

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2024

Lucián Petrovský



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 NAKOLIK SE RŮZNÁ VELIKOST REZONANČNÍCH SKŘÍNÍ KONTRABASU PODÍLÍ NA BARVĚ NÁSTROJE

THE ANALYSIS OF HOW THE DIFFERENT SIZES OF DOUBLE BASS SOUND BOARD CONTRIBUTE TO THE
TIMBRE OF THE INSTRUMENT

BAKALÁRSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucián Petrovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek,
Ph.D.**

BRNO 2024

Bakalářská práce

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

Student: Lucián Petrovský

ID: 228651

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Analýza nakolik se různá velikost rezonančních skříní kontrabasu podílí na barvě nástroje

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nahrajte a změřte nejméně 4 druhy kontrabasů s rozdílnými rezonančními skříněmi i v různém ladění. Změřte a vyhodnoťte vybrané tóny v různé dynamice. Porovnejte spektra – zastoupení harmonických složek a jejich intenzitu i složek neharmonických. Speciálně detailně identifikujte a porovnejte formantové oblasti. Proveďte i komparaci směrového vyzařování nástrojů. Zaměřte se rovněž na akusticko-mechanické vlastnosti nástrojů: popište rezonanční skříň (hmotnost, hustotu dřeva, stavbu, žebrovní), zaměřte se i na rychlost zvuku ve dřevě, Youngův model pružnosti, útlum, odpor, akustickou konstantu, rezonanční křivky. Tyto vlastnosti dejte do souvislostí s barvou nástroje a najděte vzájemnou korelaci. Výstupem bude srovnání spekter nástrojů, a hlavně jejich rezonančních módů, a analýza i vyhodnocení, jak se různé rezonanční skříně podílejí na barvě kontrabasů. V semestrální práci proveďte nahrání a změření nejméně dvou kontrabasů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SYROVÝ, Václav. Hudební akustika. 3., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2013. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 978-80-7331-297-8 [2] 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: 5.2.2024

Termín odevzdání: 28.5.2024

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 práce se zabývá srovnáním třech kontrabasů s různými velikostmi rezonančních skříní. Zaměřuje se na porovnání spekter, spektrogramů, formantových oblastí, směrovosti a rezonančních módů jejich skříní. Výstupem práce je zkoumání vlivu různě velikých skříní na barvu nástroje. Teoretická část obsahuje základní informace, stručnou historii a přehled důležitých veličin. Praktická část obsahuje srovnávání tabulek a grafů potřebných k vyhodnocení závěru.

Klíčová slova

Spektrální analýza, spektrum, spektrogram, formantové oblasti, LPC analýza, směrová vyzařovací charakteristika, rezonance, barva zvuku

Abstract

This thesis deals with the comparison of three double basses with different resonance box sizes. It focuses on the comparison of spectra, spectrograms, formant regions, directivity and resonant modes of their cabinets. The output of the thesis is an investigation of the effect of different cabinet sizes on the timbre of the instrument. The theoretical part contains background information, a brief history and a review of important quantities. The practical part contains comparison tables and graphs needed to evaluate the conclusion.

Keywords

Spectral analysis, spectrum, spectrogram, formant regions, LPC analysis, directional radiation characteristics, resonance, timbre

Bibliografická citace

PETROVSKÝ, Lucián. *Analýza nakolik se různá velikost rezonančních skříní kontrabasu podílí na barvě nástroje*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/153762>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ondřej Jirásek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Lucián Petrovský
VUT ID studenta:	228651
Typ práce:	Bakalářská
Akademický rok:	2023/2024
Téma závěrečné práce:	Analýza nakolik se různá velikost rezonančních skříní podílí na barvě nástroje

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

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 26. května 2024

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce MgA. et. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji hráči Jindřichovi Konvalinkovi za ochotu a trpělivost při nahrávání v bezodrazové komoře.

V Brně dne: 26. května 2024

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
ÚVOD.....	12
1. ZÁKLADNÍ INFORMACE A STAVBA.....	13
2. STRUČNÁ HISTORIE KONTRABASU.....	15
2.1. KONTRABAS V 16. STOLETÍ	15
2.2. KONTRABAS V 17. STOLETÍ	16
2.3. KONTRABAS V 18. STOLETÍ	16
2.4. KONTRABAS V 19. STOLETÍ	16
2.5. KONTRABAS V 20. STOLETÍ	16
2.6. KONTRABAS V 21. STOLETÍ	16
3. AKUSTICKÉ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	17
3.1. YOUNGŮV MODEL PRUŽNOSTI A RYCHLOST ZVUKU VE DŘEVĚ.....	17
3.2. AKUSTICKÁ KONSTANTA	18
3.3. AKUSTICKÝ VLNOVÝ ODPOR A ÚTLUM	18
3.4. POHYB NA STRUNĚ	19
4. MĚŘENÍ.....	22
4.1. ZPŮSOB MĚŘENÍ.....	22
4.2. ZMĚŘENÉ NÁSTROJE	22
4.3. SPEKTROGRAMY A SPEKTRUM TÓNŮ V METODOU ARCO V DYNAMICE FORTE	23
4.3.1. <i>Srovnání spektra tónů A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	23
4.3.2. <i>Srovnání spektra tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	25
4.3.3. <i>Srovnání spekter tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	27
4.3.4. <i>Srovnání spekter tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	30
4.3.5. <i>Srovnání spekter tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	32
4.4. SPEKTROGRAMY A SPEKTRUM TÓNŮ V METODOU ARCO V DYNAMICE MEZZOFORTE	35
4.4.1. <i>Spektrogram a spektrum tónů A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu hrané metodou arco mezzoforte</i>	35
4.4.2. <i>Srovnání spekter tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu hrané metodou arco mezzoforte.....</i>	37
4.4.3. <i>Spektrogramy tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu hrané metodou arco mezzoforte</i>	40
4.4.4. <i>Spektrogramy tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu hrané metodou arco mezzoforte.....</i>	42
4.4.5. <i>Srovnání spekter tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu hrané metodou arco mezzoforte.....</i>	45
4.5. SPEKTROGRAMY A SPEKTRUM TÓNŮ V METODOU ARCO V DYNAMICE PIANO	47

4.5.1.	<i>Srovnání spekter tónů A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano</i>	47
4.5.2.	<i>Srovnání spekter tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano</i>	50
4.5.3.	<i>Srovnání spekter tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano</i>	53
4.5.4.	<i>Srovnání spekter tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano</i>	56
4.5.5.	<i>Spektrogramy tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano</i>	58
4.6.	SROVNÁNÍ SPEKTER TÓNŮ RŮZNÝCH TECHNIK HRY A VLČÍHO TÓNU	61
4.6.1.	<i>Srovnání spektra struny G prvního a třetího kontrabasu a struny D druhého metodou hry sul ponticelo</i>	62
4.6.2.	<i>Srovnání spekter struny G prvního a třetího kontrabasu a struny D druhého metodou hry sul tasto</i> 64	
4.6.3.	<i>Srovnání spekter metody hry pizzicato tón A2 prvního a třetího kontrabasu a tón G1 druhého kontrabasu</i>	66
4.6.4.	<i>Srovnání spekter vlčího tónu kontrabasů</i>	68
4.7.	ANALÝZA FORMANTOVÝCH OBLASTÍ	70
4.7.1.	<i>Formantové oblasti tónu A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu metodou arco forte</i>	71
4.7.2.	<i>Formantové oblasti tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu metodou arco forte</i>	72
4.7.3.	<i>Formantové oblasti tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte</i>	74
4.7.4.	<i>Formantové oblasti metodou hry sul ponticelo</i>	75
4.7.5.	<i>Formantové oblasti metodou hry sul tasto</i>	76
4.7.6.	<i>Srovnání formantů metody hry pizzicato tón A2 prvního a třetího kontrabasu a tón G1 druhého kontrabasu</i>	77
4.7.7.	<i>Srovnání formantů vlčího tónu</i>	78
4.7.8.	<i>Shrnutí formantových oblastí</i>	79
4.8.	SMĚROVOST KONTRABASŮ	79
4.8.1.	<i>Směrovost prvního kontrabasu</i>	80
4.8.2.	<i>Směrovost druhého kontrabasu</i>	82
4.8.3.	<i>Směrovost třetího kontrabasu</i>	83
4.8.4.	<i>Srovnání směrovostí kontrabasů</i>	84
4.9.	ANALÝZA REZONANCE KONTRABASŮ VZHLEDEM K JEJICH REZONANČNÍM SKŘÍNÍM	84
4.9.1.	<i>Změřené velikosti kontrabasů</i>	84
4.9.2.	<i>Rezonance při tónech A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu</i>	87
4.9.3.	<i>Rezonance tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu</i>	90
4.9.4.	<i>Rezonance tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu</i>	93
4.9.5.	<i>Rezonance tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu</i>	96
4.9.6.	<i>Rezonance tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu</i>	99
4.9.7.	<i>Shrnutí rezonancí kontrabasů</i>	101
5.	ZÁVĚR	105
	LITERATURA	106
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	107
	SEZNAM PŘÍLOH	108

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Basový trámec převzato z [7].....	14
1.2	Stavba kontrabasu.....	14
2.1	Kontrabas výrobce Gasparo da Salo z roku 1580 (převzato z [8])	15
3.1	Závislost akustického vlnového odporu na tlumení zvuku (převzato z [5])	19
3.2	Spektrum kmitů struny při drknutí v jiné délce (dostupné z [1])	20
3.3	Ideální Helmholtzův pohyb [dostupné z 10]	21
3.4	Reálný Helmholtzův pohyb (dostupné z [10])	21
4.1	Změřené kontrabasy	22
4.2	Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu arco forte	23
4.3	Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco forte.....	23
4.4	Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco forte.....	23
4.5	Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco forte	25
4.6	Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco forte	25
4.7	Spektrogram a spektrum tónu E3 třetího kontrabasu arco forte	26
4.8	Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasu arco forte	27
4.9	Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasu arco forte	28
4.10	Spektrogram a spektrum tónu CIS4 třetího kontrabasu arco forte	28
4.11	Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrabasu arco forte	30
4.12	Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasu arco forte	30
4.13	Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco forte.....	31
4.14	Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrabasu arco forte	32
4.15	Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrabasu arco forte	33
4.16	Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco forte	33
4.17	Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu arco mezzoforte	35
4.18	Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco forte	35
4.19	Spektrogram a spektrum tónu A2 třetího kontrabasu arco mezzoforte	36
4.20	Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco mezzoforte.....	37
4.21	Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco mezzoforte.....	38
4.22	Spektrogram a spektrum tónu E3 třetího kontrabasu arco mezzoforte.....	38
4.23	Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasu arco mezzoforte	40
4.24	Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasu arco mezzoforte	40
4.25	Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco mezzoforte.....	41
4.26	Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrabasu arco mezzoforte	42
4.27	Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasu arco mezzoforte.....	43
4.28	Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco mezzoforte	43
4.29	Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrabasu arco mezzoforte.....	45
4.30	Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrabasu arco mezzoforte.....	45
4.31	Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco mezzoforte.....	46
4.32	Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu arco piano	47
4.33	Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco piano.....	48
4.34	Spektrogram a spektrum tónu A2 třetího kontrabasu arco piano	48
4.35	Spektrogram a spektrum tónu E3prvního kontrabasu arco piano	50
4.36	Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco piano.....	51
4.37	Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco piano.....	51
4.38	Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasu arco piano	53
4.39	Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasu arco piano	54
4.40	Spektrogram a spektrum tónu CIS4 třetího kontrabasu arco piano	54

4.41	Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrabasu arco piano	56
4.42	Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasu arco piano	56
4.43	Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco piano	57
4.44	Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrabasu arco piano	58
4.45	Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrabasu arco piano	59
4.46	Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco piano	59
4.47	Spektrogram a spektrum struny G prvního kontrabasu sul ponticello	62
4.48	Spektrogram a spektrum struny D druhého kontrabasu sul ponticello	62
4.49	Spektrogram a spektrum struny G třetího kontrabasu sul ponticello	62
4.50	Spektrogram a spektrum struny G prvního kontrabasu sul tasto	64
4.51	Spektrogram a spektrum struny D druhého kontrabasu sul tasto	64
4.52	Spektrogram a spektrum struny G třetího kontrabasu sul tasto	64
4.53	Spektrogram a spektrum struny tónu A2 prvního kontrabasu pizzicato	66
4.54	Spektrogram a spektrum tónu G1 druhého kontrabasu pizzicato	66
4.55	Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu pizzicato	66
4.56	Spektrogram a spektrum vlčího tónu prvního kontrabasu	68
4.57	Spektrogram a spektrum vlčího tónu druhého kontrabasu	68
4.58	Spektrogram a spektrum vlčího třetího prvního kontrabasu	68
4.59	Formantové oblasti samohlásek (dostupné z [12])	70
4.60	Formantové oblasti tónu A2 a G2 forte	71
4.61	Formantové oblasti tónu CIS4 a B3 forte	72
4.62	Formantové oblasti tónu E5 a D5 forte	74
4.63	Formantové oblasti metodou hry sul ponticello	75
4.64	Formantové oblasti metodou hry tasto	76
4.65	Formantové oblasti metodou pizzicato	77
4.66	Formantové oblasti vlčího tónu	78
4.67	Směrové vyzařování kontrabasu obecně (převzato z [12])	80
4.68	Směrové vyzařování prvního kontrabasu	80
4.69	Průnik směrového vyzařování všech tónů prvního kontrabasu	81
4.70	Směrové vyzařování druhého kontrabasu	82
4.71	Průnik směrového vyzařování všech tónů prvního kontrabasu	82
4.72	Směrové vyzařování třetího kontrabasu	83
4.73	Směrové vyzařování třetího kontrabasu	83
4.74	Velikost prvního kontrabasu	85
4.75	Velikost druhého kontrabasu	86
4.76	Velikost třetího kontrabasu	86

SEZNAM TABULEK

3.1	Tabulka přehled veličin pro rychlosti zvuku v dřevě [5]	17
3.2	Přehled veličin pro akustickou konstantu různých dřev [5]	18
4.1	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 forte	24
4.2	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a D3 forte	26
4.3	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu CIS4 a B3 forte	29
4.4	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4 forte	31
4.5	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 forte	34
4.6	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 mezzoforte	36
4.7	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 mezzoforte	39
4.8	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu CIS4 a B3 mezzoforte	41
4.9	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4 mezzoforte	44
4.10	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 mezzoforte	46
4.11	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 piano	49
4.12	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a G2 piano	52
4.13	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a G2 piano	54
4.14	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4 piano	57
4.15	Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 piano	60
4.16	Srovnání prvních 9 harmonických složek struny G a D sul ponticelo	63
4.17	Srovnání prvních 9 harmonických složek struny G a D sul tasto	65
4.18	Srovnání prvních 9 harmonických složek tónu A2 a G1 pizzicato	67
4.19	Srovnání prvních 9 harmonických složek vlčího tónu	69
4.20	Srovnání prvních 9 formantů tónu A2 a G2	71
4.21	Srovnání prvních 6 formantů tónu CIS4 a B3	73
4.22	Srovnání prvních 6 formantů tónu E5 a D5	74
4.23	Srovnání prvních 6 formantů metody hry sul ponticelo	75
4.24	Srovnání prvních 6 formantů metody hry sul tasto	77
4.25	Srovnání prvních 6 formantů metody hry pizzicato	78
4.26	Srovnání prvních 6 formantů metody hry pizzicato	78
4.27	Změřené velikosti prvního kontrabasu	85
4.28	Změřené velikosti druhého kontrabasu	86
4.29	Změřené velikosti třetího kontrabasu	86
4.30	Rezonance prvního kontrabasu tón A2	87
4.31	Rezonance druhého kontrabasu tón G2	88
4.32	Rezonance třetího kontrabasu tón A2	89
4.33	Rezonance prvního kontrabasu tón E3	90
4.34	Rezonance druhého kontrabasu tón D3	91
4.35	Rezonance třetího kontrabasu tón E3	92
4.36	Rezonance prvního kontrabasu tón CIS4	93
4.37	Rezonance druhého kontrabasu tón B3	94
4.38	Rezonance třetího kontrabasu tón CIS4	95
4.39	Rezonance prvního kontrabasu tón A4	96
4.40	Rezonance druhého kontrabasu tón G4	97
4.41	Rezonance třetího kontrabasu tón A4	98
4.42	Rezonance prvního kontrabasu tón D5	99
4.43	Rezonance druhého kontrabasu tón D5	100
4.44	Rezonance třetího kontrabasu tón E5	101

ÚVOD

Tato práce se zabývá porovnáním třech kontrabasů s různými velikostmi rezonančních skříní. Práce porovnává vzorky nahrané v bezodrazové komoře a zpracované v prostředí MATLAB.

Pro srovnání jsou zkoumány spektra, spektrogramy, formantové oblasti pomocí LPC analýzy, směrové vyzařovací charakteristiky nástrojů a také rezonanční módy nástrojů. Cílem práce je zjistit jaký je vliv různých velikostí skříní na barvu nástrojů.

V první kapitole je stručně popsána stavba a základní informace nástroje jako je například ladění, rozsah, či tvorba tónu.

V druhé kapitole je stručně popsána historie kontrabasu od 16. do 21. století.

Ve třetí kapitole jsou popsány akustické a mechanické vlastnosti a konstanty, důležité pro hlubší pochopení souvislostí chování zvuku v nástroji, jako je například pohyb na struně při hře prstem, či smyčcem.

Čtvrtá kapitola se věnuje samotnému měření, kdy jsou v první části porovnávány spektrogramy a spektra při hře smyčcem v různých dynamikách. Poté jsou zkoumány spektra a spektrogramy různých technik hry a také vlčího tónu. V druhé části měření jsou zkoumány formantové oblasti ve spektru a jejich vliv na barvu nástroje. Ve třetí části jsou změřeny a porovnány vyzařovací směrové charakteristiky tónů různých výšek všech tří kontrabasů. Ve čtvrté části jsou zkoumány rezonanční módy vzduchu uvnitř nástroje a také rezonančních módů předních i zadních desek. Módy jsou porovnány s formantovými oblastmi změřenými pomocí LPC analýzy a je zkoumán jejich vliv na barvu nástroje. Na závěr je zhodnocen vliv různých velikostí na témbra.

1. ZÁKLADNÍ INFORMACE A STAVBA

Kontrabas, často nazýván také jako basa, je dřevěný smyčcový nástroj, patřící do skupiny chordofonů čili nástrojů strunných.[4] Jako jediný z moderních smyčcových nástrojů je kontrabas laděn v kvartách a jeho struny jsou laděny běžně na tóny E1 – A1 – D2 – G2, nebo při sólové hře hráči struny přeladují o velkou sekundu, a to na tóny FIS1 – H1 – E2 – A2. Notový zápis je vždy zapsán o oktávu výše než kontrabas reálně hraje. Jeho rozsah se pohybuje od E1 – e2, s flažolety až po a3. [3] K pochopení tvorby zvuku kontrabasu jej musíme rozdělit na 4 části a to: excitátor, oscilátor, rezonátor a radiátor. Excitátor je část, která dodává energii oscilátoru a kterou je v tomto případě smyčec, či prst hráče. Oscilátor je vlnící se část nástroje, která generuje kmity a kterou je v tomto případě struna. Rezonátor je část, která zesiluje kmity předávané oscilátorem (například pomocí pevného uchycení kobylky, či vzduchem) a kterou je v tomto případě tělo složené z rezonančních desek. Radiátor směřuje a vyzařuje energii dále do prostoru a v tomto případě jsou to f-otvory kontrabasu a rezonanční desky. Toto dělení vychází z modelu Pavla Kurfursta, který třídí nástroje podle tzv. akustického zdroje. [1]

Spodní deska kontrabasu nemá standardizovaný tvar. Může být klenutá, rovná, nebo lehce prohnutá a je vyráběna z javorového dřeva, stejně jako luby (které spojují horní a spodní desku), žebra a krk a má hustotou 625-723 kg/m³. Horní deska kontrabasu je běžně vyráběna z dřeva smrkového, které má hustotu v rozmezí 440-470 kg/m³. [4][5]

Díky vibracím horní a spodní desky je tón vydávaný kontrabasem přenášén dále do vzduchu. Hmatník je vyráběn z ebenového dřeva, s hustotou 900-1300 kg/m³. [4]

U levnějších kontrabasů se také používají dřeva jiná, která jsou poté mořena, či barvena na černo. Hmatník je zaobleného tvaru, a to z důvodu, aby mohl hráč na každou strunu hrát smyčcem individuálně.

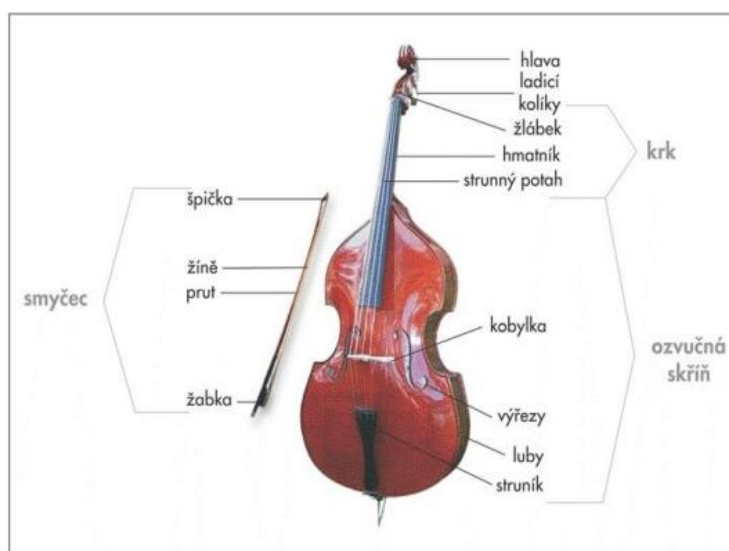
Uvnitř kontrabasu se nachází tzv. basový trámec, který výrazně ovlivňuje nízké frekvence a rejstříky. Je to pruh dřeva (často např. smrkového), který sahá od jednoho konce těla ke druhému a je rovnoběžný se strunami. Díky svému tvaru a poloze tvaruje vibrační vlny a vytváří hlubší basové tóny s větší rezonancí. [2]



Obrázek 1.1 Basový trámec převzato z [7]

Další důležitou součástí kontrabasu je kobylka, která drží struny od horní desky kontrabasu. Kobylka je umístěna mezi vyzařovacími f-otvory na horní desce. Díky ní struny volně oscilují a přenášejí vibrace směrem do těla. Kobylka je ke kontrbasu připevněna pouze díky síle tlaku jednotlivých strun a je vyrobena ze smrkového dřeva.

