofonů při měření pomocí párové techniky NOS. Střed mikrofonního stereo systému směřoval do středu nástroje, tedy na měch akordeonu. Kapsle jednotlivých mikrofonů byly přibližně na úrovni vyzařovacích otvorů diskantové části a na úrovni knoflíků basové části, vzájemně svíraly úhel 90° .



Obr. 4.14: Vektorskop stera při použití techniky NOS

Obr. 4.14 zachycuje vektorskop pro párovou techniku NOS. Vlivem zvětšení vzdálenosti mikrofonů došlo k rozšíření stereo obrazu – obrazec na vektorskopu se více

natahuje na jednotlivé křivky stran ve stereu. Lze pozorovat poměrně rychlý nárůst šířky obrazce, která je poté téměř konstantní. To opět poukazuje na celistvost prostorového dojmu při tomto mikrofonním uspořádání i přes zvětšení šířky stereo obrazu. Díky tomu je možné dosáhnout dobrého a kvalitního prostorového efektu nahrávky, snadné čitelnosti nahrávky, rozlišitelnosti jednotlivých částí akordeonu a díky natočení mikrofonů tak, že nesměřují přímo na klávesy a knoflíky také potlačení nežádoucích mechanických ruchů (cvakání ad.).



Obr. 4.15: Zobrazení korelace stera při použití techniky NOS

Graf popisující korelaci nahrávky na obr. 4.15 opět nabývá kladných hodnot v rozsahu cca 0,4–0,7. Tím, že se hodnoty více blíží k 0 je potvrzena větší prostorovost záznamu a šířka stereo obrazu, zároveň však víme, že i při použití této techniky, při níž jsou mikrofony relativně vzdáleny, nedochází k fázovým problémům a tím ke vzniku hřebenového filtru, který by znehodnocoval záznam. Při monofonní reprodukci by již došlo k určité ztrátě informace, ale stále ne na takové úrovni, že by nebylo možné tuto techniku použít.

	L	R
dB	-11.5 Peak	-9.8
	-22.5 RMS	-21.3

Obr. 4.16: Energie kanálů stera při použití techniky NOS

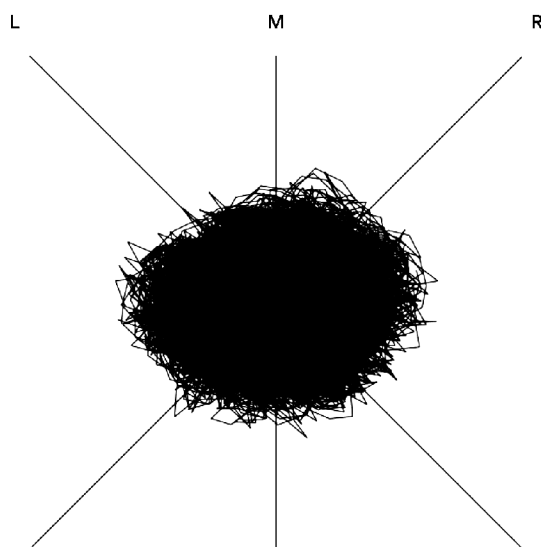
Jedinou nevýhodou této mikrofonní techniky je opět více energie nacházející se v pravé části stereo obrazu, což lze vidět na hodnotách na obr. 4.16. Hodnota signálu v pravém kanálu stera je o 1,2 dB vyšší než v levém. Důvody této nevyváženosti jsou stejné, jako ve výše zmiňovaných a rozebíraných případech – více vyzařované zvukové energie z basové části akordeonu a nepřímé směřování mikrofonu na diskantovou část. To je ale snadno řešitelné mírným posunutím systému směrem doleva, nebo (lépe) zesílením signálu z levého mikrofonu stereo systému tak, aby došlo k vyvážení hodnot v obou kanálech.

4.5 Párová technika odděleného snímání obou částí nástroje



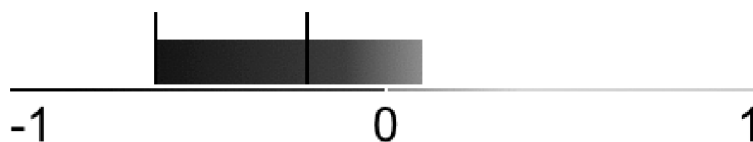
Obr. 4.17: Rozestavení mikrofonů při odděleném snímání

Na obr. 4.17 lze vidět rozestavení mikrofonů při odděleném snímání diskantové a basové části akordeonu. Oba mikrofony byly umístěny tak, že směřovaly přímo na vyzařovací otvory jednotlivých částí akordeonu a od těchto otvorů byly vzdáleny cca 0,5 m.