F-otvory jsou otvory vyřezané do horní desky kontrabasu. Jejich funkce je zvýšení síly tónu nástroje, zároveň také zvyšují volnost pohybu mezi horní a spodní rezonanční deskou. Mají také velký vliv na celkovou barvu tónu. Další části kontrabasu jsou popsány na obrázku 1.1 níže.[6]



Obrázek 1.2 Stavba kontrabasů

2. STRUČNÁ HISTORIE KONTRABASU

2.1. Kontrabas v 16. století

Historie kontrabasu se datuje do počátků 16.století, kdy se rozvíjela skupina nástrojů viola da gamba. Tehdy se předchůdcům kontrabasu říkalo kontrabasová viola da gamba, velká viol-basa, či violon a vyráběly se hlavně z ořechového dřeva. Violon v této době měl mnoho rozdílů oproti dnešnímu kontrbasu. Jeho výška se pohybovala kolem 160 cm, počet strun byl běžně 5, či 6 a byly vyrobeny z vnitřností (ovčích, či hovězích), na hmatníku byly přítomny pražce a laděn byl ve kvartách nebo terciích a ladění tónů se různě lišilo. Tvar byl také jiný, ramena měla šikmější tvar a desky violonu byly rovné. V této době se o vývoj kontrabasu dosti zasloužil výrobce hudebních nástrojů Gasparo da Salo (1540-1609), který přiblížil violon k moderní podobě kontrabasu, tak jak ho známe dnes. Dal mu dnes již známý houslový tvar a f-otvory.[8]



Obrázek 2.1 Kontrabas výrobce Gasparo da Salo z roku 1580 (převzato z [8])

Smyčec byl původně vyroben z ratanu, později byl nahrazen dřevem. K dřevu stejně jako dnes byly přidělány koňské žíně. Aby žíně a dřevo držely pohromadě, byl mezi ně zaklíněn

kousek dřeva obalený látkou. Později bylo toto dřevo přiděláno k smyčci a nazváno ořech. Tvar smyčce původně připomínal luk, později již tvar připomínal více smyčec dnešní. Struny byly vyráběny ze střev ovčí.[8]

2.2. Kontrabas v 17. století

V 17. století kontrabas začal nabývat dnešní podobu, avšak se stále lišil. Měl jednodušší žebrování, pražců ubývalo. Němečtí konstruktéři vyráběli kontrabas s šikmými rameny, rovnou zadní částí a jednodušším žebrováním, zatímco v Itálii konstruktéři preferovali zadní část klenutou a celková výška byla vyšší. V polovině 17. století se začaly také používat kovové struny, přesto se však stále více používaly struny. Přední tělo kontrabasu bylo vyráběno z borovicového dřeva, krk byl vyráběn z dřeva ebenového, ostatní části z javoru. Známí výrobci z této doby byli Marco Dalla Costa, Alessandro Gagliano nebo Michaelangelo Garani. [8]

2.3. Kontrabas v 18. století

V 18. století se kontrabas vyráběl ve dvou formách. První se byla tzv. forma Gamba, kde vyzařovací otvory byly tvarovány do tvaru písmene C. Druhá forma byla houslová, kdy ramena byly širší a vyzařovací otvory připomínaly tvar dnešní. V 18. století se začal kontrabas používat více k sólové hře. [8]

2.4. Kontrabas v 19. století

V 19. století se notový rozsah kontrabasů zvyšoval. Některé kontrabasy byly vyráběny s pěti strunami, kdy pátá struna byla naladěna na malé C. Některé basy měly v sobě zabudován mechanismus, který přeladil strunu E na malé C. Smyčec se již začínal podobat dnešnímu tvaru.[8]

2.5. Kontrabas v 20. století

Ve 20. století začíná převládat používání kovových a nylonových strun. Smyčec má již tvar dnešní a používají se na něj černé koňské žně. [8]

2.6. Kontrabas v 21. století

Kontrabas v 21. století a jeho tvar je již popsán v kapitole 1.

3. AKUSTICKÉ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI

3.1. Youngův model pružnosti a rychlost zvuku ve dřevě

Youngův model pružnosti je veličina vypovídající o vlastnostech materiálů při jejich deformaci. Čím je modul vyšší, tím je potřeba vyvinout větší napětí pro stejnou deformaci. Model je závislý na teplotě (s vyšší teplotou se modul snižuje) a na druhu materiálu. Tato veličina je důležitá například pro výpočet akustické konstanty, či výpočet rychlosti zvuku ve dřevě. Při vlhkosti 12% se ve dřevě modul pohybuje přibližně od 10000 – 15000 Mpa. [5] Lze jej vypočítat jako:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad [\text{Pa}] \quad (3.1)$$

,kde σ je mechanické napětí v tahu a ε je relativní prodloužení, které lze dále vypočítat jako:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad [m] \quad (3.2)$$

, kde Δl je prodloužení materiálu a l_0 je jeho původní délka

Tabulka 3.1 Tabulka přehled veličin pro rychlosti zvuku v dřevě [5]

Průměr	E – podélně [MPa]	E – kolmo [MPa]	Hustota dřeva [kg/m ³]	rychlost zvuku podélně [m/s]	rychlost zvuku kolmo [m/s]
Javor	9400	915	630	3826	1194
Smrk	11000	550	470	4790	1072

Rychlost zvuku ve dřevě má anizotropní charakter, což znamená, že v každém směru se šíří jinou rychlostí. Přibližně poměrově můžeme psát: $c_1 : c_2 : c_3 = 15 : 5 : 3$, kdy c_1 je rychlost zvuku ve směru vláken (podélném), c_2 je rychlost ve směru radiálním a c_3 je rychlost ve směru tangenciálním. [5]

Rychlost zvuku ve dřevě můžeme spočítat jako:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad [\text{m/s}] \quad (3.2)$$

Kde E je youngův model pružnosti a ρ je hustota dřeva. Z tohoto vzorce vyplývá, že čím vyšší bude Youngův model pružnosti a čím menší bude hustota dřeva, tím se rychlost zvuku ve dřevě bude zvyšovat.[5]

3.2. Akustická konstanta

Aby dřevo bylo vhodné na zhotovení nástroje, musí mít dobré rezonanční vlastnosti. Tím se rozumí zesílit tóny bez většího zkreslení. Je žádoucí, aby energie vyzářená do prostoru byla co největší a aby ztráty energie (probíhající vlivem vnitřního tření ozvučnice a ztrát na konci upevnění strun) byly co nejmenší. Veličina, která popisuje vyzářování užitečné energie do prostoru se nazývá akustická konstanta a lze spočítat jako:

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \quad \left[\frac{m^4}{kg \cdot s}\right] \quad (3.2)$$

Čím je tato konstanta větší, tím má materiál lepší rezonanční vlastnosti. [5]

Tabulka 3.2 Přehled veličin pro akustickou konstantu různých dřev [5]

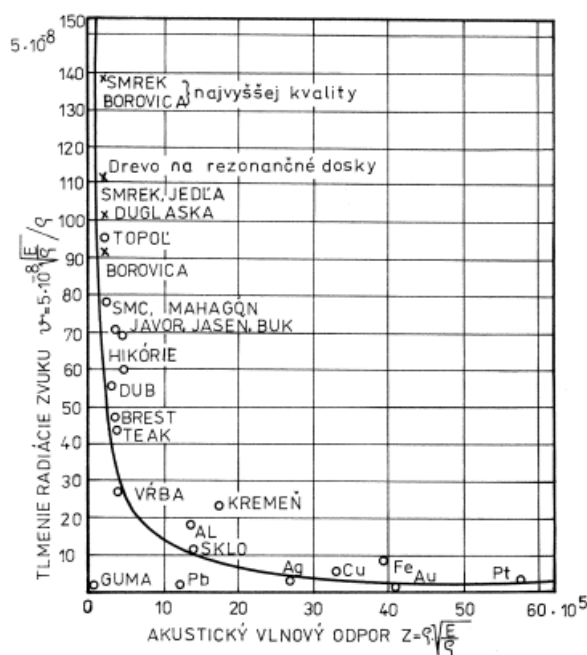
	Vlhkost dřeva [%]	Hustota [kg. m ³]	E [Mpa]	K [m ⁴ . kg ⁻¹ . s ⁻¹]
smrk	10	420	11000	12
javor	12	700	11000	5,8

3.3. Akustický vlnový odpor a útlum

Rovinná vlna, která se šíří prostorem, naráží na odpor vzduchu. Tento kladený odpor nazýváme akustický vlnový odpor a lze spočítat jako součin hustoty dřeva a rychlosti šíření vln. [5]

$$Z = \rho \cdot c = \rho \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad \left[\frac{kg}{m^2 s}\right] \quad (3.2)$$

Zvuk se v prostoru tlumí hlavně vnitřním třením a vyzářováním (radiace zvuku). Tlumení vyzářováním závisí na poměru rychlosti šíření zvuku a hustoty dřeva. U hudebních nástrojů je žádoucí, aby tlumení vnitřním třením bylo co nejmenší, a naopak aby tlumení radiací bylo větší. [5]



Obrázek 3.1 Závislost akustického vlnového odporu na tlumení zvuku (převzato z [5])

Vnitřní tření je energie, která se přeměňuje na teplo, které se nazývá kapacita tlumení. Vibrace (vyvolané působením vnější síly) ve dřevě probíhají v cyklech a každý z těchto cyklů má svou amplitudu. Logaritmickou závislostí poměru po sobě jdoucích amplitud dvou vibračních cyklů nazýváme logaritmický dekrement tlumení. [5]

$$\Lambda = \ln \frac{A_1}{A_2}, \quad (3.3)$$

kde Λ je logaritmický dekrement tlumení, A_1 je amplituda prvního vibračního cyklu a A_2 je amplituda druhého vibračního cyklu. [5]

3.4. Pohyb na struně

Obecně se na strunách šíří vlna, která se odráží od pevného konce (uchycení struny) a odráží se na zpět s opačnou fází. Tyto dvě vlny se vzájemně sčítají a na struně vzniká stojaté vlnění. Rychlost šíření vln je dána vztahem:

$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho}}, \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3.4)$$

Kde F značí sílu tahu struny a ρ značí lineární hustotu struny.

Pro vlastní frekvenci napnuté struny dále můžeme psát:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho}}, \quad [\text{Hz}] \quad (3.5)$$

Kde n značí n -tou harmonickou, l značí délku struny.

Pro přesnější vztah reálných strun v reálném prostředí můžeme psát empirický Youngův vztah:

$$f'_n = f_n \sqrt{1 + \frac{n^3 \pi^3 D^4 E}{64 l^2 F}}, \quad [\text{Hz}] \quad (3.6)$$

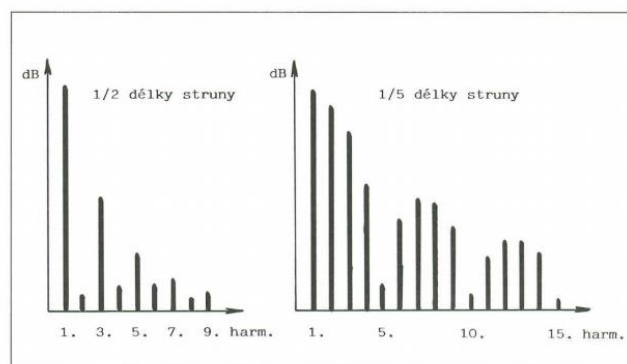
Kde D je průměr struny, E je Youngův modul pružnosti, l je délka struny.

Pro netlumené kmity platí:

$$y = \sum_n (A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t) \sin k_n x, \quad [\text{m}] \quad (3.7)$$

Kde $k_n = \frac{\omega_n}{c}$, značí vlnové číslo, ω_n značí frekvenci vlastních kmitů. [11]

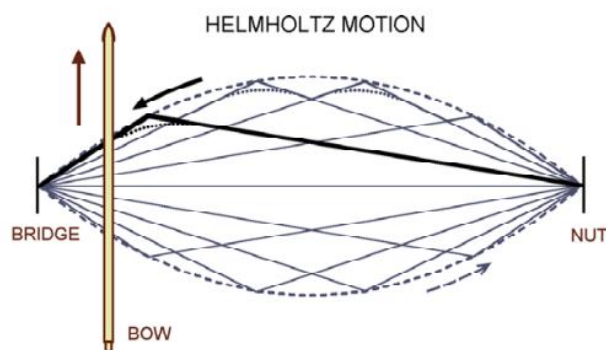
Výsledné spektrum se mění podle polohy drnknutí, viz obrázek 3.2.



Obrázek 3.2 Spektrum kmitů struny při drnknutí v jiné délce (dostupné z [1])

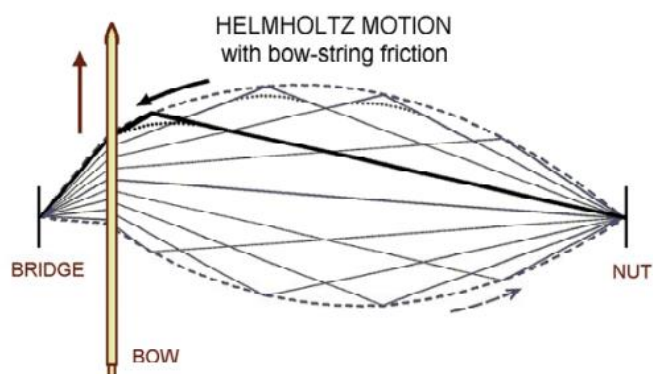
Struna, která je smýkaná smyčcem vytváří tzv. Helmholtzův pohyb. Tvar pohybující se struny vytváří dvě rovné přímky s ostrým zlomem (známý jako Helmholtzův roh). Trajektorie zlomu opisuje obálku, jejíž maximální výchylka je dána rychlostí a polohou smyku. [10]

Rychlost pohybu zlomu ovlivňuje pouze fundament zahraného tónu, nikoliv síla smyku. [9]



Obrázek 3.3 Ideální Helmholtzův pohyb [dostupné z 10]

Ve skutečnosti však mezi strunou a smyčcem působí síla statického, či kluzného tření, která způsobuje, že symetrická parabolická obálka je nyní nedokonalá. [10]



Obrázek 3.4 Reálný Helmholtzův pohyb (dostupné z [10])

Pro výchylku struny poté platí:

$$y(x, t) = \sum_n \left(A_n \sin \frac{n\pi x}{L} \sin \omega_n t \right), \quad [m] \quad (3.8)$$

4. MĚŘENÍ

4.1. Způsob měření

Měření kontrabasů proběhlo v bezodrazové místnosti kvůli eliminaci šumů a nežádoucích zvuků. Bylo použito 9 měřících mikrofónů AUDIX TM1 ve vzdálenosti od 58.8 cm od sebe. Vzdálenost každého mikrofónu k nástroji činila 1,5 metrů. Mikrofóny vzhledem k sobě spolu svíraly úhel 22,5 stupňů. Hráč na kontrabas nejprve zahrál smyčcem různé dynamiky tónů, a to nejprve forte, poté mezzoforte a nakonec piano. Následoval tón pizzicatem, tedy drnknutím struny prstem. Dále byl zkoumán vlčí tón a jeho okolí. Dále hráč zahrál metodou sul ponticelo a sul tasto. Zahrané tóny jsou vybrané tak, aby reprezentovaly tóny na nízkých, středních i vyšších frekvencích. První a třetí změřené kontrabasy jsou laděny sólově, zatímco druhý je laděn orchestrálně. V praxi to znamená, že sólové kontrabasy jsou laděny o velkou sekundu (tedy dva půltóny) výše. Na hráče byl kladen nárok, aby tóny na kontrabas byly zahrány po terciích nahoru, z důvodu jiného ladění kontrabasů jsou proto porovnávány u orchestrálního kontrabasu tóny snižené o dva půltóny.

Pro účely porovnání kontrabasů byly zkoumány spektrogramy, spektrum, LPC analýza, směrovost a také rezonance desek. Nahrávky byly nahrány v prostředí DAW software Cubase s vzorkovací frekvencí 48 kHz. Pro následné zpracování signálů byl použit program MATLAB. U mikrofónů proběhla kalibrace kalibrátorem. Kalibrační signál měl frekvenci 1 kHz. Pro účely spektrální analýzy byl použit mikrofón naproti hráči na úrovni 90 stupňů.

K vykreslení spektrogramů bylo použito STFT, tedy krátkodobá Fourierova transformace. Pro výpočet STFT bylo použito Hanningovo okno, počet vzorků, na kterém se STFT provádí byl určen na 2048 a overlap (tedy na kolika vzorcích se dva cykly STFT překrývají) byl stanoven na 1024 vzorků. Pro výpočet LPC, tedy lineárního prediktivního kódování, byl použit řád LPC 40, což znamená, že bylo použito 40 předchozích vzorků, k predikci vzorku následujícího.

4.2. Změřené nástroje

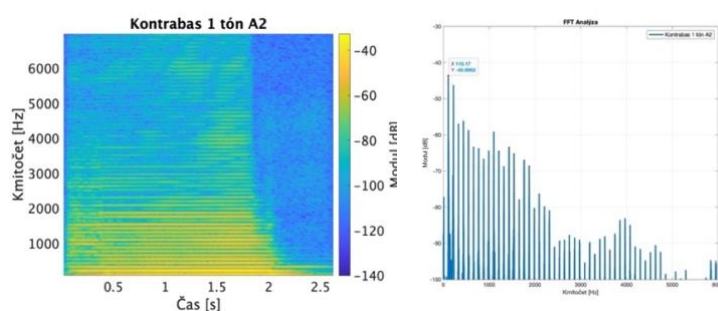


Obrázek 4.1 Změřené kontrabasy

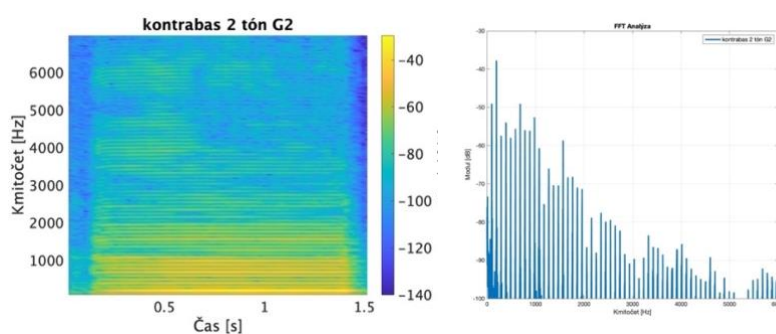
Všechny tři kontrabasy mají spodní desku z javorového dřeva a horní desku z dřeva smrkového. Pro jednodušší analýzu jsou dále v práci referovány jako první kontrabas (první zleva), druhý kontrabas (uprostřed) a třetí kontrabas (první zprava).

4.3. Spektrogramy a spektrum tónů v metodou arco v dynamice forte

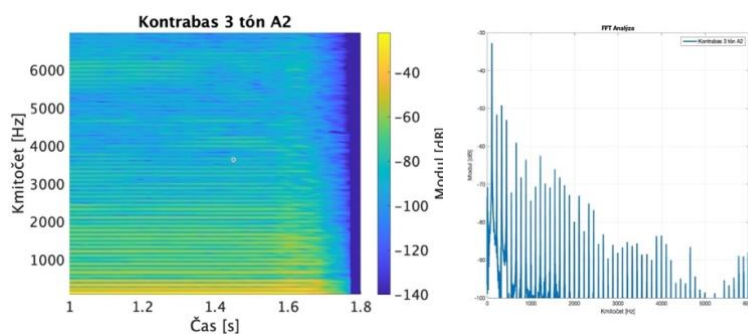
4.3.1. Srovnání spektra tónů A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte



Obrázek 4.2 Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu arco forte



Obrázek 4.3 Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco forte



Obrázek 4.4 Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco forte

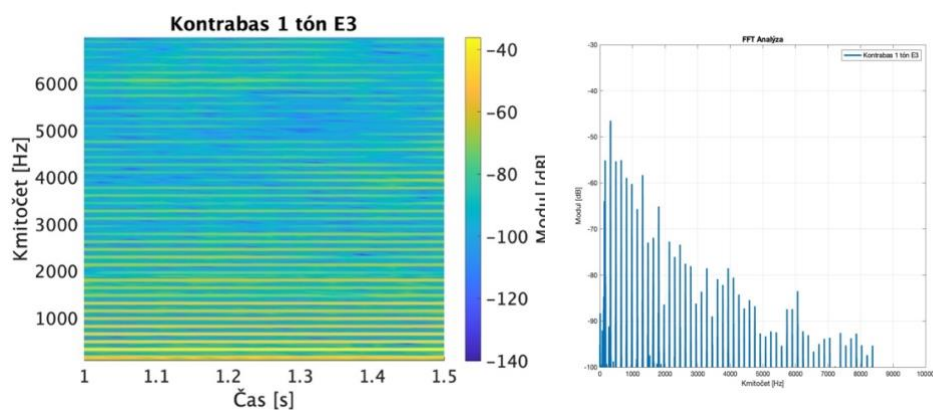
Tabulka 4.1 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 forte

Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	110,17	-47,3	98,1	-49,1	111,1	-32,75	1,8	16,35	14,55
2	220,34	-49,9	195,54	-37,78	222,12	-51,63	12,12	13,85	1,73
3	330,89	-62,46	293,63	-57,45	333,19	-49,05	5,01	8,4	13,41
4	441,34	-61,4	391,72	-53,97	444,25	-53,76	7,43	0,21	7,64
5	551,6	-62,9	489,17	-58,66	554,79	-72,19	4,24	13,533	9,293
6	662,15	-68,3	587,27	-55,64	665,855	-59,07	12,66	3,43	9,23
7	773	-67,6	685,36	-49,12	776,91	-68,2	18,48	19,08	0,6
8	883,3	-71	783,45	-55,9	887,98	-63,54	15,1	7,64	7,46
9	993,8	-68,72	880,9	-56,25	998,51	-74,34	12,47	18,09	5,62
10	1104	-63,9	979,64	-52,98	1110	-71,37	10,92	18,39	7,47
11	1214	-69,5	1077,1	-60,74	1220,65	-62,51	8,76	1,77	6,99
12	1322,4	-75,1	1175,2	-75,32	1331,18	-70,14	0,22	5,18	4,96
13	1435	-68,6	1273,28	-66,02	1443,31	-70,87	2,58	4,85	2,27
14	1534	-71,18	1371,37	-70,81	1553,84	-66,04	0,37	4,77	5,14
15	1656	-83,37	1468	-70,41	1664,9	-68,2	12,96	2,21	15,17
16	1766	-71,1	1566,9	-58,71	1775,44	-70,26	12,39	11,55	0,84
17	1873	-74,05	1664,36	-68,97	1886,5	-72,81	5,08	3,84	1,24
18	1986	-85,1	1763,1	-68,47	1997,03	-80,2	16,621	11,721	4,9
19	2093,6	-81,85	1860,55	-71,37	2108,63	-73,05	10,48	1,68	8,8
20	2209	-86,99	1958	-71,38	2220	-82	15,61	10,62	4,99

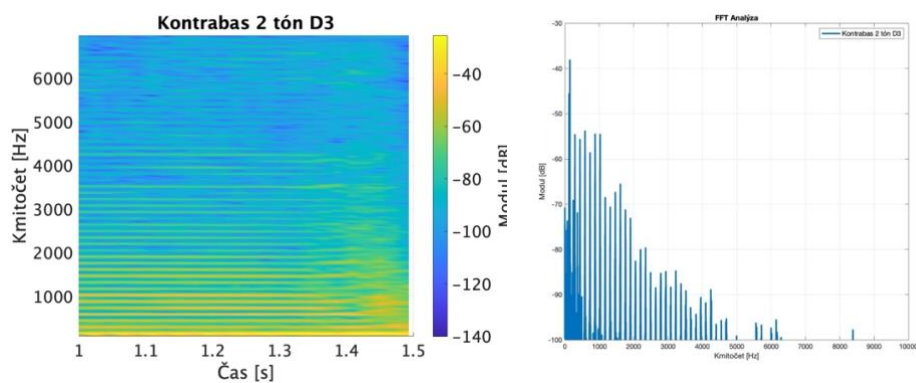
První harmonická složka tónu A2 hraného na první kontrabas se vyskytla na 110,17 Hz a byla ze všech harmonických složek nejvýraznější, s velikostí modulu -47,3 dB. U 2. kontrabasu hrajícího tón G2 můžeme pozorovat, že fundament, který se vyskytl na 98,1 Hz a měl intenzitu -49,1 dB je až druhou nejintenzivnější složkou. Tou první je zde druhá harmonická složka na 195,54 Hz s intenzitou -37,78 dB. U třetího kontrabasu je znovu nejintenzivnější harmonickou složkou fundament, který se vyskytl na 111,1 Hz s intenzitou -32,75 dB. Nejnížší rozdíl intenzit harmonických složek mezi prvním a druhým kontrabasem můžeme pozorovat u 12. harmonické složky s rozdílem 0,22 dB, zatímco nejvyšší u 7. harmonické s rozdílem 18,48 dB. Mezi druhým a třetím je nejnížší rozdíl u 3. harmonické složky, s rozdílem 0,21 dB a nejvyšší u 7. harmonické složky s rozdílem 19,08 dB mezi prvním a třetím je nejnížší rozdíl u 7. harmonické složky s rozdílem 0,6 dB a nejvyšší u první harmonické složky s rozdílem 14,55 dB. Nárůst intenzit u prvního kontrabasu můžeme pozorovat u 4., 9., 10., 13., 16., a 19. složky. Poté je ve spektru značný nárůst intenzit kolem 4 kHz. Nárůst intenzit u druhého kontrabasu pozorujeme u 2., 4., 6., 7., 10., 13. a 16. složky. Nárůst intenzit znovu poté můžeme vidět kolem 3,5 a 4 kHz. Nárůst intenzit u třetího kontrabasu pozorujeme u 3., 6., 8., 10., 11., 14., a 19. harmonických složek. Nárůst je poté kolem 3,5 kHz a 4 kHz. Barva všech tří kontrabasů je velmi podobná, a to jasná a ostrá. Barva

prvního kontrabasu je však ze tří ta nejjemnější, což je způsobeno nejslabší intenzitou harmonických složek. Barva druhého kontrabasu zní ze všech nejjasněji, což je způsobeno zesílením druhé harmonické složky. Barva třetího kontrabasu zní taktéž ostře, což je způsobeno nárůstem 3. a 6. harmonické složky.

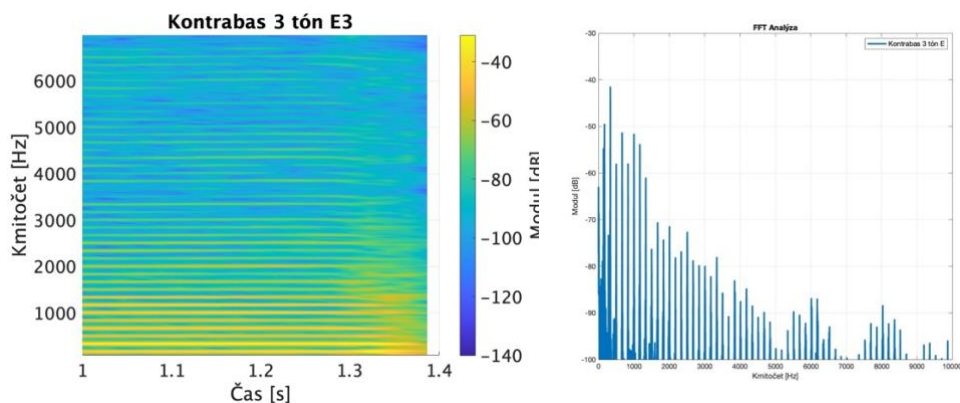
4.3.2. Srovnání spektra tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte



Obrázek 4.5 Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco forte



Obrázek 4.6 Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco forte



Obrázek 4.7 Spektrogram a spektrum tónu E3 třetího kontrabasu arco forte

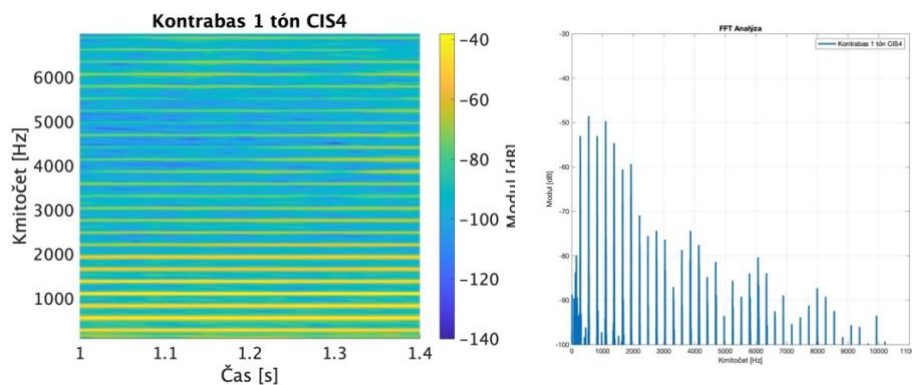
Tabulka 4.2 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a D3 forte

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	164,15	-55,11	146,69	-38,02	167,27	-49,45	17,09	11,43	5,66
2	328,31	-46,5	293,38	-54,54	334,53	-41,47	8,04	13,07	5,03
3	492,47	-55,54	440,074	-55,87	501,1	-57,9	0,33	2,03	2,36
4	656,265	-55,07	587,41	-53,73	668,36	-51,29	1,34	2,44	3,78
5	820,79	-59,34	733,45	-58,69	835,63	-57,94	0,654	0,75	1,404
6	984,59	-60,23	880,8	-54,42	1002,9	-51,59	5,81	2,83	8,64
7	1148,74	-65,67	1027,49	-54,46	1170,16	-53,78	11,21	0,68	11,89
8	1312,53	-59,24	1174,18	-68,18	1337,43	-61,31	8,94	6,87	2,07
9	1478,92	-73,38	1320,87	-70,9	1501,17	-76,24	2,48	5,34	2,86
10	1640,85	-71,91	1468,2	-67,29	1674,08	-70,57	4,62	3,28	1,34
11	1805	-65,11	1615,56	-65,72	1837,11	-74,27	0,61	8,55	9,16
12	1968,42	-86,79	1762,25	-71,15	2007,2	-71,4	15,64	0,25	15,39
13	2132,95	-73,21	1908,94	-73,04	2174,47	-78,08	0,161	5,031	4,87
14	2297,11	-76,06	2054,98	-82,48	2337,5	-76,79	6,428	5,698	0,73
15	2461,64	-73,41	2200,4	-80,39	2508,3	-72,6	6,98	7,79	0,81
16	2625,43	-77,95	2341,1	-79,57	2672,04	-78,7	1,62	0,87	0,75
17	2789,6	-78	2495,06	-85,33	2843,54	-79,78	7,33	5,55	1,78
18	2953	-86,2	2640,4	-88,37	3008,69	-79,89	2,17	8,48	6,31
19	3117,16	-84,17	2791,1	-85,69	3175,96	-82,12	1,52	3,57	2,05
20	3281,69	-78,75	2937,1	-84,8	3343,22	-78,23	6,058	6,578	0,8

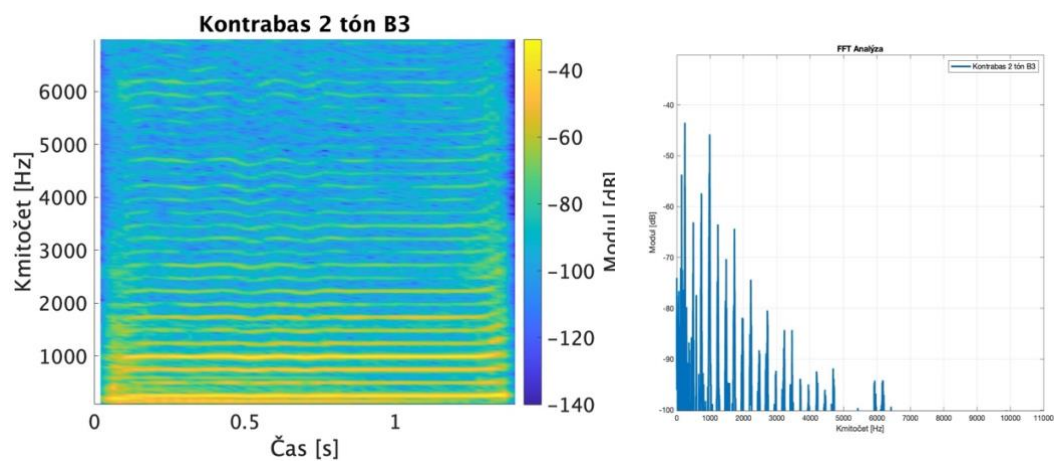
První harmonická složka tónu E3 hraného na první kontrabas se vyskytla na 164,15 Hz s velikostí modulu -55,11 dB. Nejintenzivnější harmonickou složkou je zde 2. harmonická na 328,31 Hz s velikostí modulu -46,5 dB. U druhého kontrabasu hrajícího tón D3 je první a zároveň nejintenzivnější harmonickou složkou fundament vyskytující se na 146,69 Hz

s velikostí modulu -38,02 Hz. U třetího kontrabasu se fundament vyskytl na 167,27 Hz s velikostí modulu -49,45 dB. Nejintenzivnější složkou byla 2. harmonická na 334,53 Hz s velikostí modulu -41,47 dB. Nejmenší rozdíl intenzit harmonických složek mezi prvním a druhým kontrabasem se vyskytl u 3. harmonické složky s rozdílem 0,33 dB. Nejvyšší poté najdeme u 1. harmonické složky s rozdílem 17,09 dB. Nejmenší rozdíl intenzit mezi 2. a 3. kontrabasem nalezneme u 12. harmonické složky s rozdílem 0,25 dB. Nejvyšší poté u 2. harmonické s rozdílem 13,07 dB. Nejnižší rozdíl intenzit mezi 1. a 3. kontrabasem nalezneme u 14. harmonické složky s rozdílem 0,73 dB, nejvyšší poté u 12. harmonické s rozdílem 15,39 dB. Nárůst intenzit u prvního kontrabasu můžeme pozorovat u 2., 8., 11., 13., 15. a 20. složky. U druhého kontrabasu je to u 4., 6., 10., 11., 15., 16., 19. a 20. Nárůst intenzit u 3. kontrabasu můžeme pozorovat u 2., 4., 6., 10., 12., 14., 15., a 20. složky. Spektra prvního a třetího kontrabasu mají více harmonických složek než kontrabas druhý. U všech kontrabasů nastává mírné zesílení harmonických složek kolem 4 a 6 kHz. U Prvního a třetího také kolem 8 kHz, kdy u třetího kontrabasu je to výrazněji. Barva 1. a 3. kontrabasu je jasnější a ostřejší a mohutnější, než u 2. kontrabasu. To je spojeno s výraznější 2. harmonickou složkou podporující mohutnost a vyšším podílem harmonických složek na vyšších frekvencích, přidávajících ostrost a jasnost. Barva druhého kontrabasu je měkčí, což je způsobeno menším podílem vyšších harmonických složek, než u 1. a 3. kontrabasu.

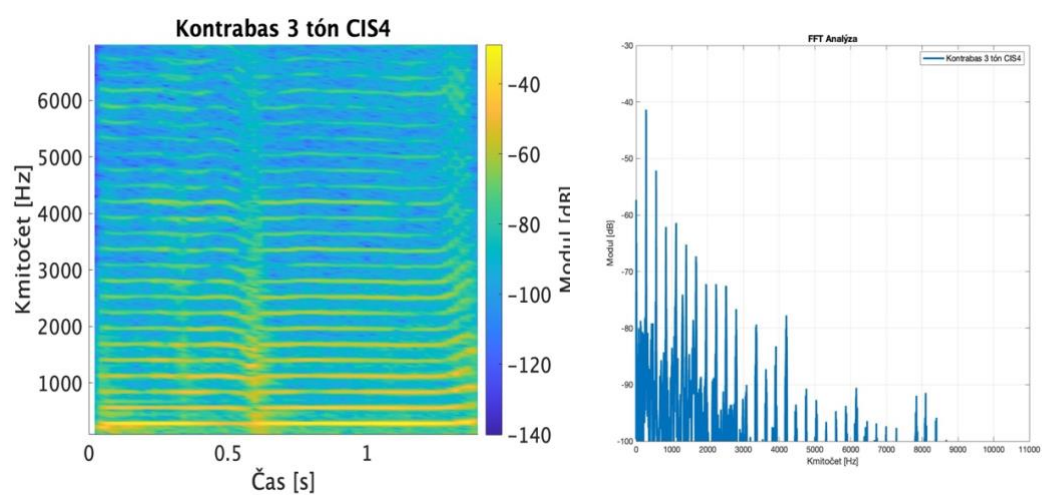
4.3.3. Srovnání spekter tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte



Obrázek 4.8 Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasu arco forte



Obrázek 4.9 Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasů arco forte



Obrázek 4.10 Spektrogram a spektrum tónu CIS4 třetího kontrabasů arco forte

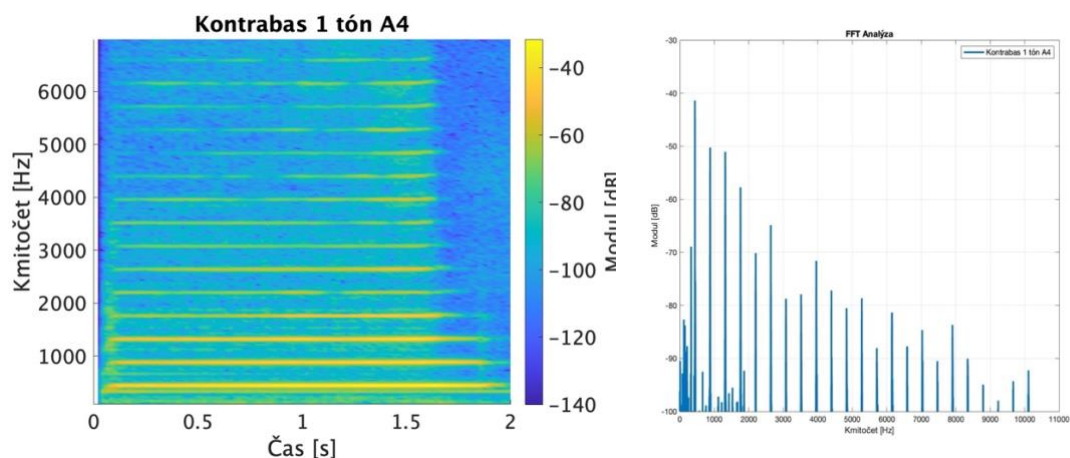
Tabulka 4.3 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu CIS4 a B3 forte

Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	276,38	-53,48	246,44	-43,49	278,86	-42,05	9,99	1,44	11,43
2	552,36	-48,56	496,37	-63,52	559,73	-52,14	14,96	11,38	3,58
3	827,94	-53,04	742,81	-57,4	834,57	-62,1	4,36	4,7	9,06
4	1103,92	-49,64	989,25	-45,8	1120,15	-61,4	3,84	15,6	11,76
5	1379,9	-54,92	1235,69	-63,5	1401,69	-65,23	8,58	1,73	10,31
6	1655,47	-60,87	1482,83	-70,32	1677,87	-67,59	9,45	2,73	6,72
7	1931,45	-59,35	1729,97	-64,35	1957,41	-72,19	5	7,84	12,84
8	2208,64	-70,91	1966,64	-81,87	2234,26	-72,47	10,96	9,4	1,56
9	2483,4	-75,52	2233,55	-74,68	2517,14	-72,73	0,84	1,95	2,79
10	2759,38	-74,37	2472,08	-88,25	2798,02	-76,64	13,88	11,61	2,27
11	3035,36	-76,38	2718,52	-80,43	3089,62	-90,73	4,05	10,3	14,35
12	3311,34	-87,7	2976,13	-92,3	3360,44	-79,35	4,6	12,95	8,35
13	3587,32	-78,69	3228,16	-84,63	3631,93	-87,48	5,94	2,85	8,79
14	3873,46	-75	3457,84	-84,29	3908,78	-83,29	9,29	1,5	8,29
15	4139,28	-78,36	3702,19	-94,13	4202,39	-77,74	15,77	16,39	0,62
16	4414,85	-84,75	3948,63	-94,98	4468,51	-93,5	10,23	1,48	8,75
17	4690,42	-82,97	4192,98	-92,56	4761,46	-90,71	9,59	1,85	7,74
18	4966,4	-93,52	4442,91	-96	5037,64	-92,71	2,48	3,29	0,81
19	5242,38	-68,04	4692,14	-92,37	5315,16	-96,56	24,33	4,19	28,52
20	5528,52	-89,27			5586,65	-94,68			5,41

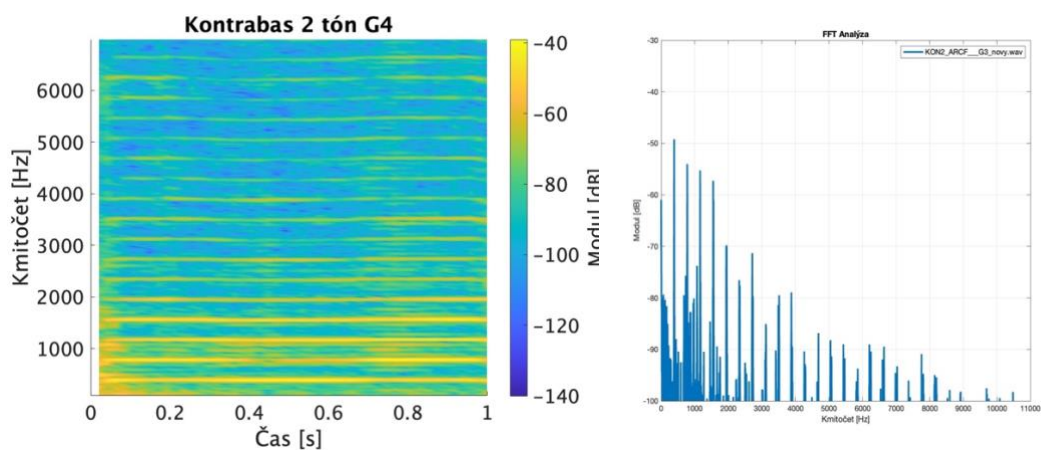
U prvního kontrabasu hrající tón CIS4 se fundament objevil na 276,38 Hz, a to s velikostí modulu -53,48 dB. Nejvýraznější harmonickou složkou však znovu byla 2. harmonická na 552,36 Hz s velikostí modulu -48,56 dB. U druhého kontrabasu hrající tón B3 byl fundament nejvýraznější harmonickou složkou na 246,44 Hz a s velikostí modulu -43,49 dB. 20. harmonická složka již nebyla ve spektru přítomna. U třetího kontrabasu hrající tón CIS4 se fundament vyskytl na 278,86 Hz s velikostí modulu -42,05 dB a byl zároveň nejvýraznější harmonickou složkou. Nejnižší rozdíl velikostí modulů harmonických složek mezi prvním a druhým kontrabasem nastal u 9. harmonické složky s rozdílem 0,84 dB. Nejvyšší rozdíl poté u 19. harmonické s rozdílem 25,33 dB. Mezi druhým a třetím kontrabasem byl rozdíl nejnižší u první harmonické s 1,44 dB. Nejvyšší byl poté u 4. harmonické s 15,6 dB. Mezi prvním a třetím kontrabasem byl nejnižší rozdíl u 15. harmonické s rozdílem 0,62 dB. Nejvyšší u 19. harmonické s rozdílem 28,52 dB. Nárůst velikostí modulů u prvního kontrabasu můžeme pozorovat u 2., 4., 7., 10., 13., 14., 17. a 19. složky. Výrazné zesílení složek můžeme pozorovat kolem 4, 6 a 8 kHz. U druhého kontrabasu je nárůst velikostí modulů u 3., 4., 7., 9., 11., 13. a 17. složky. U třetího kontrabasu je to u 4., 12., 14., 15., 17. a 20. složky. Výrazné zesílení složek je kolem 4, 6 a 8 kHz. Barva tónu prvního kontrabasu je jasná a ostrá, což je způsobeno zesílením ve spektru na 3 a 4 kHz. Barva druhého kontrabasu je znovu měkká, což je způsobeno úbytkem vyšších harmonických složek od 19. harmonické. Barva 3.

kontrabasu je znovu ostrá, ale ubývá ji na plnosti zvuku oproti prvnímu kontrabasu, což je způsobenou nižší velikostí modulů u základních složek.

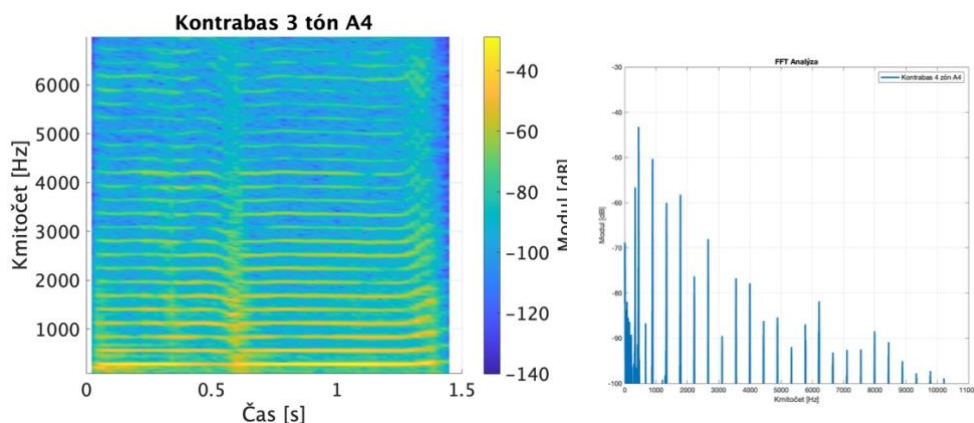
4.3.4. Srovnání spekter tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte



Obrázek 4.11 Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrabasu arco forte



Obrázek 4.12 Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasu arco forte



Obrázek 4.13 Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco forte

Tabulka 4.4 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4forte

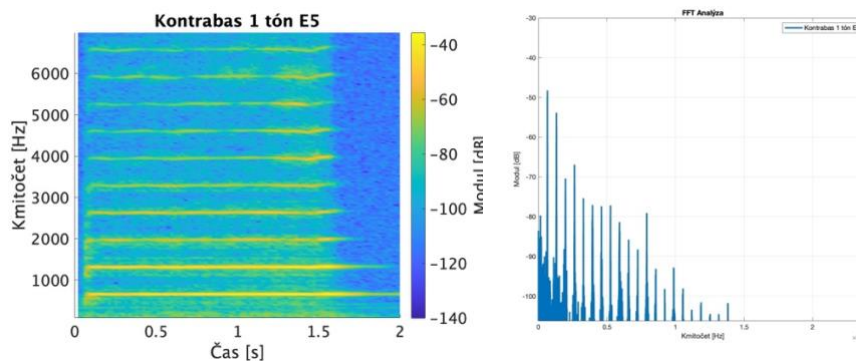
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	439,58	-41,38	388,29	-49,22	444,02	-43,32	7,84	5,9	1,94
2	879,16	-50,22	779,38	-54,02	888,73	-50,4	3,8	3,62	0,18
3	1318,74	-51	1163,95	-55,26	1332,76	-60,1	4,26	4,84	9,1
4	1718,78	-57,71	1551,31	-57,26	1788,16	-58,33	0,45	1,07	0,62
5	2200,2	-70,15	1952,67	-69,8	2220,12	-76,45	0,35	6,65	6,3
6	2637,95	-64,86	2326,03	-76,55	2664,14	-68,17	11,69	8,38	3,31
7	3078	-78,8	2714,32	-71,32	3112,99	-89,63	7,48	18,31	10,83
8	3516,65	-77,91	3120,35	-85,07	3557,01	-76,89	7,16	8,18	1,02
9	3957,15	-71,6	3514,24	-79,47	3998,97	-77,95	7,87	1,52	6,35
10	4385,36	-77,2	3878,27	-78,94	4445,06	-86,3	1,74	7,36	9,1
11	4834,94	-80,53	4263,76	-90,39	4887,01	-85,52	9,86	4,87	4,99
12	5275,89	-78,64	4687,53	-86,83	5331,72	-92,05	8,19	5,22	13,41
13	5714,56	-88,06	5045,02	-88,65	5772,3	-87,04	0,59	1,61	1,02
14	6155,97	-81,33	5428,64	-89,01	6222,53	-81,94	7,68	7,07	0,61
15	6590,52	-87,72	5857,07	-93,72	6666,55	-93,28	6	0,44	5,56
16	7030,56	-84,64	6205,23	-89,03	7113,33	-92,69	4,39	3,66	8,05
17	7467,85	-90,5	6640,19	-89,46	7557,36	-92,68	1,04	3,22	2,18
18	7906,51	-84,11	7032,22	-93,28	7996,55	-88,57	9,17	4,71	4,46
19	8436,09	-90,05	7371,98	-90,56	8446,78	-90,99	0,51	0,45	0,94
20	8795,29	-95,11	7759	-90,1	8884,6	-95,33	5,01	5,23	0,22

U prvního kontrabasu, hrajícího tón A4, se fundament, který byl zároveň nejvýraznější složkou vyskytl na 439,58 Hz a velikostí modulu -41,38 dB. U druhého kontrabasu se

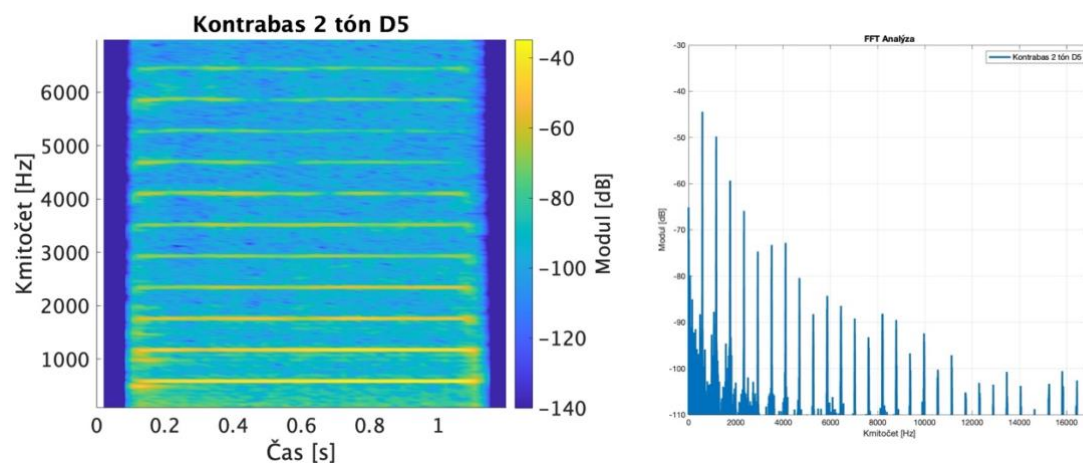
fundament vyskytl na 388,29 Hz s velikostí modulu -49,22 dB a také byl nejvýraznější harmonickou složkou. U třetího kontrabasu hrajícího tón A4 byl fundament také nejvýraznější složkou a vyskytl se na 444,02 Hz s velikostí modulu -43,32 dB. Nejnižší rozdíl mezi velikostmi harmonických složek prvního a druhého kontrabasu se objevil u 5. harmonické s hodnotou 0,35 dB. Nejvyšší poté u 6. harmonické složky s rozdílem 11,69 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu byl u 15. harmonické s rozdílem 0,44 dB. Nejvyšší poté u 7. harmonické s rozdílem 18,31 dB. Nejvyšší rozdíl mezi prvním a třetím kontrabasem byl u 2. harmonické s rozdílem 0,18 dB. Nejvyšší u 7. harmonické s rozdílem 10,83. dB. Nárůst velikostí modulů u prvního kontrabasu pozorujeme u 86., 8., 9., 12., 16. a 18. složky. Zesílení harmonických pozorujeme kolem 4, 6, 8 a 10 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek u druhého kontrabasu pozorujeme u 7., 9., 10., 12., 16., 19. a 20. harmonické složky. Zesílení harmonických složek probíhá kolem 2,5, 4, 4,5, 6,5 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů u třetího kontrabasu pozorujeme u 4., 6., 8., 11., 13., 14., 16. A 18. složky. Zesílení harmonických ve spektru pozorujeme na 2,5, 4, 6 a 8 kHz.