Obr. 4.18: Vektorskop stera při odděleném snímání

Vektorskop na obr. 4.18 ukazuje rozložení sterea při použití tohoto odděleného snímání. Na první pohled lze vidět výrazně větší šířku, než výšku obrazce zobrazeného na vektroskopu. To indikuje velmi široký stereo obraz, a to až do takové míry, že zcela nepochybně dojde k přetržení stereo báze. Posluchači to způsobí dojem, že jednotlivé části nástroje hrají téměř výhradně ze stran, což se neslučuje s fyzickou konstrukcí nástroje, tedy tento efekt vzbudí dojem nepřírozenosti. Střed vytvořeného zvukového prostoru bude poté v podstatě prázdný.



Obr. 4.19: Zobrazení korelace sterea při odděleném snímání

Korelace signálu zobrazená na obr. 4.19 vykazuje výrazně a téměř výhradně záporné hodnoty. Na základě toho lze opět říci, že překročením nulové hodnoty na měřiči korelace došlo k přetržení stereo báze a zvukové signály v jednotlivých kanálech jsou více či méně v protifázi. To by sice nevadilo při poslechu se 100% akustickým stínem hlavy, tedy při sluchátkovém poslechu, ale výrazné problémy by tento fakt začal způsobovat při poslechu na studiové monitory, obyčejné reproduktory, či při monofonním poslechu. V takovém případě by začalo docházet ke vzniku hřebenového filtru a ztrácela by se velmi podstatná část zvukové informace.

	L		R
dB	-9.0	Peak	-7.9
	-20.1	RMS	-19.1

Obr. 4.20: Energie kanálů sterea při odděleném snímání

Naměřené hodnoty energie v jednotlivých kanálech (obr. 4.20) ukázaly, že i přes oddělené snímání jednotlivých částí akordeonu nejsou tyto části zvukově vyrovnány. Rozdíl je sice malý, ale stále se jedná o 1 dB RMS ve prospěch pravého kanálu stereo záznamu. To znamená pouze další nevýhodu tohoto snímání nástroje. Shrnutím všech těchto poznatků lze říci, že snad až na velmi specifické a konkrétní situace je tato metoda snímání akordeonu nepoužitelná.

Závěr

Bakalářská práce se věnovala klávesovému akordeonu a jeho zvuku. Byl popsán vznik tónu na principu průrazného kovového jazýčku, spojování různých hlasů pro výsledný zvuk akordeonu, analyzovány vlastnosti zvuku, který těmito způsoby vznikne a následně testovány různé párové mikrofonní techniky vhodné pro nahrávání zvuku akordeonu. Měřené a následně analyzované nástroje byly akordeony Delicica Junior III, Weltmeister Caprice 120 a basový akordeon Hohner BASSO 372. Nahrávky, které byly podrobeny spektrální a směrové analýze, byly zaznamenány v bezodrazové komoře a byly hrány jedním hráčem, pro docílení co nejkonstantnější síly, kterou bylo taháno za měch akordeonu a tím co nejkonstantnějšího proudu vzduchu, který rozkmitává jednotlivé hlásky. Praktické měření s párovými technikami bylo provedeno v místnosti nahrávacího studia, a to proto, aby byly navozeny co nejrealnější podmínky pořizování zvukové nahrávky.

Bylo vybráno několik tónů, které byly pro spektrální a směrovou analýzu změněny. Voleny byly tak, aby byl pokryt téměř celý rozsah nástroje, a to jak fyzický (výška nástroje, podél níž jsou rozloženy otvory pro vyzařování), tak tónový (rozsah tónů, který je akordeon schopen zahrát). Ve třetí kapitole věnované analýze však nebyly grafy (a analýzy) všech těchto měřených tónů. Popsány v této práci byly pouze ty tóny, u nichž to vzhledem k výstupu a zjištěným informacím z grafů dávalo smysl. Zejména tedy v basové části akordeonu byl obvykle rozebrán pouze jeden tón (případně s různým oktávovým spřažením), jelikož charakteristika a popis ostatních tónů byly velmi podobné, případně zcela stejné. Pro měření s párovými technikami ve čtvrté kapitole byl zahrán krátký jednoduchý hudební úryvek oběma částmi akordeonu zároveň. Diskantová část akordeonu hrála melodii a basová část akordeonu hrála doprovod melodii – tak, jak to nejvíce odpovídá reálnému použití.