Barva prvního a třetího kontrabasu je dosti podobná – jemná a jasná.. Barva druhého kontrabasu je drsná a ostrá. Zároveň můžeme pozorovat zašumělý průběh ve spektru, což je způsobeno nedokonalým smykem, který lze slyšet v nahrávce.

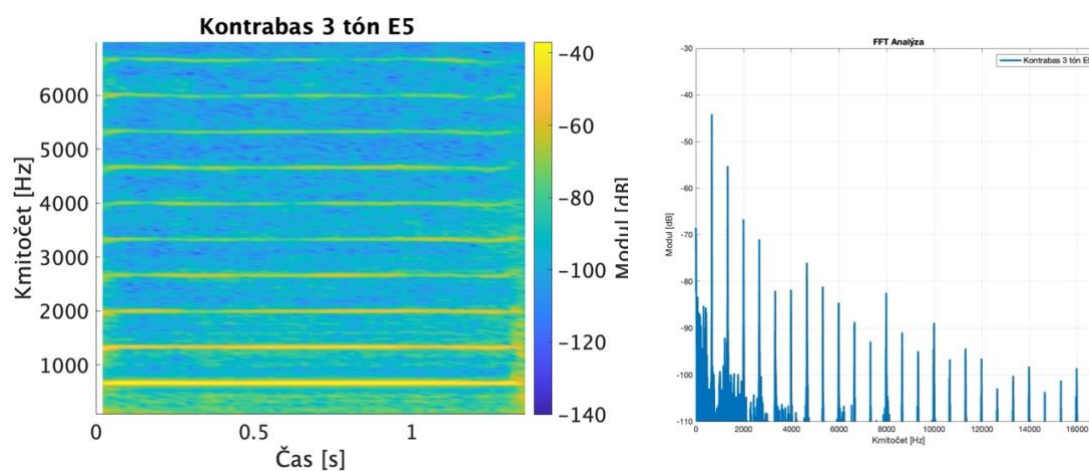
4.3.5. Srovnání spekter tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu hrané metodou arco forte



Obrázek 4.14 Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrabasu arco forte



Obrázek 4.15 Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrabasu arco forte



Obrázek 4.16 Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco forte

Tabulka 4.5 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 forte

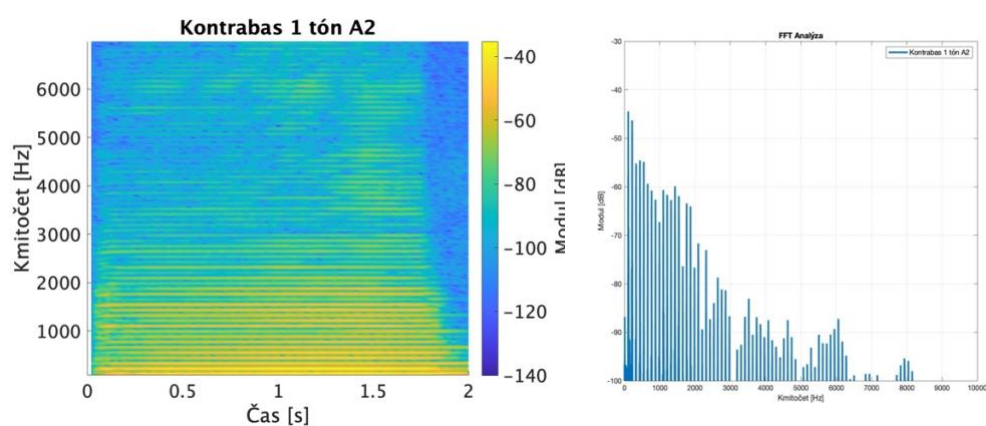
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	658,61	-48,4	586,11	-44,43	665,48	-44,14	3,97	0,29	4,26
2	1318,51	-54,07	1172,22	-50,43	1330,25	-55,26	3,64	4,83	1,19
3	1977,12	-70,38	1757,53	-59,35	1997,18	-66,75	11,03	7,4	3,63
4	2634,02	-66,91	2345,25	-65,89	2659,78	-70,94	1,02	5,05	4,03
5	3291,35	-75,36	2931,36	-74,67	3323,87	-82	0,69	7,33	6,64
6	3949,96	-77,07	3517,47	-73,25	3990,76	-81,78	3,82	8,53	4,71
7	4607,29	-77,38	4105,19	-73,41	4657,68	-76,02	3,97	2,61	1,36
8	5263,34	-77,38	4686,69	-80,39	5323,17	-81,1	3,01	0,71	3,72
9	5920,24	-82,64	5277,41	-88,22	5985,06	-84,57	5,58	3,65	1,93
10	6591,25	-85,85	5865,93	-84,26	6654,86	-88,68	1,59	4,42	2,83
11	7250,29	-88,23	6446,03	-86,43	7318,91	-92,86	1,8	6,43	4,63
12	7911,04	-79,07	7030,92	-89,18	7982,23	-82,63	10,11	6,55	3,56
13	8573,08	-93,55	7612,21	-93,24	8649,88	-90,9	0,31	2,34	2,65
14	9213,73	-98,19	8208,77	-88,16	9317,53	-94,93	10,03	6,77	3,26
15	9871,06	-92,82	8786,04	-89,48	9988,78	-88,87	3,34	0,61	3,95
16	10552,3	-98,21	9369,74	-96,81	10651,4	-96,72	1,4	0,09	1,49
17	11191,3	-103,4	9963,89	-93,01	11308,9	-94,35	10,39	1,34	9,05
18	11873	-101,5	10554	-100,7	11981,6	-96,52	0,77	4,26	5,03
19	12531,6	-104,5	11131,3	-97,28	12642,8	-103,1	7,227	5,88	1,347
20	13158,6	-104,5	11711	-105,4	13309	-100,2	0,92	5,21	4,29

U prvního kontrabasu hrajícího tón E5 se fundament, který byl nejvýznamnější harmonickou složkou, vyskytl na 658,61 Hz a měl velikost modulu -48,4 dB. U druhého kontrabasu hrajícího tón D5 byl fundament také nejvýznamnější a vyskytl se na 586,11 Hz a měl velikost modulu -44,43 dB. U třetího kontrabasu hrajícího tón E5 byl taktéž fundament nejvýznamnější složkou a vyskytl se na 665,48 Hz s velikostí modulu -44,14 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu byl u 5. harmonické s rozdílem 0,69 dB. Nejvyšší rozdíl poté u 3. harmonické složky s hodnotou 11,03 dB. Nejnížší rozdíl mezi druhým a třetím kontrabasem byl u 16. harmonické složky s rozdílem 0,09 dB, významně nízký rozdíl je ale například i u první harmonické s hodnotou 0,29 dB. Nejvyšší rozdíl velikosti modulů harmonických složek byl naměřen u 6. harmonické složky s rozdílem 8,53 dB. Nejnížší rozdíl velikosti modulu harmonických složek mezi prvním a třetím kontrabasem nastal u 2. harmonické s rozdílem 1,19 dB. Nejvyšší poté u 17. harmonické s rozdílem 9,05 dB. Nárůst intenzity harmonických složek u prvního kontrabasu nastal u 4., 12., 15., a 18. složky. Nárůst intenzity ve spektru pozorujeme kolem 2,5, 8 a 10 kHz. Nárůst intenzit harmonických složek u druhého kontrabasu nastal u 6., 10., 14., 17. a 19. složky. Nárůsty pozorujeme kolem 4, 8 a 10 kHz. Nárůst intenzit harmonických složek

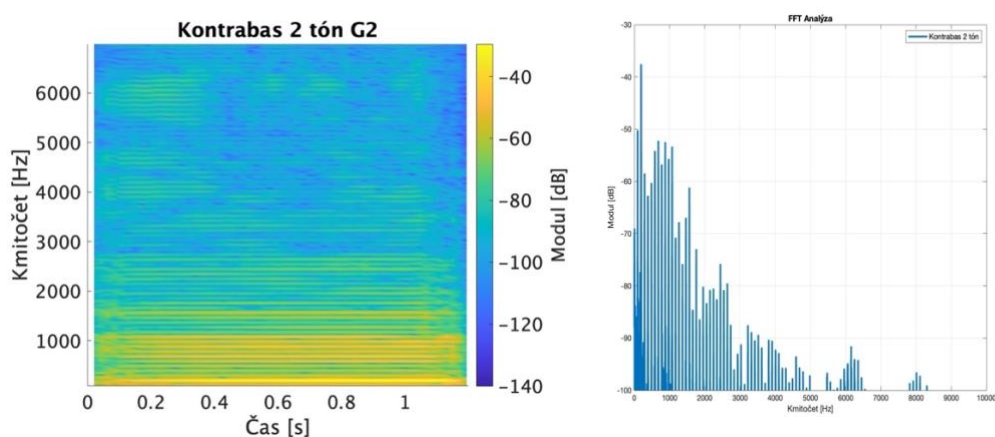
u třetího kontrabasů pozorujeme u 6., 7., 12., 15., 17. a 20. složky. Ve vyšších polohách se již barvy všech kontrabasů začínají více podobat. První kontrabas je jasnější, což je způsobeno zesílenou 4. harmonickou složkou, zatímco druhý a třetí kontrabas jsou ostřejší, což je způsobeno zesílenou 7. harmonickou.

4.4. Spektrogramy a spektrum tónů v metodou arco v dynamice mezzoforte

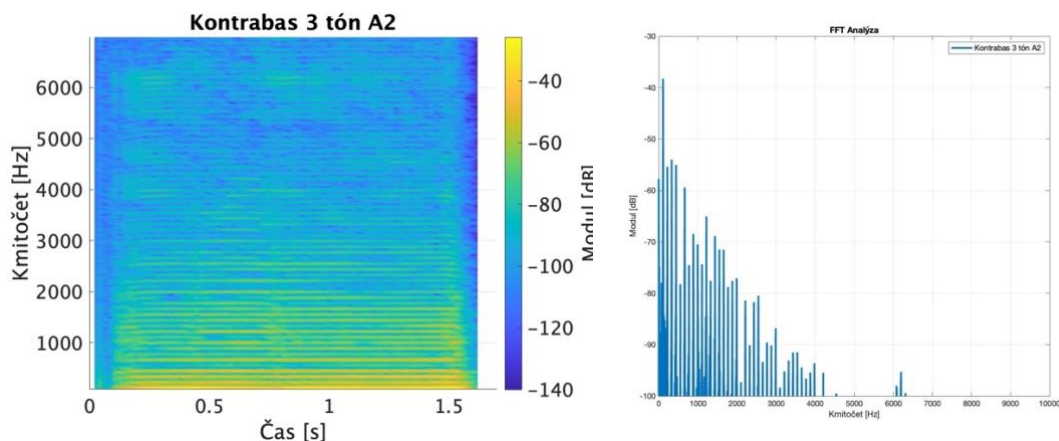
4.4.1. Spektrogram a spektrum tónů A2 prvního a třetího kontrabasů a tónu G2 druhého kontrabasů hrané metodou arco mezzoforte



Obrázek 4.17 Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasů arco mezzoforte



Obrázek 4.18 Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasů arco forte



Obrázek 4.19 Spektrogram a spektrum tónu A2 třetího kontrabasu arco mezzoforte

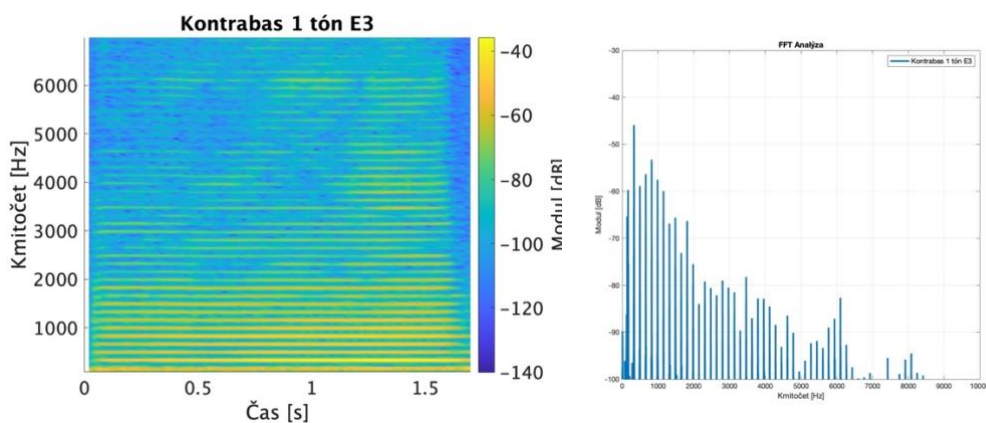
Tabulka 4.6 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 mezzoforte

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	110,16	-44,44	97,46	-50,19	110,49	-38,27	5,75	11,92	6,17
2	220,73	-46,86	195,74	-37,56	221,59	-55,4	9,3	17,84	8,54
3	330,89	-55,2	293,21	-58,47	332,09	-54	3,27	4,47	1,2
4	441,05	-54,54	390,67	-62,74	442,58	-55,05	8,2	7,69	0,51
5	551,21	-54,85	488,96	-60,3	553,68	-78,23	5,45	17,93	23,38
6	661,37	-59,39	586,42	-54,15	664,17	-59,42	5,24	5,27	0,03
7	771,95	-60,78	684,7	-52,23	774,06	-74,53	8,55	22,3	13,75
8	882,11	-62,67	782,17	-56,76	885,77	-68,68	5,91	11,92	6,01
9	992,69	-67,24	879,63	-52,48	995,66	-70,49	14,76	18,01	3,25
10	1102,85	-60,99	977,92	-55,7	1107,37	-74,39	5,29	18,69	13,4
11	1213,01	-61,64	1075,38	-53,35	1217,86	-65,04	8,29	11,69	3,4
12	1323,17	-62,75	1172,85	-70,79	1328,36	-77,58	8,04	6,79	14,83
13	1433,33	-59,89	1271,13	-67,82	1438,85	-68,87	7,93	1,05	8,98
14	1543,49	-61,96	1368,6	-75,82	1549,35	-71,5	13,86	4,32	9,54
15	1654,9	-76,39	1466,88	-66,95	1660,45	-71,56	9,44	4,61	4,83
16	1764,23	-63,41	1564,34	-61,2	1771,55	-78,78	2,21	17,58	15,37
17	1874,39	-64,04	1659,35	-84,92	1882,04	-77,61	20,88	7,31	13,57
18	1984,97	-76,67	1760,09	-72,99	1992,54	-77,09	3,68	4,1	0,42
19	2095,13	-71,66	1857,56	-86,57	2103,03	-97,32	14,91	10,75	22,66
20	2205,7	-89,41	1955,84	-80,3	2213,53	-81,4	9,11	1,1	8,01

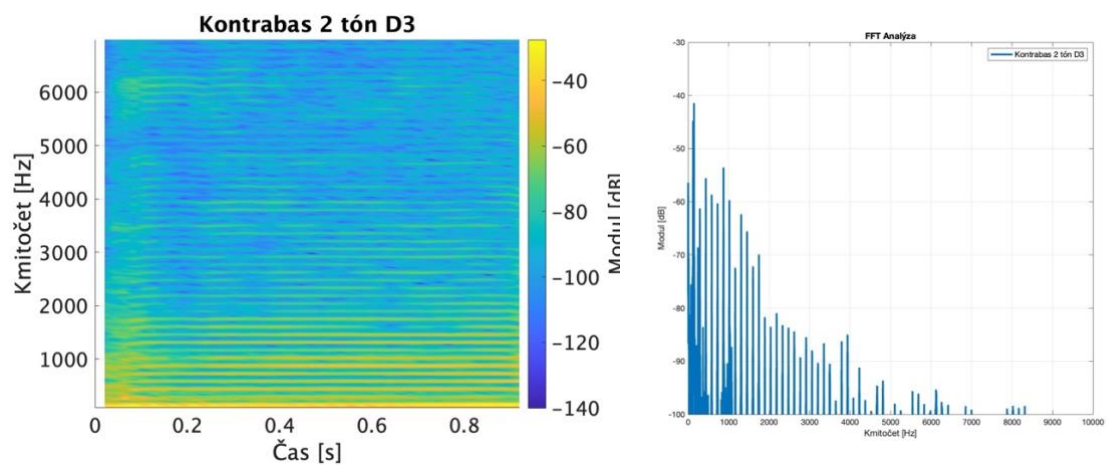
Nejvýznamnější složkou spektra prvního kontrabasu hrajícího tón A2 byl fundament, který se vyskytl na 110,16 Hz s velikostí modulu -44,44 dB. U druhého hrajícího tón G2 se fundament vyskytl na 97,46 Hz a měl velikost modulu -50,19 dB. Nejvýraznější složkou ve

spektru však byla druhá harmonická na 195,74 Hz s velikostí modulu -37,56 dB. U třetího kontrabasu hrajícího tón G2 byl nejvýraznější složkou fundament na 110,49 Hz s velikostí modulu -38,27 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu byl u 16. harmonické s rozdílem 2,21 dB. Nejvyšší u 17. harmonické s rozdílem 20,88 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami mezi druhým a třetím kontrabasem nastal u 20. harmonické s rozdílem 1,1 dB. Nejvyšší byl poté u 10. harmonické s rozdílem 18,69 dB. Nejnižší rozdíl harmonické složky mezi prvním a třetím kontrabasem byl u 6. harmonické s rozdílem 0,03 dB. Nejvyšší poté u 5. harmonické s rozdílem 23,38 dB. Nárůst velikostí modulů u prvního kontrabasu nastal u 4., 10., 13., 16., a 19. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1,5, 2,5, 3,5, 4,5, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů u druhého kontrabasu pozorujeme u 2., 5., 6., 7., 9., 11., 13., 15., 16., 18. a 20. harmonické složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 1,5, 2,5, 3,5, 4,5, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů u třetího kontrabasu pozorujeme u 3., 6., 8., 11., 13., 17., 18. a 20. složky. Nárůst ve spektru pozorujeme kolem 1,5, 2,5, 3,5 a 6 kHz. Barva prvního kontrabasu je plná a průrazná, což je způsobeno přítomností vysokých harmonických složek ve spektru, na rozdíl od kontrabasu třetího. Barva druhého kontrabasu je velmi mohutná, což je způsobeno velmi výraznou druhou harmonickou složkou.

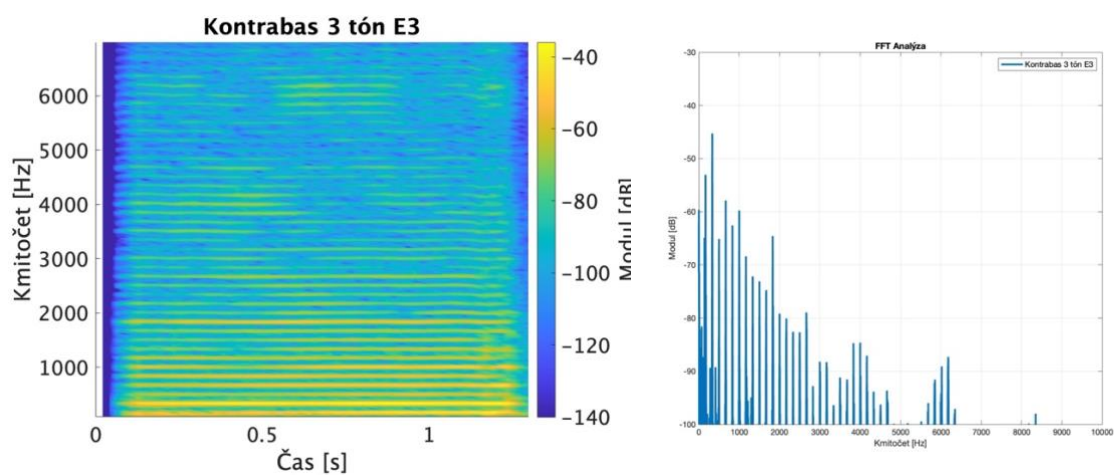
4.4.2. Srovnání spekter tónů E3 prvního a třetího kontrabasů a tónu D3 druhého kontrabasů hrané metodou arco mezzoforte



Obrázek 4.20 Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasů arco mezzoforte



Obrázek 4.21 Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco mezzoforte



Obrázek 4.22 Spektrogram a spektrum tónu E3 třetího kontrabasu arco mezzoforte

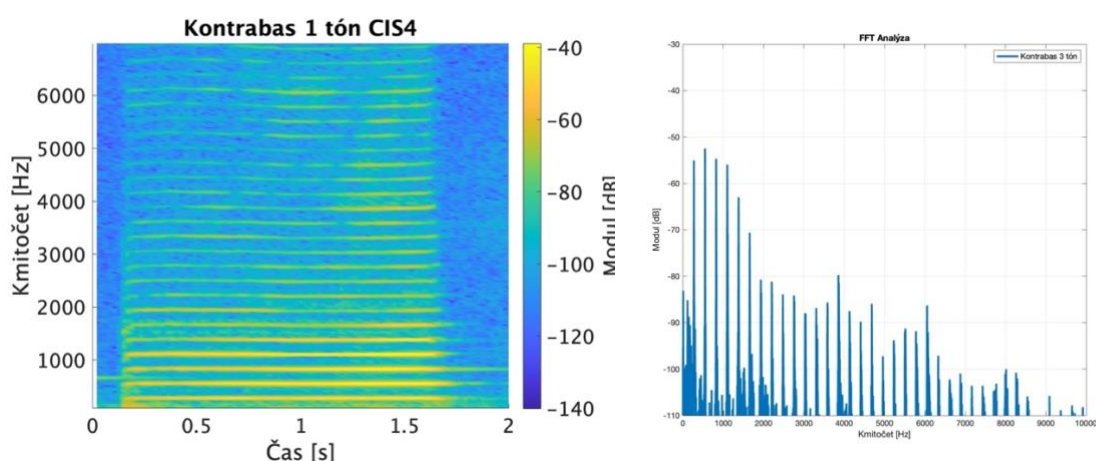
Tabulka 4.7 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 mezzoforte

Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	164,81	-59,94	145,81	-41,44	166,73	-53,06	18,5	11,62	6,88
2	330,06	-45,91	291,62	-61,26	333,46	-45,28	15,35	15,98	0,63
3	494,87	-59,1	437,43	-55,57	500,92	-65,12	3,53	9,55	6,02
4	660,12	-56,36	583,25	-58,67	667,65	-57,88	2,31	0,79	1,52
5	825,36	-53,26	729,06	-60,31	834,38	-62,54	7,05	2,23	9,28
6	990,18	-57,53	874,87	-53,57	1002	-59,75	3,96	6,18	2,22
7	1155,43	-59,94	1020,69	-59,69	1169,32	-68,39	0,25	8,7	8,45
8	1320,24	-66,89	1165,47	-72,41	1336,78	-72,21	5,52	0,2	5,32
9	1485,49	-65,58	1312,31	-62,35	1503,51	-73,09	3,23	10,74	7,51
10	1650,31	-73,13	1457,1	-66,02	1670,24	-74,73	7,11	8,71	1,6
11	1815,55	-66,3	1603,94	-72,15	1834,03	-64,61	5,85	7,54	1,69
12	1982,52	-75,51	1749,75	-69,91	2001,5	-79,15	5,6	9,24	3,64
13	2145,18	-84	1895,56	-81,72	2170,43	-80,48	2,28	1,24	3,52
14	2311,72	-79,18	2041,37	-83,51	2335,69	-82,58	4,33	0,93	3,4
15	2477,82	-80,58	2187,19	-80,95	2502,43	-82,67	0,37	1,72	2,09
16	2640,92	-82,39	2333	-83,19	2666,22	-78,96	0,8	4,23	3,43
17	2805,73	-79	2478,81	-83,69	2830,01	-92,74	4,69	9,05	13,74
18	2970,98	-80,51	2621,54	-84,8	300,41	-88,2	4,29	3,4	7,69
19	3135,8	-81,51	2771,46	-89,25	3167,14	-88,29	7,74	0,96	6,78
20	3299,75	-90,04	2914,19	-85,46	3340,48	-96,37	4,58	10,91	6,33

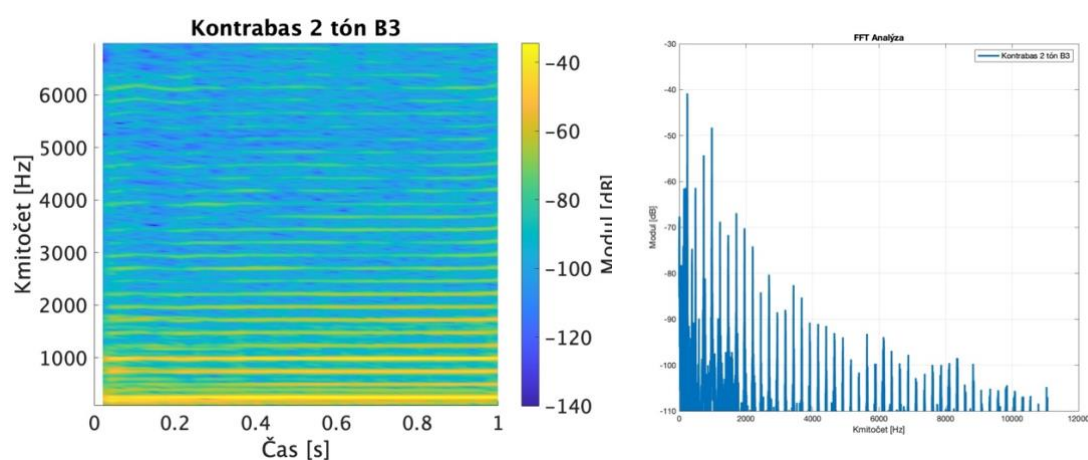
U prvního kontrabasu hrajícího tón E3 se fundament vyskytl na 164,81 Hz a měl velikost modulu -59,94 dB. Nejvýraznější harmonická složka byla druhá harmonická na 330,06 Hz s velikostí modulu -45,91 dB. U druhého kontrabasu byl fundament nejvýraznější harmonickou složkou a vyskytl se na 145,81 Hz a měl velikost modulu -41,44 dB. Fundament u třetího kontrabasu se vyskytl na 166,73 Hz a měl velikost modulu -53,06 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla druhá harmonická na 333,28 Hz s velikostí modulu -45,28 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 7. harmonické složky s hodnotou 0,25 dB. Nejvyšší byl poté u první harmonické s rozdílem 18,5 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek mezi druhým a třetím kontrabasem nastal u 8. harmonické složky s rozdílem 0,8 dB. Nejvyšší poté u první harmonické s rozdílem 11,62 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek mezi prvním a třetím kontrabasem nastal u druhé harmonické s rozdílem 0,63 dB. Nejvyšší u 17. harmonické s rozdílem 13,74 dB. Nárůst velikostí modulů u prvního kontrabasu nastal u 2., 4., 5., 9., 11. a 17. harmonické složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1,

3,5 a 6 kHz. Nárůst velikostí modulu u druhého kontrabasu nastal u 3., 6., 9., 12., 15. a 20. harmonické složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 2, 3,5 a 6 kHz. Nárůst velikostí modulů u třetího kontrabasu pozorujeme u 2., 4., 6., 11., 16. a 17. harmonické složky. Barva prvního a třetího kontrabasů je mohutná, což je způsobeno výraznou druhou harmonickou složkou ve spektru. První kontrabas oproti třetímu má ale barvu plnější, což je způsobeno větším počtem vyšších harmonických ve spektru. Zároveň jsou oba kontrabasy jasnější, což je způsobeno zesílenými 4. nebo 6. harmonickou složkou. Druhý kontrabas není tak jasný a mohutný, což je způsobeno utlumenější druhou harmonickou složkou a utlumenou 8. harmonickou složkou.

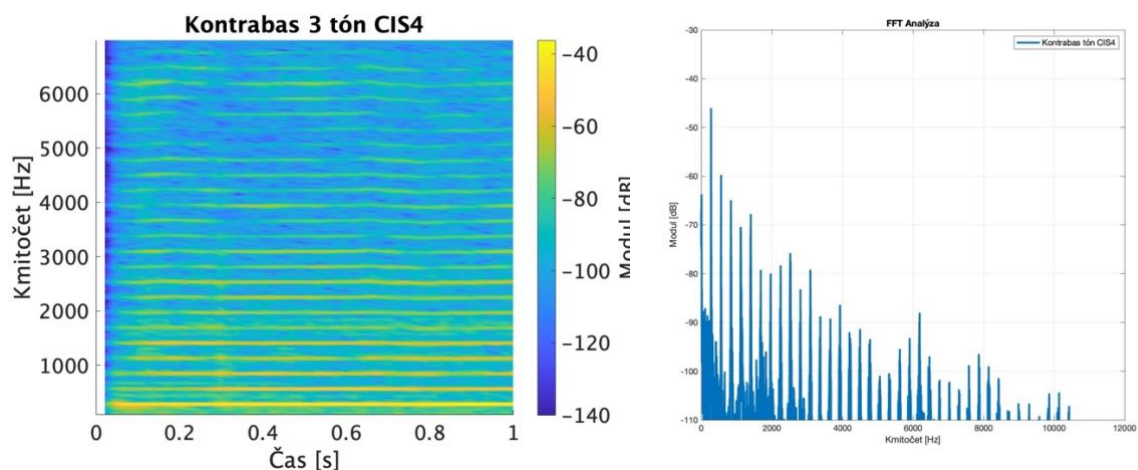
4.4.3. Spektrogramy tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasů a tónu B3 druhého kontrabasů hrané metodou arco mezzoforte



Obrázek 4.23 Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasů arco mezzoforte



Obrázek 4.24 Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasů arco mezzoforte



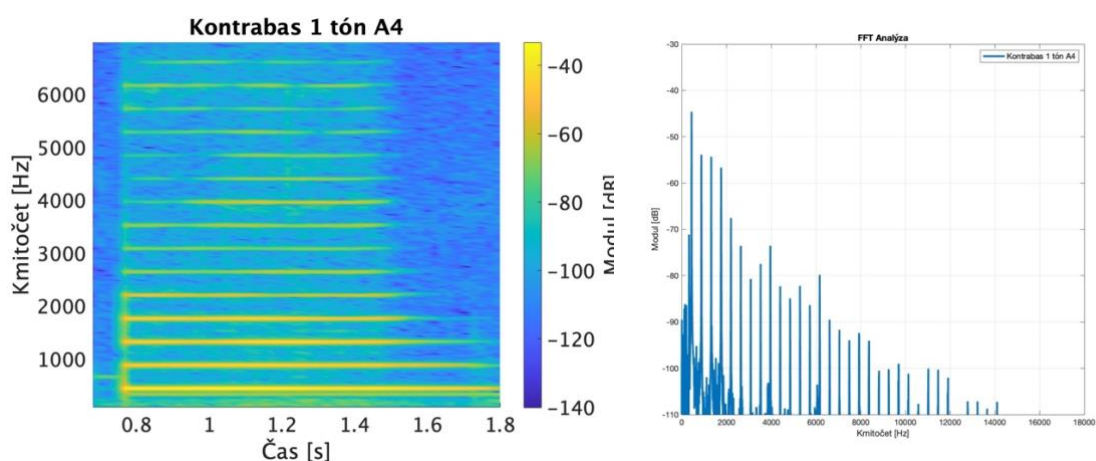
Obrázek 4.25 Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco mezzoforte

Tabulka 4.8 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu CIS4 a B3 mezzoforte

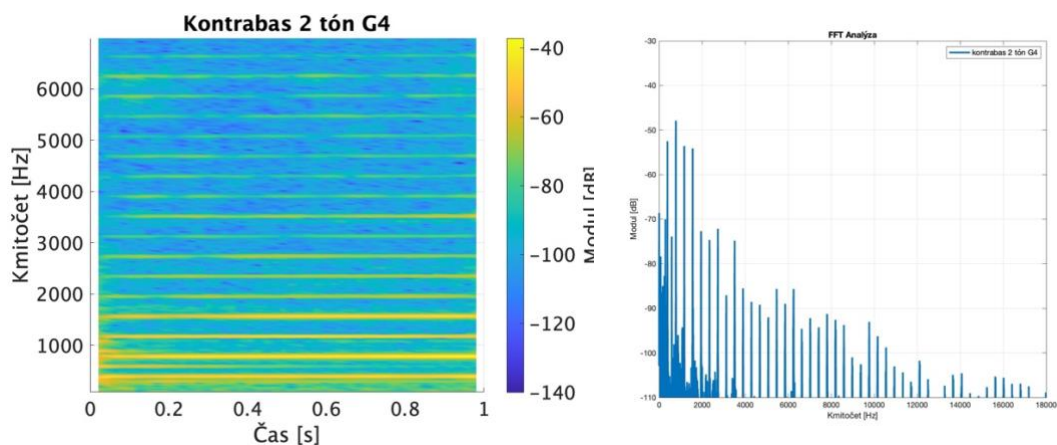
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	275,98	-55,96	245,84	-40,79	280,57	-46,03	15,17	5,24	9,93
2	551,55	-52,47	490,75	-61,38	563,35	-59,74	8,91	1,64	7,27
3	827,12	-53,68	736,59	-54,29	843,2	-64,91	0,61	10,62	11,23
4	1102,7	-55,97	981,5	-48,37	1119,37	-70,39	7,6	22,02	14,42
5	1381,55	-62,96	1227,34	-68,75	1405,82	-67,78	5,79	0,97	4,82
6	1657,54	-70,62	1473,18	-71,65	1687,87	-79,22	1,03	7,57	8,6
7	1935,98	-80,73	1719,03	-66,89	1969,18	-79,97	13,84	13,08	0,76
8	2204,98	-81,18	1963,93	-70,17	2249,02	-78,59	11,01	8,42	2,59
9	2479,74	-83,97	2206,97	-74,98	2523,73	-75,77	8,99	0,79	8,2
10	2755,31	-84,43	2451,88	-84,41	2810,91	-83,38	0,02	1,03	1,05
11	3030,06	-88,34	2698,66	-80,27	3092,23	-79,16	8,07	1,11	9,18
12	3306,45	-86,91	2946,37	-88,47	3375,01	-88,74	1,56	0,27	1,83
13	3582,43	-85,9	3189,41	-87,94	3657,79	-89,22	2,04	1,28	3,32
14	3855,95	-80,95	3434,31	-82,96	3933,96	-86,38	2,01	3,42	5,43
15	4131,52	-87,93	3679,22	-85,27	4198,37	-92,1	2,66	6,83	4,17
16	4407,51	-90,12	3921,32	-90,71	4501,72	-91,33	0,59	0,62	1,21
17	4683,9	-85,95	4172,78	-91,16	4782,3	-93,42	5,21	2,26	7,47
18	4959,88	-97,22	4414,88	-91,46	5062,88	-100,9	5,76	9,51	3,75
19	5229,7	-93,78	4660,72	-93,1	5322,15	-100,7	0,68	7,62	6,94
20	5518,42	-91,27	4915,91	-93,95	5629,17	-95,46	2,68	1,51	4,19

U prvního kontrbasu hrajícího tón CIS4 se fundament vyskytl na 275,98 Hz a měl velikost modulu -55,47 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla druhá harmonická na 551,55 Hz s velikostí modulu -52,47 dB. Nejvýraznější složka u druhého kontrbasu hrajícího tón B3 byl fundament, který se vyskytl na 245,84 Hz s velikostí modulu -40,79 dB. Nejvýraznější složkou u třetího kontrbasu hrajícího tón CIS4 byl fundament na 280,57 Hz s velikostí modulu -46,03 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrbasu byl u 10. harmonické s rozdílem 0,02 dB. Nejvyšší byl poté u první harmonické s rozdílem 15,17 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrbasu byl u 11. harmonické s rozdílem 0,27 dB. Nejvyšší poté u 7. harmonické s rozdílem 13,84 dB. Nejnižší rozdíl mezi prvním a třetím kontrbasem byl u 7. harmonické s rozdílem 0,76 dB. Nejvyšší poté u 4. harmonické s rozdílem 14,22 dB. Nárůst velikostí modulů harmonických složek u prvního kontrbasu nastal u 2., 13., 14., 17. a 20. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 4, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek druhého kontrbasu pozorujeme u 3., 4., 7., 11., 13. a 14. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme 1, 2, 4, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek u třetího kontrbasu pozorujeme u 5., 8., 9., 11., 14., 16. a 20. harmonické složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2,5, 4, 6, 8 a 10 kHz. Barva druhého kontrbasu jasná a dutá, což je způsobeno výraznou třetí a čtvrtou harmonickou složkou. Barva prvního a třetího kontrbasu je taktéž jasná u prvního je však mohutnější, což je způsobeno zesílenou druhou harmonickou složkou.

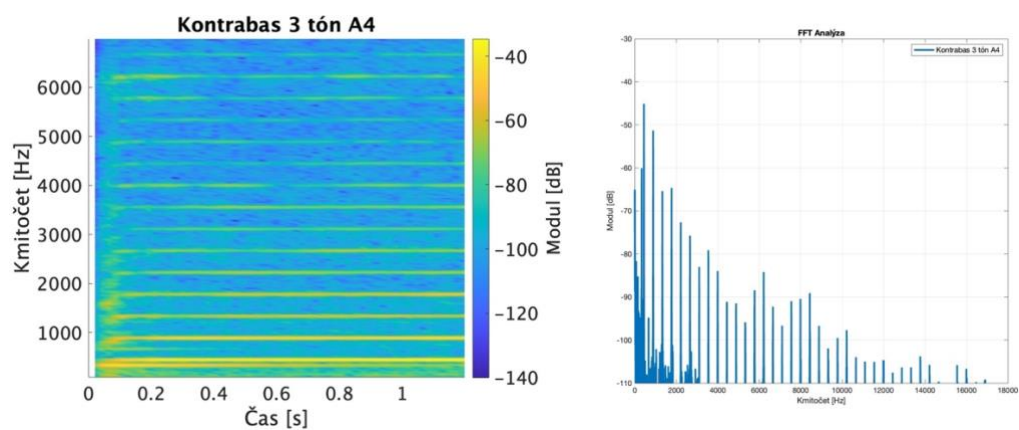
4.4.4. Spektrogramy tónů A4 prvního a třetího kontrbasu a tónu G4 druhého kontrbasu hrané metodou arco mezzoforte



Obrázek 4.26 Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrbasu arco mezzoforte



Obrázek 4.27 Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasu arco mezzoforte



Obrázek 4.28 Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco mezzoforte

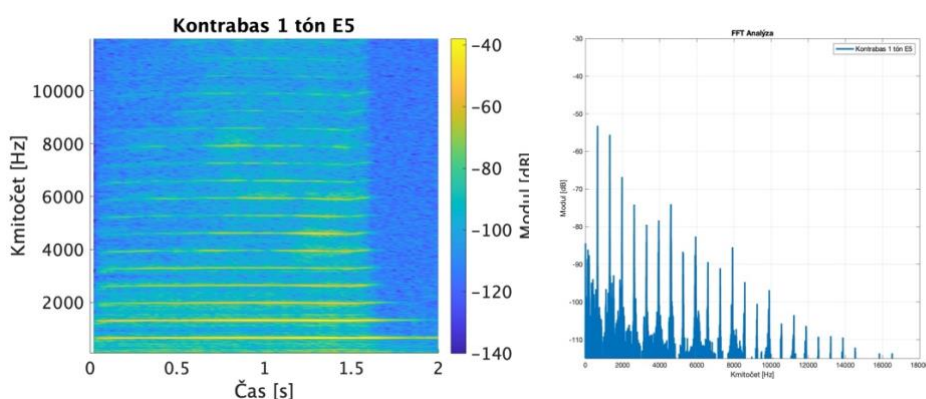
Tabulka 4.9 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4 mezzoforte

Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	440,76	-44,6	390,72	-52,51	443,91	-45,08	7,91	7,43	0,48
2	881,94	-53,92	781,44	-47,88	888,55	-51,32	6,04	3,44	2,6
3	1322,76	-54,33	1171,17	-53,58	1332,47	-65,37	0,75	11,79	11,04
4	1763,99	-56,72	1562,88	-54,11	1777,11	-64,63	2,61	10,52	7,91
5	2206,14	-67,55	1952,61	-72,68	2221,03	-72,95	5,13	0,27	5,4
6	26643,21	-73,55	2343,34	-74,67	2667,11	-75,74	1,12	1,07	2,19
7	3087,21	-80,71	2374,05	-72,15	3108,86	-82,98	8,56	10,83	2,27
8	3528,44	-77,45	3125,77	-87,05	3552,76	-79,13	9,6	7,92	1,68
9	3962,27	-73,72	3515,49	-74,83	4001,02	-83,93	1,11	9,1	10,21
10	4403,03	-82,28	3903,23	-85,54	442,78	-91,11	3,26	5,57	8,83
11	4843,34	-84,91	4294,95	-88,53	4885,97	-91,53	3,62	3	6,62
12	5287,34	-82,2	4685,87	-89,2	5329,17	-95,86	7	6,66	13,66
13	5727,64	-86,33	5078,38	-92,62	5780,29	-88,41	6,29	4,21	2,08
14	6168,87	-80,15	5468,1	-85,65	6221,33	-84,16	5,5	1,49	4,01
15	6609,64	-89,52	5863,79	-88,98	6665,97	-92,2	0,54	3,22	2,68
16	7050,87	-91,7	6254,52	-86,05	7108,44	-96,64	5,65	10,59	4,94
17	7490,71	-94,07	6632,31	-94,59	7553,08	-90,04	0,52	4,55	4,03
18	7926,38	-92,37	7029	-92,19	7993,39	-90,42	0,18	1,77	1,95
19	8376,86	-94,03	7424,69	-94,24	8440,91	-89,34	0,21	4,9	4,69
20	8821,79	-100,5	7810,44	-91,27	8885,55	-96,69	9,24	5,42	3,82

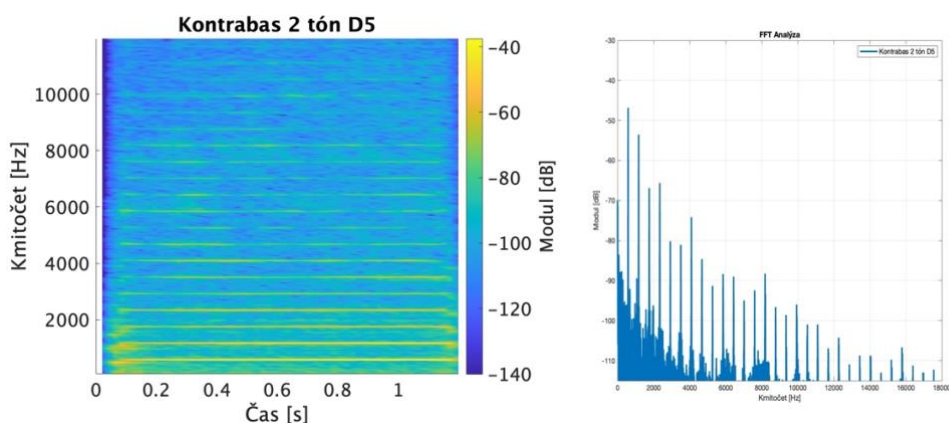
Fundament se u prvního kontrabasu hrajícího tón A4 vyskytl na 440,76 Hz s velikostí modulu -44,6 dB a byl zároveň nejvýraznější harmonickou složkou ve spektru. U druhého kontrabasu hrajícího tón G4 se fundament vyskytl na 390,72 Hz s velikostí modulu -52,51 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla druhá harmonická na 781,44 Hz s velikostí modulu -47,88 dB. U třetího kontrabasu hrajícího tón A4 byl fundament nejvýraznější složkou a vyskytl se na 443,91 Hz s velikostí modulu -45,08 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 18. harmonické s rozdílem 0,18 dB. Velmi malý rozdíl pozorujeme například také u 3. harmonické složky. Nejvyšší rozdíl byl zaznamenán mezi 8. harmonickou s velikostí 9,6 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu pozorujeme u 5. harmonické složky s rozdílem 0,27 dB. Nejvyšší poté u 3. harmonické s rozdílem 11,79 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu pozorujeme u fundamentu s rozdílem 0,48 dB. Nejvyšší rozdíl poté u 12. harmonické s hodnotou 13,66 dB. Nárůst velikostí modulů ve spektru prvního kontrabasu pozorujeme u 8., 9., 12., 14., a 18. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 4, 6, 8, 10 a 12 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek

druhého kontrbasu pozorujeme u 2., 7., 9., 14., 18. a 20. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 4., 6., 8., 10 a 12 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek třetího kontrbasu pozorujeme u 4., 8., 13., 14., 17. a 19. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2, 3, 5, 6, 8 a 10 kHz. Barva prvního kontrbasu je drsnější a jasná, což je způsobeno zesílenou 8. a 9. harmonickou složkou. Barva druhého kontrbasu je v tomto případě mohutnější, což je způsobeno zesílenou druhou harmonickou složkou. Je také jasný a ostrý, což je způsobeno zesílenou 7. a 9. harmonickou složkou. Barva třetího kontrbasu je taktéž jasná, což je způsobeno zesílenou 4. a 8. zesílenou harmonickou složkou. Zvuk na rozdíl od předchozích není ale tak plný, což může být způsobeno větším poklesem intenzit harmonických složek oproti předchozím dvěma kontrbasům.