Spektrální analýzy tónů ukázaly, že tón akordeonu má poměrně široké spektrum. To, z jakých složek je spektrum složeno, však velmi výrazně závisí na použitém rejstříku, se kterým je tón zahrán. V případě použití rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$) se v podstatě „překryjí“ dvě spektra dvou různých hlasů s mírně odlišnou frekvencí, čímž vzniknou rázy, z nichž vyplývá typický zvuk akordeonu – efekt tremola. Dále bylo možno vidět, že spojováním více různých hlasů, které nejsou zcela přesně stejně naladěny, mohou vznikat různá spojení, která vyplývají v necelocíselné poměry jednotlivých harmonických složek, které mohou působit subjektivně nepříjemný zvuk. Porovnání spekter tónů na šestnáctistopovém rejstříku ($16'$) s tóny o oktávu nižšími na osmistopovém rejstříku ($8'$) ukázalo, že výška tónu (frekvence 1. harmonické) je sice stejná, přesto ale není možné tyto tóny libovolně zaměňovat, jelikož poměry vyšších harmonických složek jsou jiné, z čehož vyplývá různá barva tónů. Spektrum tónů u akordeonu Weltmeister bylo ovlivněno přítomností

šachtové ozvučnice, v níž jsou umístěny hlasy akordeonu. Úkolem této ozvučnice je potlačovat vyšší části spektra a tím zamezit přítomnosti disonantních složek ve výsledném zvuku, což je prokázáno u popisu jednotlivých tónů – oblasti vyšších frekvencí klesaly výrazně rychleji, než v případě akordeonu Delicia. U tónu c^2 na akordeonu Weltmeister byl také zjištěn (pravděpodobně) negativní vliv tvaru krytu diskantové části nástroje, který způsobil potlačení určité frekvence, na které se nacházela jedna z harmonických složek spektra tohoto tónu. Analýza tónů hraných v basové části ukázala, že vliv přítomnosti hlasu 2. příznávky na výsledné spektrum se liší podle akordeonu. Tón basové části akordeonu Delicia bez a s 2. příznávkou byl téměř stejný a dalo se tvrdit, že rozdíl byl jen obtížně pozorovatelný. Naproti tomu tón basové části akordeonu Weltmeister byl relativně výrazně ovlivněn přítomností, resp. nepřítomností hlasu 2. příznávky. Je však zcela nesporné, že zapojení, resp. nezapojení 2. příznávky, by mělo vždy slyšitelný vliv na složení spektra při hraní akordů v basové části. Analýza spektra basového akordeonu prokázala skutečnost, že tento akordeon je určen pro hraní basových tónů, jelikož ve vyšších polohách již tón nedosahoval takové kvality, byl velmi úzký a jeho spektrum bylo „chudé“.

Dále byla v práci věnována pozornost směrovosti konkrétních tónů v diskantové i v basové části. Výsledky analýzy směrovostí obvykle odpovídaly tomu, co lze předpokládat – nejvyšší vyzařovaný výkon nástroje je do toho směru, kterým jsou namířeny i otvory nástroje. Tóny s nižší frekvencí ve většině případů disponují nižší směrovostí a zároveň vyšším celkovým vyzařovaným výkonem. V případě spojení více hlasů pomocí rejstříku je výsledná směrovost a výkon ovlivněn téměř výhradně právě nejnižším zapojeným hlasem. Naopak tóny s vyšší frekvencí se vyznačují vyšší směrovostí a nižším celkovým výkonem. Toto je dále ovlivňováno použitím rejstříku vrchního výchvěvu ($8'+8^\circ$), který směrovost ještě více zvýší a výsledný výkon tónu sníží. Neočekávaná směrovost vyplynula při analýze grafu směrovosti tónu c^3 , kde bylo zjištěno poměrně velké zvýšení vyzařovaného výkonu na opačnou stranu, než jsou umístěny vyzařovací otvory diskantové části. Zvýšení je pravděpodobně způsobeno rezonancí zvukových vln uvnitř nástroje. Rozbor grafu směrovosti tónu hraného v basové části akordeonu poukázal na celkový vysoký vyzářený výkon, což odpovídá i poznatkům získaným z předešlých analýz. Při porovnání grafu tónu, kdy bylo využito plného zapojení oktávového spřažení a grafu téhož tónu s vypnutím 2. příznávky, bylo zjištěno, že přítomnost hlasu 2. příznávky má téměř zanedbatelný vliv na směrovost základních tónů v basové části. Při vypnutí 2. příznávky došlo pouze k mírnému snížení celkového výkonu tónu.

Měření a analýza nahrávek realizovaných pomocí různých párových technik ukázala výhody a nevýhody jednotlivých způsobů uspořádání mikrofonů. Technika **XY** vykazovala velmi kladnou korelaci signálů v obou kanálech a tedy dobrou monofonní kompatibilitu, výsledný stereofonní obraz byl ale velmi úzký, sléval zvuky obou částí