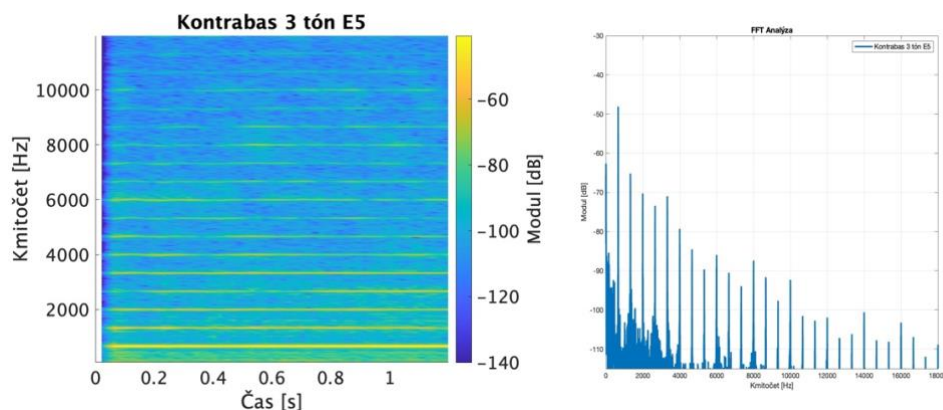
4.4.5. Srovnání spekter tónů E5 prvního a třetího kontrbasu a tónu D5 druhého kontrbasu hrané metodou arco mezzoforte



Obrázek 4.29 Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrbasu arco mezzoforte



Obrázek 4.30 Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrbasu arco mezzoforte



Obrázek 4.31 Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco mezzoforte

Tabulka 4.10 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 mezzoforte

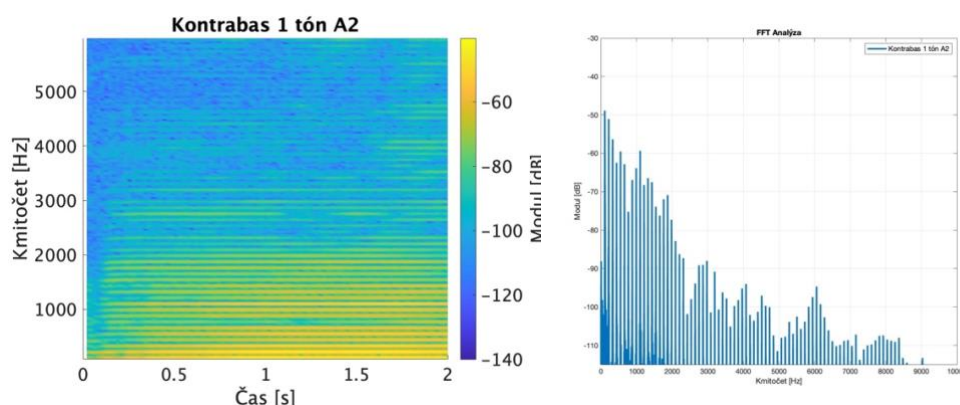
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	660,31	-53,54	584,55	-46,84	665,95	-48,07	6,7	1,23	5,47
2	1321,51	-56,02	1169,1	-53,52	1331,91	-65,19	2,5	11,67	9,17
3	1981,39	-67,01	1754,45	-66,89	1999,31	-70,27	0,12	3,38	3,26
4	2642,58	-74,12	2337,41	-66	2664,55	-73,4	8,12	7,4	0,72
5	3303,77	-79,47	2925,14	-80,18	3331,94	-70,98	0,71	9,2	8,49
6	3955,79	-78,81	3510,49	-81,16	4000,06	-79,29	2,35	1,87	0,48
7	4604,75	-74,41	4093,45	-74,16	4666,74	-84,95	0,25	10,79	10,54
8	5255,45	-86,96	5678,8	-84,63	5331,25	-89,67	2,33	5,04	2,71
9	5943,74	-82,66	5264,14	-91,3	6001,53	-85,96	8,64	5,34	3,3
10	6603,62	-89,37	5851,08	-88,35	6663,89	-90,52	1,02	2,17	1,15
11	7264,81	-91,36	6434,04	-89	7337,04	-93,93	2,36	4,93	2,57
12	7928,62	-85,47	7017,8	-95,3	8003,72	-87,4	9,83	7,9	1,93
13	8589,38	-94,73	7604,73	-92,43	8666,8	-91,65	2,3	0,78	3,08
14	9250,13	-100,71	8185,31	-88,25	9333,47	-97,66	12,46	9,41	3,05
15	9904,77	-96,84	8769,06	-96,59	10000,9	-92,32	0,25	4,27	4,52
16	10561,6	-106,31	9350,43	-98,59	10669	-101,5	7,72	2,95	4,77
17	11232	-103,71	9936,57	-95,97	11331,3	-102,7	7,74	6,78	0,96
18	11891,8	-106,61	10534,6	-101	12001,6	-101,9	5,61	0,93	4,68
19	12543	-109,22	11103,3	-100,9	12666,3	-107,4	8,26	6,46	1,8
20	13215,1	-109	11694,2	-106,9	13333,5	-106,1	2,158	0,79	2,898

Fundament všech kontrabasů byl nejvýraznější složkou ve spektru. U prvního kontrabasu hrajícího tón E5 se fundament vyskytl na 660,31 Hz a měl velikost modulu -53,54 dB.

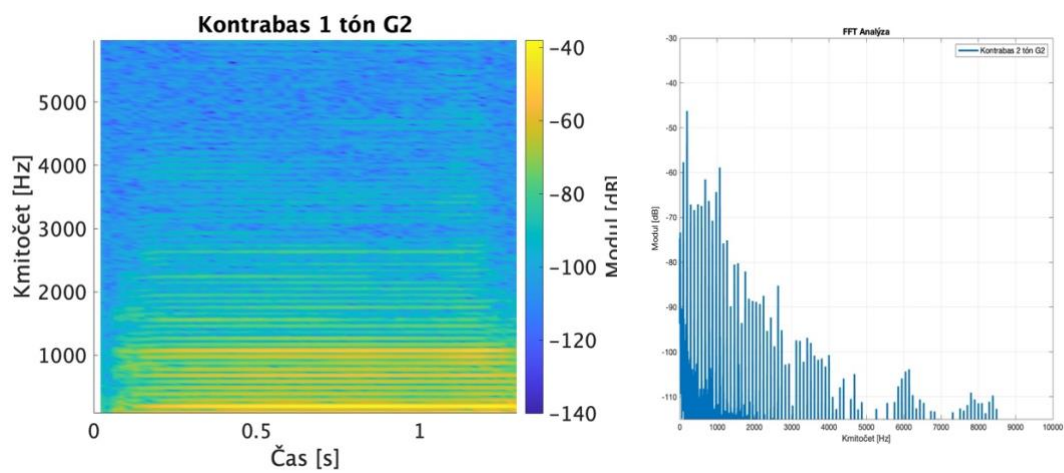
U druhého kontrabasu hrajícího tón D5 se vyskytl na 584,55 Hz a měl velikost modulu -46,84 dB. Třetí kontrabas hrající tón E5 měl fundament na 665,95 Hz s velikostí modulu -48,07 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 3. harmonické s rozdílem 0,12 dB. Nejvyšší poté u 14. harmonické s rozdílem 12,46 dB. Mezi druhým a třetím kontrabasem byl nejnižší rozdíl u 13. harmonické s rozdílem 0,78 dB. Nejvyšší rozdíl byl zaznamenán u 2. harmonické s rozdílem 11,67 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu se vyskytl u 6. harmonické složky s hodnotou 0,48 dB. Nejvyšší poté u 7. harmonické s rozdílem 10,54 dB. Nárůst velikostí modulů harmonických složek u prvního kontrabasu pozorujeme u 6., 7., 9., 12., 15. a 17. harmonické složky. Zesílení ve spektru lze pozorovat na 4,5, 6, 8 a 10 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek druhého kontrabasu nastal u 4., 7., 10., 13., 14., 17. a 19. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2., 4., 6., 8., 10 a 12 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek třetího kontrabasu pozorujeme u 5., 9., 12., 15. a 18. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 3, 6., 8., 10., 12., 14. a 16 kHz. Barva prvního kontrabasu je velmi jasná a ostrá, což způsobuje zesílená 7. a 9. harmonická složka. Barva druhého kontrabasu je také jasná a ostrá, což je způsobeno zesílenou 4. a 7. harmonickou složkou, barva je ale plnější oproti kontrabasu prvnímu, díky zesílenějším vyšším harmonickým složkám na vyšších frekvencích. Barva třetího kontrabasu je jasná díky zesílené 4. a 8. harmonické složce, avšak je méně ostřejší oproti druhému kontrabasu.

4.5. Spektrogramy a spektrum tónů v metodou arco v dynamice piano

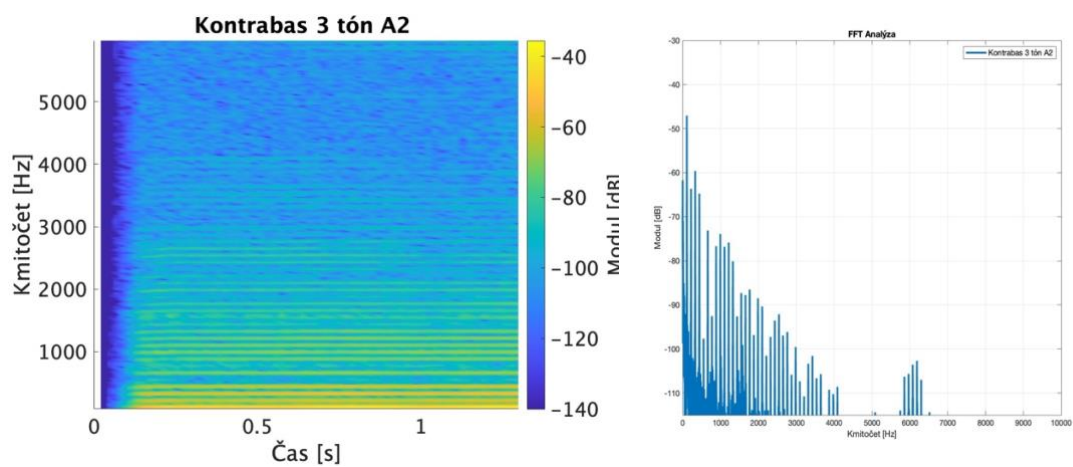
4.5.1. Srovnání spekter tónů A2 prvního a třetího kontrabasů a tónu G2 druhého kontrabasů hrané metodou arco piano



Obrázek 4.32 Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasů arco piano



Obrázek 4.33 Spektrogram a spektrum tónu G2 druhého kontrabasu arco piano



Obrázek 4.34 Spektrogram a spektrum tónu A2 třetího kontrabasu arco piano

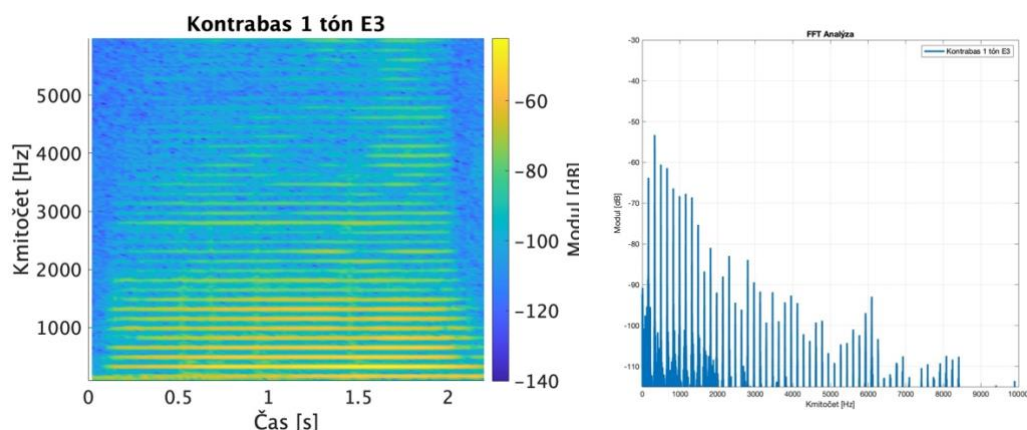
Tabulka 4.11 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A2 a G2 piano

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	110,28	-48,9	97,64	-57,68	110,29	-47,02	8,78	10,66	1,88
2	220,56	-51,64	195,28	-46,24	221,2	-63,63	5,4	17,39	11,99
3	330,5	-56,33	292,17	-67,83	331,49	-59,61	11,5	8,22	3,28
4	440,78	-62,47	389,81	-68,33	441,79	-64,75	5,86	3,58	2,28
5	551,06	-59,52	487,45	-67,08	552,08	-97,66	7,56	30,58	38,14
6	661,01	-62,83	585,09	-67,43	662,99	-73,11	4,6	5,68	10,28
7	771,29	-75,78	682,73	-61,51	773,91	-92,53	14,27	31,02	16,75
8	881,57	-66,93	780,32	-66,32	884,2	-76,68	0,61	10,36	9,75
9	991,51	-63,87	878,01	-70,74	994,49	-73,9	6,87	3,16	10,03
10	1101,8	-59,34	975,65	-64,32	1105,41	-76,79	4,98	12,47	17,45
11	1212,08	-68,25	1073,29	-58,85	1215,7	-75,83	9,4	16,98	7,58
12	1322,02	-66,46	1170,18	-75,76	1326,62	-80,29	9,3	4,53	13,83
13	1432,3	-67,51	1267,82	-75,11	1436,29	-92,6	7,6	17,49	25,09
14	1542,59	-73,89	1365,46	-89,8	1547,2	-87,31	15,91	2,49	13,42
15	1652,53	-76,39	1463,1	-80,51	1658,12	-87,95	4,12	7,44	11,56
16	1762,81	-71,96	1560	-80,22	1768,41	-86,53	8,26	6,31	14,57
17	1873,09	-70,89	1659,14	-93,55	1879,32	-96,85	22,66	3,3	25,96
18	1983,37	-77,27	1756,02	-82,08	1989,61	-88,52	4,81	6,44	11,25
19	2093,32	-82,9	1853,66	-88,11	2099,28	-90,95	5,21	2,84	8,05
20	2203,6	-86,25	1950,55	-88,64	2208,95	-101,5	2,39	12,91	15,3

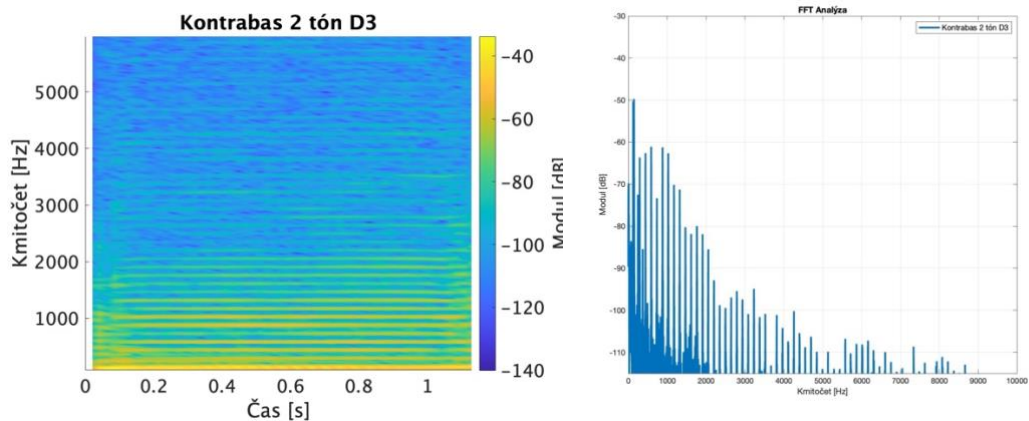
Fundament, který byl zároveň nejvýraznější harmonickou složkou, se u prvního kontrabasu hrajícího tón A2 se vyskytl na 110,28 Hz a měl velikost modulu – 48,9 dB. U druhého kontrabasu hrajícího tón G2 se fundament vyskytl na 97,64 Hz s velikostí modulu -57,68 dB. Nejvýraznější složkou v jeho spektru však byla druhá harmonická složka na 196,28 Hz s velikostí modulu -46,24 dB. Fundament u třetího kontrabasu hrajícího tón A2 se vyskytl na 11,29 Hz s velikostí modulu -47,02 a byl nejvýraznější složkou ve spektru. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 8. harmonické s rozdílem 0,61 dB. Nejvyšší poté u 17. harmonické s rozdílem 22,66 dB. Výrazný rozdíl je také u 3., 7. a 14. složky. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu nastal u 14. harmonické s rozdílem 2,49 dB. Podobnou velikost měla také například 4. harmonická. Nejvyšší rozdíl nastal u

5. harmonické složky s rozdílem 30, 58 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek mezi prvním a třetím kontrabasem nastal u fundamentu s rozdílem 1,88 dB. Nejvyšší poté u 5. harmonické s rozdílem 38,14 dB. Nárůst velikostí modulů harmonických složek prvního kontrbasu nastal u 5., 8., 9., 10., 12., 16. a 17. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1,5, 3, 4, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek druhého kontrbasu nastal u 2., 5., 7., 10., 11., 15., 16. a 18. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1,5kHz, 2,5kHz, 3,5kHz, 6kHz a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek třetího kontrbasu nastal u 3., 6., 8., 9., 11., 14., 16. a 18. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme u 1kHz, 2kHz, 2,5kHz, 3,5 kHz a 6 kHz. Barva prvního kontrbasu je měkká díky výraznější 5. harmonické složce, není však příliš ostrá, jak můžeme vidět ve spektru je totiž potlačenější 7. harmonická složka. Druhý kontrbas má velmi výraznou druhou harmonickou složku, což dělá tón mohutnější. Zároveň je výrazná 7. harmonická složka, což dodává tónu drsnost. Třetí kontrbas má velmi potlačenou 5. a 7. harmonickou složku, není tedy tolik ostrý, zároveň má zesílenou 3. harmonickou, což mu dodává tupější barvu.

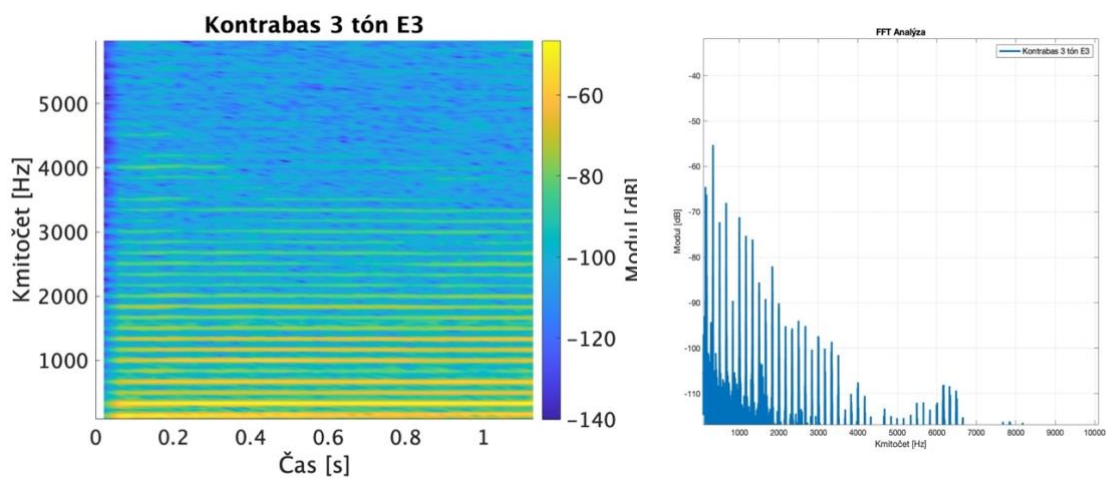
4.5.2. Srovnání spekter tónů E3 prvního a třetího kontrbasu a tónu D3 druhého kontrbasu hrané metodou arco piano



Obrázek 4.35 Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrbasu arco piano



Obrázek 4.36 Spektrogram a spektrum tónu D3 druhého kontrabasu arco piano



Obrázek 4.37 Spektrogram a spektrum tónu E3 prvního kontrabasu arco piano

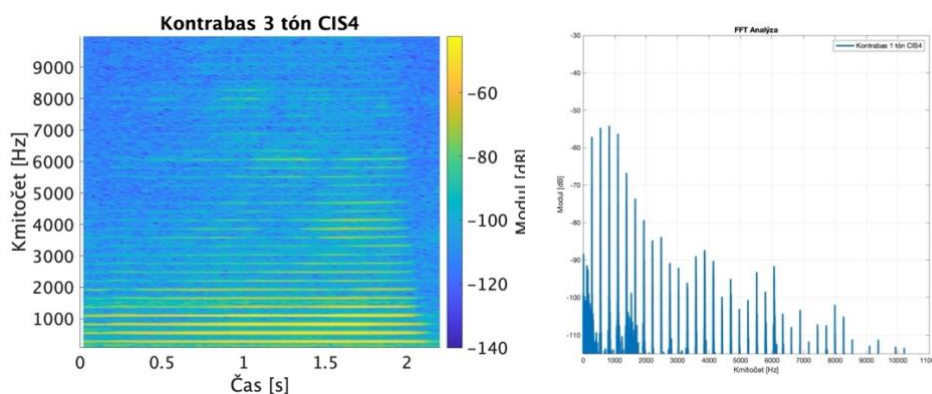
Tabulka 4.12 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a G2 piano

Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	164,82	-63,75	146,81	-49,81	167,06	-66,19	13,94	16,38	2,44
2	329,65	-53,68	293,63	-63,66	334,13	-55,26	9,98	8,4	1,58
3	494,82	-60,55	440,45	-62,62	500,46	-72,25	2,07	9,63	11,7
4	659,64	-61,39	587,27	-61,11	666,79	-68	0,28	6,89	6,61
5	824,47	-66,37	734,08	-73,34	836,08	-89,77	6,97	16,43	23,4
6	989,64	-68,28	880,9	-61,24	1003,16	-71,79	7,04	10,55	3,51
7	1154,47	-67,69	1027,72	-62,66	1170,22	-75,69	5,03	13,03	8
8	1319,29	-68,56	1174,54	-70,17	1335,07	-76,17	1,61	6	7,61
9	1484,46	-75,29	1321,36	-71,3	1502,88	-85,55	3,99	14,25	10,26
10	1849,29	-86,74	1468,18	-80,23	1664,75	-89,18	6,51	8,95	2,44
11	1814,11	-80,95	1614,99	-81,86	1835,53	-81,97	0,91	0,11	1,02
12	1979,63	-92,46	1761,81	-79,96	1997,4	-90,11	12,5	10,15	2,35
13	2143,08	-87,97	1908,63	-81,91	2170,41	-95,49	6,06	13,58	7,52
14	2309,96	-82,94	2055,45	-85,52	2336,74	-95,66	2,58	10,14	12,72
15	2309,96	-82,94	2203,12	-92,85	2497,12	-93,98	9,91	1,13	11,04
16	2472,73	-94,38	2350,79	-98,78	2671,62	-95,11	4,4	3,67	0,73
17	2638,93	-96,1	2498,46	-99,78	2837,94	-100,3	3,68	0,54	4,22
18	2804,78	-83,92	2645,28	-96,94	3004,27	-97,54	13,02	0,6	13,62
19	2969,61	-89,38	2789,54	-95,42	3163,17	-100	6,04	4,67	10,71
20	3134,44	-91,74	2933,43	-97,43	3339,89	-98,58	5,69	1,15	6,84

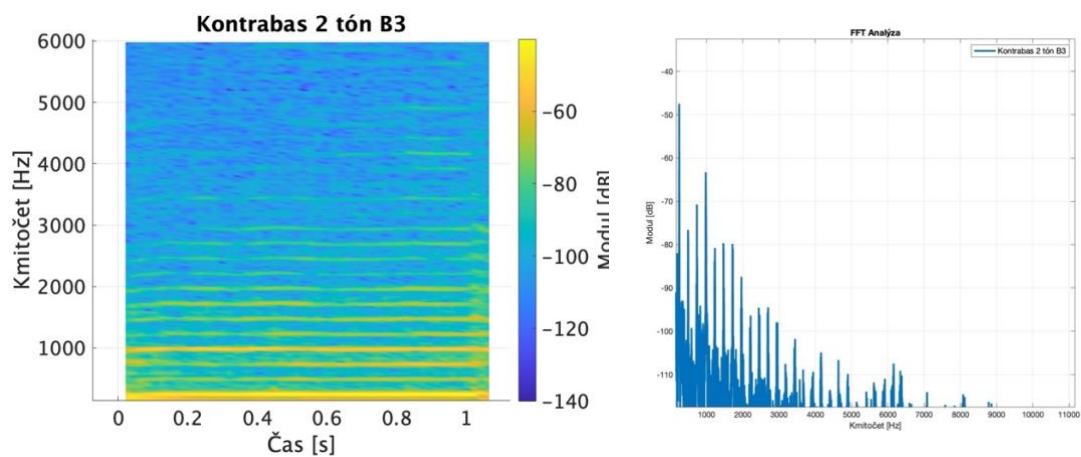
U prvního kontrabasu hrajícího tón E3 se fundament vyskytl na 164,82 Hz s velikostí modulu -63,75 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla druhá harmonická na 329,65 Hz s velikostí modulu -53,68 dB. U druhého kontrabasu hrajícího tón D3 byl fundament nejvýraznější složkou spektra a vyskytl se na 146,81 Hz a měl velikost modulu -63,66 dB. Fundament se u třetího kontrabasu hrajícího tón E3 vyskytl na 167,06 Hz s velikostí modulu -66,18 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla druhá harmonická na 334,13 Hz s velikostí modulu -55,26 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 4. harmonické složky s hodnotou 0,28 dB. Nejvyšší poté u fundamentu s rozdílem 13,94 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu nastal u 10. harmonické s rozdílem 0,6 dB. Nejvyšší poté u 5. harmonické s rozdílem 16,43 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek prvního a třetího kontrabasu nastal u 16. harmonické s rozdílem 0,73 dB. Nízký rozdíl mezi prvními 9 harmonickými byl také u 2. harmonické s rozdílem 1,58 dB. Nejvyšší byl u 5. harmonické s rozdílem 23,4 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami

prvního a třetího kontrabasu nastal u 16. harmonické s rozdílem 0,73 dB. Mezi prvními 9. harmonickými u 2. harmonické s rozdílem 1,58 dB. Nejvyšší rozdíl nastal u 5. harmonické s hodnotou 23,4 dB. Nárůst velikosti modulů harmonických složek ve spektru prvního kontrabasu pozorujeme u 2., 7., 11., 13., 14. a 18. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 3, 4, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů harmonických složek u druhého kontrabasu pozorujeme u 3., 4., 6., 12., 18. a 19. harmonické složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 2, 3, 4, 5, 6 a 8 kHz. Nárůst velikostí modulů u třetího kontrabasu pozorujeme u 2., 4., 6., 11., 15. 18. a 20. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2, 3, 4 a 6 kHz. První kontrabas má výraznou harmonickou složku, což v barvě podporuje mohutnost tónu. V jeho 3. pásmu od 16. harmonické složky má mnoho zesílených harmonických složek, které podporují ostrost. Druhý kontrabas má potlačenější pátou harmonickou a zároveň druhá harmonická není tolik výrazná, tón tedy mírně ztrácí nosovost, je však jasný a ostrý díky zesílenější čtvrté a šesté harmonické a plnějšímu 3. pásmu od 16. harmonické složky. Barva třetího kontrabasu. Třetí kontrabas má zesílenou druhou harmonickou zodpovědnou za mohutnost tónu. Zároveň má zeslabenou třetí a pátou harmonickou, tudíž ztrácí své měkké pásmo. Ve svém třetím pásmu nemá mnoho zesílených harmonických není tedy tolik ostrý jako předchozí dva kontrabasy.

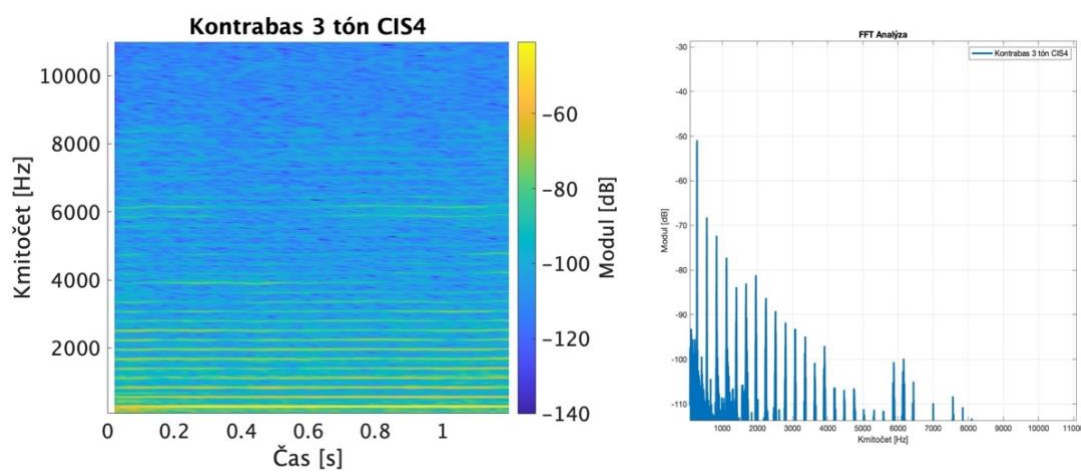
4.5.3. Srovnání spekter tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu hrané metodou arco piano



Obrázek 4.38 Spektrogram a spektrum tónu CIS4 prvního kontrabasu arco piano



Obrázek 4.39 Spektrogram a spektrum tónu B3 druhého kontrabasu arco piano



Obrázek 4.40 Spektrogram a spektrum tónu CIS4 třetího kontrabasu arco piano

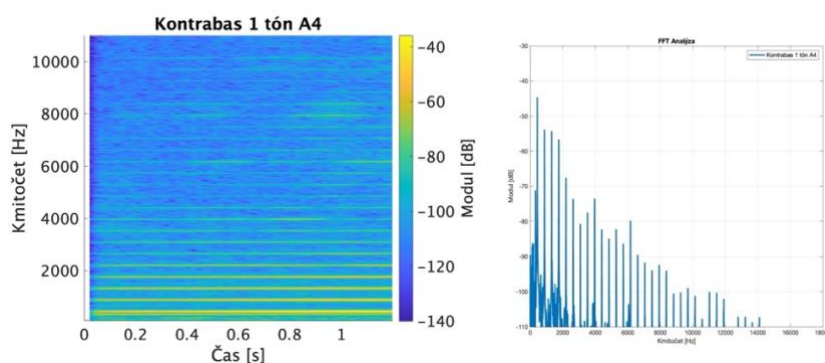
Tabulka 4.13 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E3 a G2 piano

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	276,09	-57,07	245,34	-47,44	279,92	-50,91	9,63	3,47	6,16
2	551,81	-54,65	487,96	-76,6	560,54	-68,25	21,95	8,35	13,6
3	827,52	-54,12	733,31	-70,85	837,65	-72,29	16,73	1,44	18,17
4	1103,62	-56,24	977,74	-53,24	1121,79	-77,22	3	23,98	20,98
5	1379,71	-66,71	1231,31	-80,76	1401,71	-83,86	14,05	3,1	17,15
6	1655,06	-73,57	1464,8	-79,66	1678,12	-83,01	6,09	3,35	9,44
7	1930,78	-79,32	1714,71	-79,81	1957,33	-81,13	0,49	1,32	1,81
8	2206,49	-84,9	1968,27	-87,72	2243,58	-86,8	2,82	0,92	1,9
9	2482,59	-83,86	2217,26	-96,93	2515,06	-89,2	13,07	7,73	5,34
10	2758,68	-90,81	2440,72	-94,63	2799,91	-91,74	3,82	2,89	0,93
11	3034,4	-92,07	2699,75	-94,49	3069,28	-93,14	2,42	1,35	1,07
12	3310,11	-96,56	2929,6	-97,95	3361,86	-94,86	1,39	3,09	1,7
13	3585,83	-88,99	3174,95	-107,5	3629,12	-100,8	18,53	6,71	11,82
14	3863,41	-87,35	3441,28	-101,7	3911,15	-97,15	14,43	4,63	9,8
15	4137,64	-90,41	3663,82	-108,8	4185,44	-106,2	18,42	2,55	15,87
16	4413,36	-99,79	3939,27	-109,3	4466,77	-106,8	9,57	2,51	7,06
17	4687,22	-95,06	4158,17	-104,8	4746,69	-106,5	9,82	1,61	11,43
18	4963,31	-103,2	4408,08	-113,5	5024,5	-111,2	10,4	2,4	8
19	5239,03	-100,7	4637,01	-106,6	5322,71	-111,2	5,95	4,61	10,56
20	5514,38	-93,64	4897,87	-109,8	5990,67	-111,5	16,16	1,73	17,89

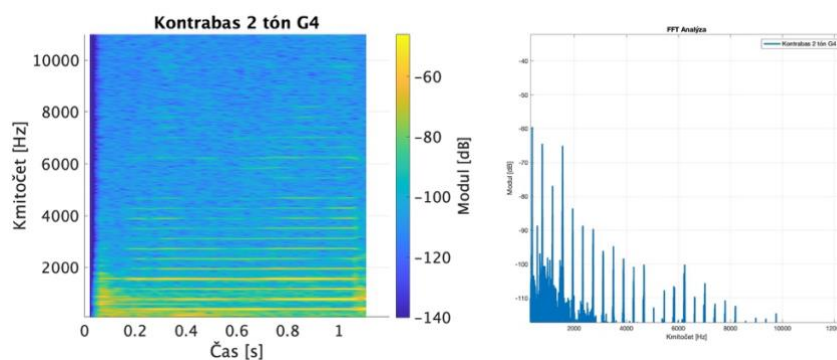
Fundament se u prvního kontrabasu hrajícího tón CIS4 vyskytl na 276,09 Hz s velikostí modulu -57,07 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla třetí harmonická na 827,52 Hz s velikostí modulu -54,12 dB. U druhého kontrabasu byl fundament nejvýraznější složkou a vyskytl se na 245,34 Hz s velikostí modulu -47,44 dB. U třetího kontrabasu byl fundament nejvýraznější složkou a vyskytl se na 279,92 Hz s velikostí modulu -50,91 dB. Nejnižší rozdíl modulů harmonických složek mezi prvním a druhým kontrabasem nastal u sedmé harmonické s rozdílem 0,49 dB. Nejvyšší poté u druhé harmonické s rozdílem 21,95 dB. Nejnižší rozdíl modulů harmonických složek mezi druhým a třetím kontrabasem nastal u deváté harmonické s rozdílem 0,92 dB. Nejvyšší poté u čtvrté harmonické s rozdílem 23,98 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek mezi prvním a třetím kontrabasem pozorujeme u desáté harmonické s rozdílem 0,93 dB. Nejvyšší u čtvrté harmonické s rozdílem 20,98 dB. Nárůst velikostí modulů složek ve spektru prvního kontrabasu pozorujeme u 2., 3., 9., 13., 14., 17., 19. a 20. harmonické. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 2,5, 4, a 6 kHz. Nárůst velikostí modulů složek druhého kontrabasu pozorujeme u 3., 4., 6., 10., 11., 14., 17. a 19. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 1, 2,5, 3,5, 4, a 6 kHz. Nárůst velikostí modulů složek třetího kontrabasu pozorujeme u 6., 14. a 17. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2, 4 a 6 kHz. První kontrabas má zesílenou 2. harmonickou složku, která je zodpovědná za mohutnost tónu, zároveň má také zesílenou 3. harmonickou složku, zodpovědnou za

dotost. Spektrum je vyrovnané a má bohaté druhé pásmo, čímž tón nabývá ostrosti. Spektrum druhého kontrabasu má zašumělejší charakter, což je dáno nedokonalým smykem smyčce. Má zeslabenou druhou harmonickou, která je zodpovědná za mohutnost tónu. Zesílenou má 4. harmonickou, čímž tón nabývá na jas. Ve spektru nemá tolik vyšších harmonických v druhém pásmu jako první kontrabas, a tak barva není tolik ostrá. Třetí kontrabas má vyrovnané spektrum, barva stejně jako u předchozího kontrabasu není tolik ostrá, protože mu chybí v druhém spektru vyšší harmonické.

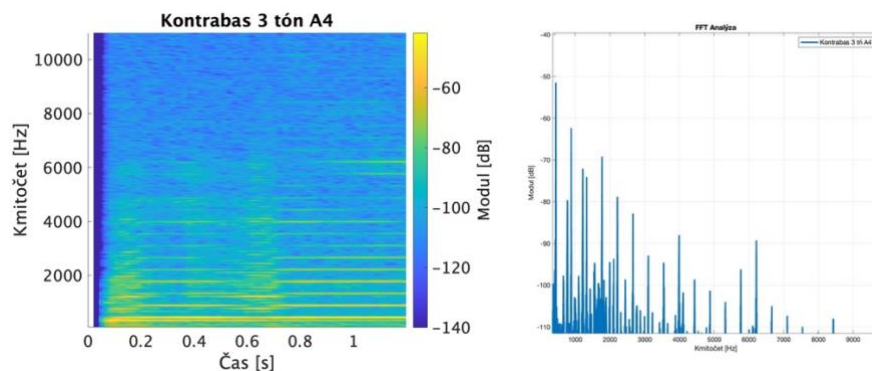
4.5.4. Srovnání spekter tónů A4 prvního a třetího kontrabasů a tónu G4 druhého kontrabasů hrané metodou arco piano



Obrázek 4.41 Spektrogram a spektrum tónu A4 prvního kontrabasů arco piano



Obrázek 4.42 Spektrogram a spektrum tónu G4 druhého kontrabasů arco piano



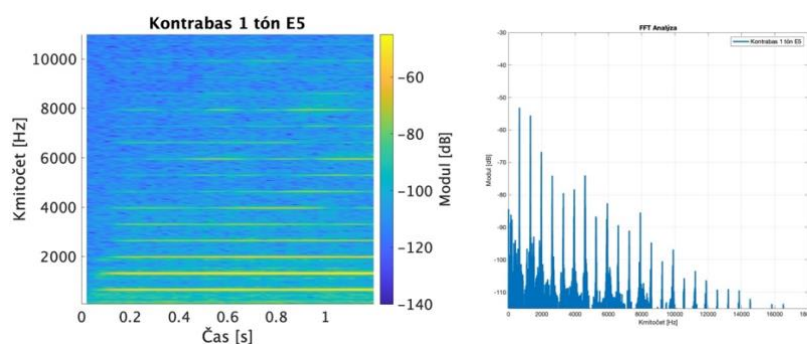
Obrázek 4.43 Spektrogram a spektrum tónu A4 třetího kontrabasu arco piano

Tabulka 4.14 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu A4 a G4 piano

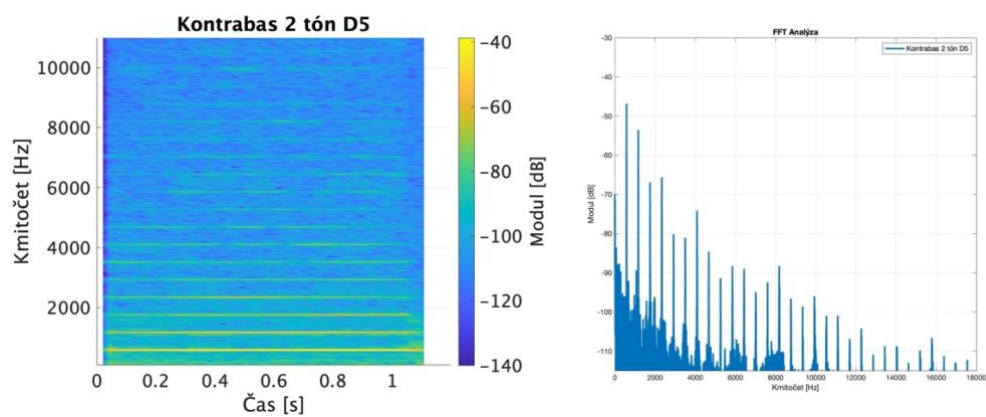
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	441,16	-44,33	389	-59,51	443,82	-51,49	15,18	8,02	7,16
2	882,32	-53,7	778,87	-64,62	887,03	-62,34	10,92	2,28	8,64
3	1323,88	-57,34	1170,5	-76,85	1330,85	-74,07	19,51	2,78	16,73
4	1765,04	-61,33	1559,5	-65,03	1774,07	-69,2	3,7	4,17	7,87
5	2206,2	-72,82	1945	-83,52	2217,28	-78,79	10,7	4,73	5,97
6	2647,36	-79,23	2337,5	-88,62	2661,71	-83,11	9,39	5,51	3,88
7	3088,52	-81,33	2731,74	-89,56	3104,31	-92,87	8,23	3,31	11,54
8	3528,52	-85,03	3114,62	-96,03	3547,53	-94,59	11	1,44	9,56
9	3969,29	-77,39	3512,37	-94,74	3992,56	-87,97	17,35	6,77	10,58
10	4410,46	-89,34	3898,74	-98,32	4434,56	-98,58	8,98	0,26	9,24
11	4851,62	-92,95	4289,49	-100,7	4878,38	-101,3	7,8	0,55	8,35
12	5294,72	-93,56	4681,11	-100,1	5532,81	-103,9	6,55	3,87	10,42
13	5734,33	-93,63	5057,88	-112,8	5769,06	-96,18	19,175	16,625	2,55
14	6175,49	-86,39	5463,49	-107,6	6212,88	-89,28	21,29	18,4	2,89
15	6616,66	-94,98	5834,13	-106,4	6656,7	-105,1	11,51	1,38	10,13
16	7055,87	-97,48	6245,86	-100,1	7099,91	-107,2	2,65	7,07	9,72
17	7496,65	-96,65	6630,49	-109,6	7538,2	-110	12,95	0,4	13,35
18	7938,2	-94,18	7024,73	-105,6	7982,7	-111,3	11,42	5,7	17,12
19	8379,36	-97,21	7413,73	-111,6	8431,98	-109,3	14,39	2,3	12,09
20	8820,16	-106,1	7800,98	-111,1			5,02		

Fundament se u prvního kontrbasu hrajícího tón A4 vyskytl na 441,16 Hz s velikostí modulu -44,33 dB a byl nejvýraznější složkou ve spektru. Nejvýraznější složkou u druhého kontrbasu byl fundament a vyskytl se na 389 Hz s velikostí modulu -59,9 dB. Nejvýraznější složkou třetího kontrbasu hrajícího tón A4 byl také fundament a vyskytl se na 443,82 Hz s velikostí modulu -51,49 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrbasu nastal u 4. harmonické s rozdílem 3,7 dB. Nejvyšší poté u 3. harmonické s rozdílem 19,51 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrbasu nastal u 10. harmonické s rozdílem 0,26 dB. Nejvyšší poté u 13. harmonické s rozdílem 16,62 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrbasu nastal u 13. harmonické s rozdílem 2,55 dB. Nejvyšší u 3. harmonické s rozdílem 16,73 dB. Nárůst velikosti modulů ve spektru prvního kontrbasu pozorujeme u 9., 14., 17. a 18. složky. Zesílení ve spektru vidíme na 4, 6, 8, 10 a 11 kHz. Nárůst velikostí modulů ve spektru druhého kontrbasu pozorujeme u 4., 9., 12., 14., 15. a 18. složky. Zesílení ve spektru vidíme na 1, 3,5 a 6 kHz. Nárůst velikostí modulů ve spektru třetího kontrbasu pozorujeme u 4., 9., 13., 14. a 19. složky. Zesílení ve spektru pozorujeme na 2, 4 a 6 kHz. V nahrávce třetího kontrbasu hráč zavádil rukou o jinou strunu, čímž se do spektra promítly také harmonické složky jiného tónu. Mezi prvními 9. harmonickými není u prvního kontrbasu skoro žádná harmonická potlačena ani moc zesílena. Pouze 7. harmonická, která je zodpovědná za drsnost tónu je mírně utlumená. Barva tónu je jasná a ostrá, ve spektru má zesílenější vyšší harmonické v druhém (9-16. harmonická složka) a třetím pásmu (16. a vyšší harmonická). Druhý kontrbas má ve spektru potlačenější 3. harmonickou, která je zodpovědná za dutost. Zároveň má zesílenou 4. harmonickou, která do barvy přidává jas. Oproti prvnímu kontrbasu postrádá více složek v třetím pásmu, zodpovědnou za průraznou a ostrou barvu. Třetí kontrbas má zesílenou 3. harmonickou zodpovědnou za dutost. Barvu má jasnou, ale ne tak ostrou, díky tomu že postrádá více harmonických v třetím pásmu.