akordeonu dohromady a ve výsledné nahrávce posiloval pravou část zvukového prostoru. Technika **AB** oproti tomu výrazně rozšířila stereo obraz, zvýšila rozlišitelnost melodie a doprovodu a vyrovnala energii levé a pravé části sterea. Šířka sterea ovšem byla zvětšena až do takové míry, že již začínalo být mírně patrné přetrhnutí stereofonní báze a prázdnota středu zvukového prostoru. Snížila se také korelace, což zhoršilo schopnost záznamu být reprodukován monofonně. Párová technika **ORTF** vytvořila stereo obraz se šířkou dostatečnou k tomu, aby zvuk nepůsobil centrovane a aby bylo možné nabýt dojmu prostorového zvuku, nikoliv však zvláště výrazného. Kompromisem k vytvoření prostoru ve stereu bylo mírné snížení korelace oproti téměř 100% korelaci u techniky XY, i takto však nedocházelo k žádným fázovým problémům. Pravá strana zvukového prostoru opět disponovala mírně vyšší energií, než levá. Technika **NOS** ještě více rozšířila stereo bázi, a to tak, že ve výsledné nahrávce jsou jasně rozlišitelné obě části akordeonu, které ze záznamu jasně vystupují, zároveň ale zvuk působí jako celek, včetně zvukové energie na středu stereo báze. Korelace obou signálů se i přes šířku zvukového prostoru pohybuje v kladných hodnotách. Negativem je opět mírné zesílení pravé části sterea. Poslední použitá technika, při níž byly **odděleně snímány obě části akordeonu**, způsobila výrazné roztržení stereo báze, přímé oddělení jednotlivých stran zvukového prostoru a tím i zvuku ze samotných částí akordeonu. To by posluchači způsobilo dojem, že diskantová část akordeonu hraje pouze z jedné strany, zatímco basová část akordeonu hraje přímo naproti, ze strany druhé, což je vzhledem k fyzické konstrukci nástroje nemožné a proto by nástroj při zaznamenání tímto způsobem zněl velmi nepřírozně, až nepříjemně. Signály obou kanálů sterea jsou navíc výrazně v protifázi, vlivem čehož dojde k zásadní degradaci zvukového signálu.

Na základě výše zmíněných objektivních měření a také na základě subjektivních dojmů autora této práce lze jako nejvhodnější párovou techniku pro záznam akordeonu doporučit techniku **NOS**. Použití této techniky zajistí zvukovou celistvost nahrávky a zároveň napomůže ke zvýraznění obou částí nástroje tak, aby to, co je hráno, bylo sluchem jasně rozlišitelné a dokázalo si ve zvukovém prostoru najít své umístění.

Literatura

- [1] LUCIFERO, Giovanni. *Stradella Bass Layouts*. Accordion Chords [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://accordionchords.com/category/stradella-bass-layouts/>
- [2] *Working mechanism of the accordion*. La Malle aux Accordéons [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.lamalleauxaccordeons.fr/en/content/7-working-mechanism-of-an-accordion>
- [3] SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2013. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 978-80-7331-297-8.
- [4] VIČAR, Jan. *Akordeon a jeho hudební uplatnění*. Panton, 1981, 126 s.
- [5] *Accordion reeds: old, used or brand new*. Accordion doctor [online]. 2021 [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://accordion-doctor.com/blog/old-accordion-reeds/>
- [6] JIRÁNEK, Jaroslav a Tomáš HEJZLAR. *Světlem hudebních nástrojů: o jejich vzniku a výrobě*. Praha: Panton, 1979. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:4e79c500-4520-11e3-9c86-005056827e51>
- [7] *Audix TM1 Data Sheet* [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: https://audixusa.com/wp-content/uploads/2020/08/TM1_v5.1.pdf
- [8] *Brüel & Kjaer 4189 Data Sheet* [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/en/transducers/acoustic/microphones/microphone-cartridges/4189>
- [9] GREIPLOVÁ, Barbora. *Analýza spektra různých typů saxofonů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2022, 67 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

A Elektronické přílohy

K práci jsou přiloženy programy, pomocí nichž byla naměřená data analyzována a také samotné analyzované audio soubory.

A.1 Programy pro MATLAB

V archivu *Smer* jsou uloženy kódy programů pro analyzování směrovosti a vytvoření příslušných grafů. V dalším archivu *Spektrum* jsou uloženy kódy programů pro analyzování spektra a časového průběhu signálu, vytvoření příslušných grafů a také složka s audio soubory, které byly pro analýzu spekter použity.

A.2 Audio soubory

Archiv *Audio_soubory* obsahuje složky s audio soubory ze všech 9 mikrofonů použitých pro záznam zvuku, který byl spektrálně a směrově analyzován. Tyto složky jsou vždy pojmenovány dle nástroje a poté dle příslušných tónů. Čísla jednotlivých nahrávek jsou seřazeny 1–9 ve směru řazení mikrofonů – zleva doprava. Dále tento archiv obsahuje nahrávky jednoduchých hudebních úryvků, které byly zaznamenány pomocí různých mikrofonních párových technik. Soubor je vždy pojmenován dle techniky, která byla pro záznam použita.