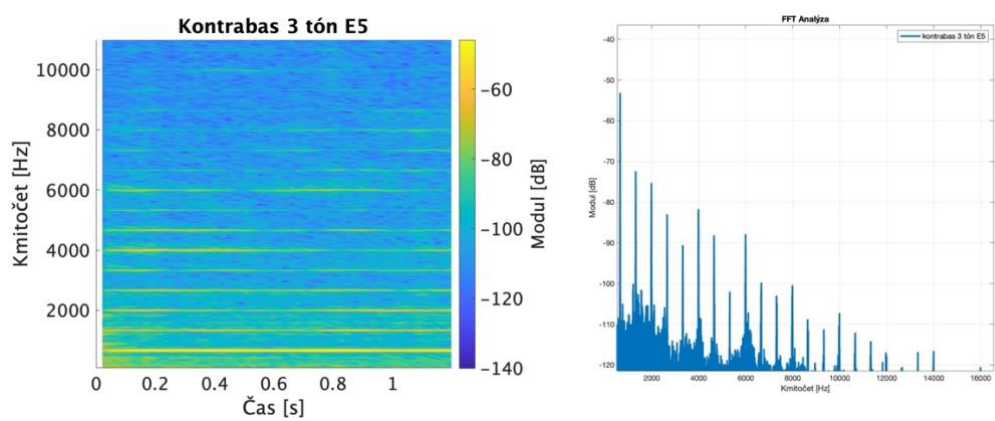
4.5.5. Spektrogramy tónů E5 prvního a třetího kontrbasu a tónu D5 druhého kontrbasu hrané metodou arco piano



Obrázek 4.44 Spektrogram a spektrum tónu E5 prvního kontrbasu arco piano



Obrázek 4.45 Spektrogram a spektrum tónu D5 druhého kontrabasu arco piano



Obrázek 4.46 Spektrogram a spektrum tónu E5 třetího kontrabasu arco piano

Tabulka 4.15 Srovnání prvních 20 harmonických složek tónu E5 a D5 piano

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	662,02	-57,67	585,91	-46,85	665,51	-53,17	10,82	6,32	4,5
2	1323,72	-58,05	1171,84	-59,88	1330,41	-72,39	4,83	12,51	17,34
3	1985,74	-69,54	1757,76	-74,94	1997,34	-75,29	5,4	0,35	5,75
4	2647,44	-77,4	2344,55	-76,7	2660,83	-83,01	0,7	6,31	5,61
5	3308,81	-89,69	2930,47	-86,07	3331,87	-90,55	3,62	4,48	0,86
6	3870,18	-78,48	3513,77	-92,37	3996,05	-82,39	13,89	9,98	3,91
7	4631,54	-79,64	4104,92	-86,62	4662,29	-88,17	6,98	1,55	8,53
8	5293,57	-87,16	4684,73	-90,9	5327,84	-102,3	3,74	11,4	15,14
9	5954,94	-83,42	5273,27	-97,77	5999,57	-88,49	14,35	9,28	5,07
10	6617,62	-95,92	5861,8	-95,78	6668,56	-99,74	0,14	3,96	3,82
11	7277,02	-99,41	6444,23	-98	7313,5	-102,9	1,41	4,9	3,49
12	7941,99	-94,18	7028,41	-99,58	7994,16	-100,4	5,4	0,87	6,27
13	8605	-106,4	7617,82	-103,5	8642,64	-108,7	2,9	5,2	2,3
14	9265,38	-107,2	8198,5	-101,3	9328,7	-111,4	5,9	10,13	4,23
15	9924,13	-105,1	8787,04	-105,3	9988,75	-107,2	0,2	1,9	2,1
16	10589,8	-115,9	9376,44	-111,5	10661,9	-112	4,4	0,5	3,9
17	11251,8	-107	9958,88	-102,5	11328,1	-114,1	4,5	11,6	7,1
18	11911,2	-114,9	10552,6	-108,4	11966,9	-116,9	6,5	8,5	2
19	12574,8	-120,4	11139,4	-113,7	12658,5	-120,5	6,7	6,8	0,1
20	13235,3	-121,6	1171,6	-116,7	13326,1	-116,9	4,9	0,2	4,7

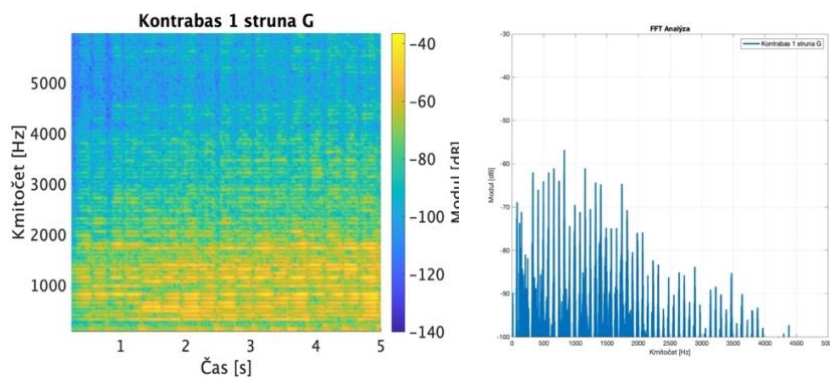
Fundament se u prvního kontrabasu hrajícího tón E5 vyskytl na 666,02 Hz a měl velikost modulu -57,67 dB. Fundament se u druhého kontrabasu hrajícího tón D5 vyskytl na 585,91 Hz a měl velikost modulu -46,85 dB. U třetího kontrabasu hrajícího tón E5 se fundament vyskytl na 665,51 Hz a měl velikost modulu -53,17 dB. U všech tří kontrabasů byl fundament nejvýraznější složkou ve spektru. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu se vyskytl u 10. harmonické s rozdílem 0,14 dB. U prvního 9. harmonických to bylo u 4. harmonické s rozdílem 0,7 dB. Nejvyšší rozdíl se vyskytl u 9. harmonické s rozdílem 14,35 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek druhého a třetího kontrabasu se vyskytl u 3. harmonické s rozdílem 0,35 dB. Nejvyšší u 2. harmonické s rozdílem 12,51 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu se vyskytl u 19. harmonické s rozdílem 0,1 dB. Mezi prvními 9. harmonickými

u 5. harmonické s rozdílem 0,86 dB. Nejvyšší rozdíl najdeme u 2. harmonické s rozdílem 17,34 dB. Nárůst intenzit harmonických prvního kontrabasů ve spektru pozorujeme u 6., 9., 12., 15. a 18. složky. Zesílení ve spektru lze vidět na 4,5 kHz, 6 kHz, 8 kHz a 10 kHz. Nárůst intenzit harmonických složek u druhého kontrabasů pozorujeme u 7., 10., 14. a 17. složky. Zesílení ve spektru lze vidět na 4 kHz, 6 kHz, 8 kHz, 10 kHz a 12 kHz. Nárůst intenzit harmonických složek třetího kontrabasů pozorujeme u 6., 9., 12., 15. a 20. složky. Zesílení ve spektru lze vidět na 4 kHz, 6 kHz, 8 kHz a 10 kHz. První kontrabas má zesílenou 7. a 9. harmonickou složku, které barvě dodávají drsnost a ostrost. Druhý kontrabas má zesílenou 4. a 7. harmonickou zodpovědné za jasnost a ostrost tónu. Zároveň má ve svém druhém pásmu více zesílené harmonické oproti prvnímu kontrabasů, barva je tedy o něco ostřejší. Třetí kontrabas má zesílenou 5. harmonickou zodpovědnou za nazální barvu. Zároveň má zesílenou 6. harmonickou zodpovědnou za jasnost a 9. zodpovědnou za ostrost. Barva kontrabasů však není tolik ostrá jako u přechodů, protože ve svém druhém pásmu má zesílenější vyšší harmonické než předchozí dva kontrabasy.

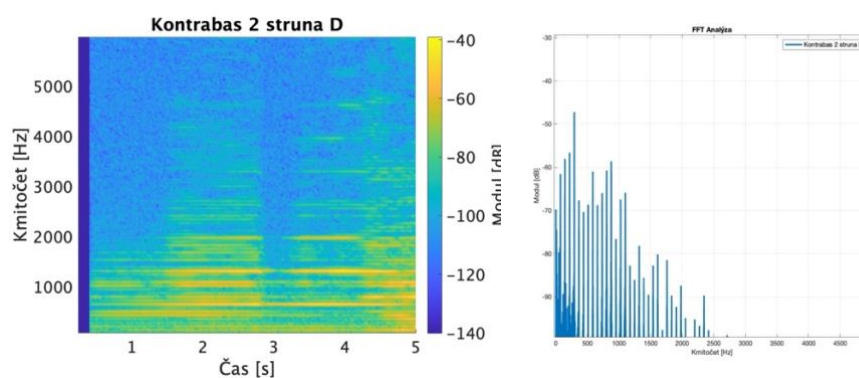
4.6. Srovnání spekter tónů různých technik hry a vlčího tónu

V této kapitole byly vybrány různé způsoby hry. První metodou hry je pizzicato, tedy buzení struny impulzem v podobě drknutí prstem do struny. Další zkoumanou metodou je hraní sul ponticello, tedy smyk smyčcem v oblasti blízké ke kobylicce. Dále metoda sul tasto, tedy hra smyčcem v oblasti blízké k hmatníku nástroje. Posledním zkoumaným vzorkem je vlčí tón. Vlčí tón vzniká při hraní tónu, který je frekvenčně podobný frekvenci rezonance těla. Při této frekvenci slábne impedance kobylinky, která se zprvu jeví dostatečně „silná“ (s vyšší impedancí) na to, aby struna začala oscilovat. Poté co začne silně oscilovat tělo při rezonanci, kobylička začíná ztrácet svou impedanci, čímž začne pohlcovat energii struny, která tímto přestává oscilovat. Rezonance těla přichází o zdroj své energie, čímž rezonance těla přestává, zvyšuje se impedance kobylinky a struna znovu osciluje. Tento cyklus, kdy se zvyšuje a znovu snižuje amplituda vibrací strun a těla vede ke vzniku vlčího tónu. [11] Při těchto metodách bylo pro tabulkové srovnání vybráno již jen 9 prvních harmonických složek.

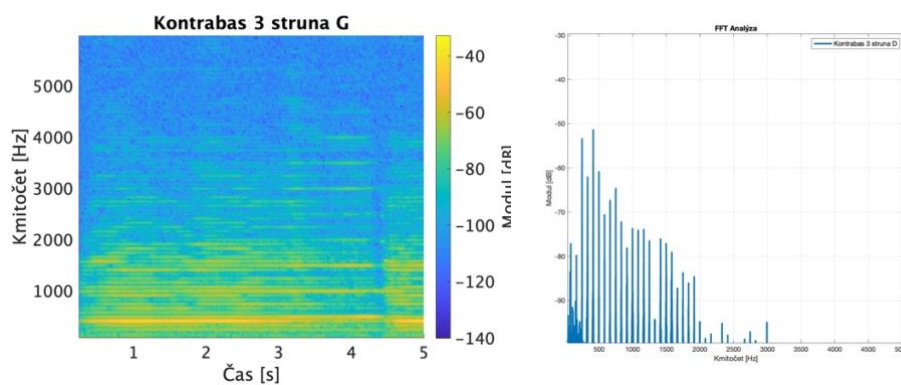
4.6.1. Srovnání spektra struny G prvního a třetího kontrabasu a struny D druhého metodou hry sul ponticelo



Obrázek 4.47 Spektrogram a spektrum struny G prvního kontrabasu sul ponticelo



Obrázek 4.48 Spektrogram a spektrum struny D druhého kontrabasu sul ponticelo



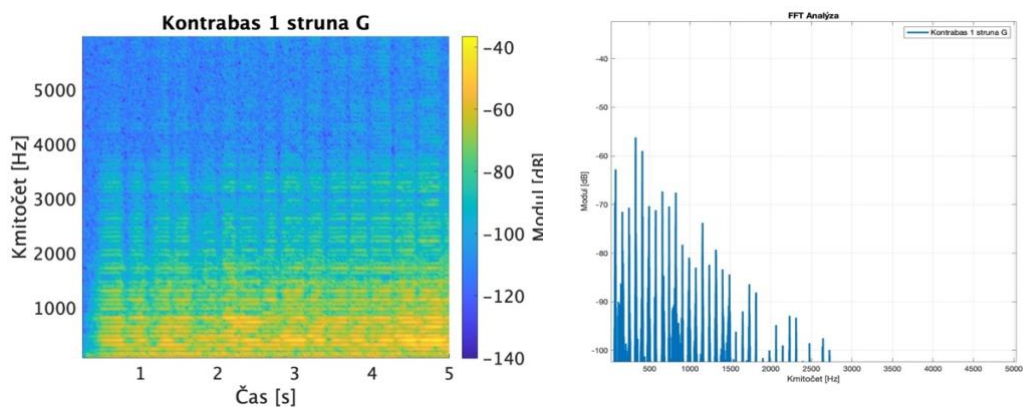
Obrázek 4.49 Spektrogram a spektrum struny G třetího kontrabasu sul ponticelo

Tabulka 4.16 Srovnání prvních 9 harmonických složek struny G a D sul ponticelo

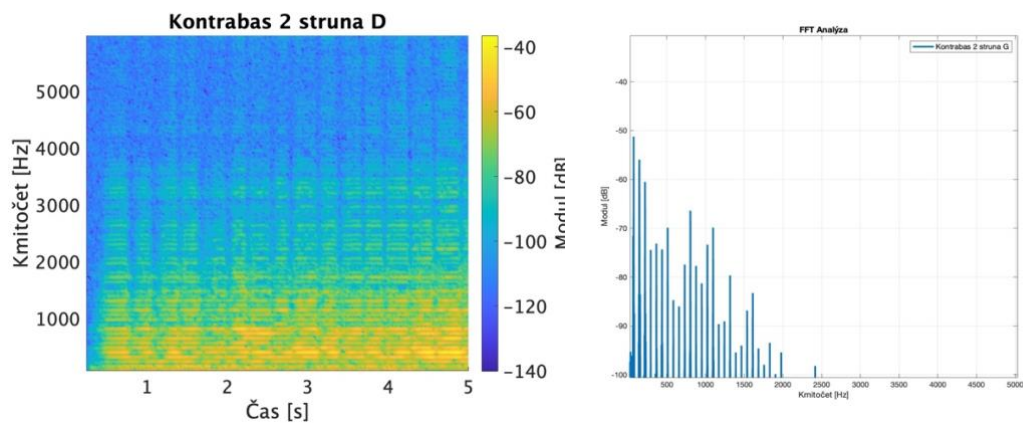
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	82,22	-68,88	73,11	-61,59	82,43	-77,31	7,29	15,72	8,43
2	165,12	-84,24	146,28	-58,28	165,83	-79,69	25,96	21,41	4,55
3	247,46	-81,9	219,65	-56,63	249,5	-53,29	25,27	3,34	28,61
4	330,36	-61,97	293,27	-47,23	332,42	-62,6	14,74	15,37	0,63
5	413,49	-66,04	366,54	-67,67	415,39	-51,26	1,63	16,41	14,78
6	496,17	-64,07	439,96	-70,33	499,06	-60,76	6,26	9,57	3,31
7	679,07	-61,98	513,12	-68,69	582,52	-70,48	6,71	1,79	8,5
8	661,75	-61,08	586,59	-61,03	665,86	-67,22	0,05	6,19	6,14
9	744,2	-63,94	659,66	-68,79	748,78	-64,54	4,85	4,25	0,6

Fundament prvního kontrabasu hrajícího prázdnou strunu G se objevil na 82,22 Hz s velikostí modulu -68,88 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla 8. harmonická na 61,08 Hz s velikostí modulu -61,08 dB. Fundament se u druhého kontrabasu hrajícího prázdnou strunu D vyskytl na 73,11 Hz a měl velikost modulu -61,59 dB. Nejvýraznější spektrální složkou byla 4. harmonická na 293,27 Hz s velikostí modulu -47,23 dB. Fundament třetího kontrabasu se vyskytl na 82,43 Hz s velikostí modulu -77,31 dB. Nejvýraznější složkou byla 5. harmonická s velikostí modulu -51,26 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 8. harmonické složky s velikostí 0,05dB. Nejvyšší poté u 2. harmonické s rozdílem 25,96 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu nastal u 7. harmonické s rozdílem 1,79 dB. Nejvyšší poté u 2. harmonické 2. harmonické s rozdílem 21,41 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu nastal u 9. harmonické s rozdílem 0,6 dB. Nejvyšší u 3. harmonické s rozdílem 28,61 dB. U všech kontrabasů si můžeme povšimnout, že mají prvních pár složek ve spektru velmi zeslabených, nástup na intenzitě nabírají až kolem 3-4. harmonické složky. V barvě tónu chybí určitá nosnost a mohutnost, za kterou jsou odpovědny první dvě harmonické. Vidíme výrazné zesílení jednotlivých vyšších harmonických na vyšších frekvencích, což vede v barvě k jasnému a velmi ostrému tónu. U prvního kontrabasu hráč pohyboval smyčcem velmi rychle, což se ve spektru promítlo jako zašumělý průběh s vyšším počtem vyšších harmonických.

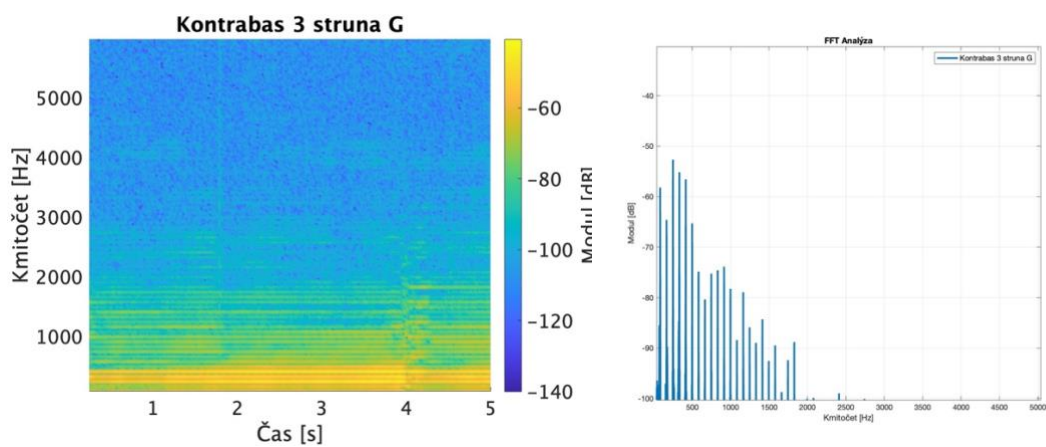
4.6.2. Srovnání spekter struny G prvního a třetího kontrabasu a struny D druhého metodou hry sul tasto



Obrázek 4.50 Spektrogram a spektrum struny G prvního kontrabasu sul tasto



Obrázek 4.51 Spektrogram a spektrum struny D druhého kontrabasu sul tasto



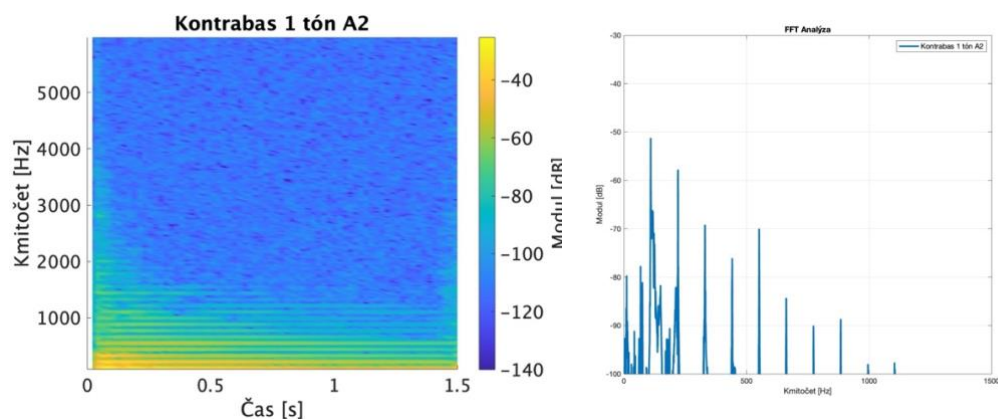
Obrázek 4.52 Spektrogram a spektrum struny G třetího kontrabasu sul tasto

Tabulka 4.17 Srovnání prvních 9 harmonických složek struny G a D sul tasto

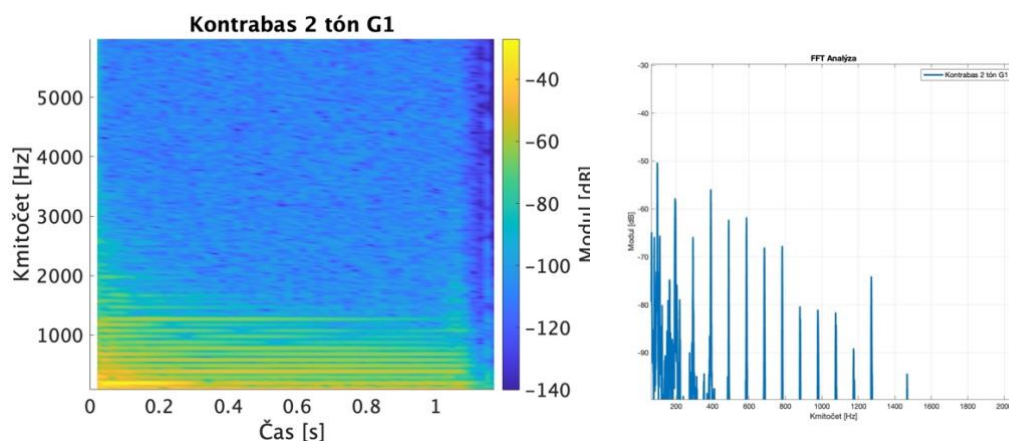
	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	82,4	-62,77	73,16	-51,23	83,01	-58,19	11,54	6,96	4,58
2	165,48	-71,49	146,33	-55,95	166,22	-64,61	15,54	8,66	6,88
3	247,54	-70,63	219,68	-60,79	249,37	-52,67	9,84	8,12	17,96
4	330,37	-56,4	293,38	-74,43	332,51	-55,16	18,03	19,27	1,24
5	412,85	-59,37	366,25	-73,14	415,66	-56,58	13,77	16,56	2,79
6	496,67	-70,38	439,66	-74,31	498,74	-65,29	3,93	9,02	5,09
7	578,59	-71,36	512,83	-70,27	581,88	-74,86	1,09	4,59	3,5
8	660,74	-67,58	585,82	-84,73	665,16	-80,37	17,15	4,36	12,79
9	743,31	-70,38	659,16	-86	748,11	-75,25	15,62	10,75	4,87

Fundament se u prvního kontrabasu hrající prázdnou strunu G vyskytl na 82,4 Hz s velikostí modulu -62,77 dB. Nejvýraznější složkou ve spektru byla 4. harmonická s velikostí modulu -56,4 dB. Fundament u druhého kontrabasu hrajícího prázdnou strunu D se vyskytl na 73,16 Hz s velikostí modulu -51,23 dB. Fundament byl zároveň nejvýraznější složkou spektra. Fundament třetího kontrabasu hrajícího prázdnou strunu G se vyskytl na 83,01 Hz s velikostí modulu -58,19 dB. Nejvýraznější složkou spektra byla 3. harmonická s velikostí modulu -52,67 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 7. harmonické s rozdílem 1,09 dB. Nejvyšší u 4. harmonické s rozdílem 18,03 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu nastal u 8. harmonické složky s hodnotou 4,36 dB. Nejvyšší poté u 4. harmonické s rozdílem 19,27 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu nastal u 4. harmonické s rozdílem 1,24 dB. Nejvyšší u 3. harmonické s rozdílem 17,96 dB. Ve spektru kontrabasů vidíme zesílené převážně liché harmonické složky, zároveň má mu chybí harmonické vyšší složky na vysokých frekvencích. Barva kontrabasů tímto ztrácí ostrost s jasností a je mnohem tupější, než u metody arco nebo sul ponticelo.

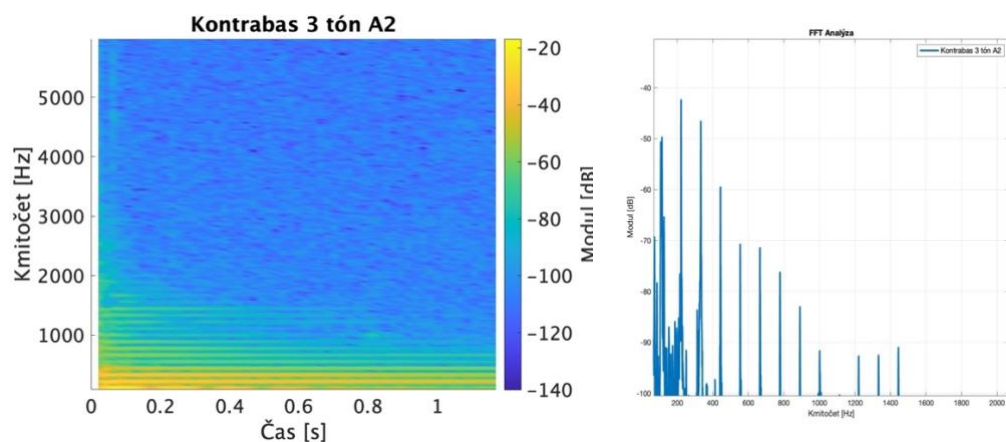
4.6.3. Srovnání spekter metody hry pizzicato tón A2 prvního a třetího kontrabasu a tón G1 druhého kontrabasu



Obrázek 4.53 Spektrogram a spektrum struny tónu A2 prvního kontrabasu pizzicato



Obrázek 4.54 Spektrogram a spektrum tónu G1 druhého kontrabasu pizzicato



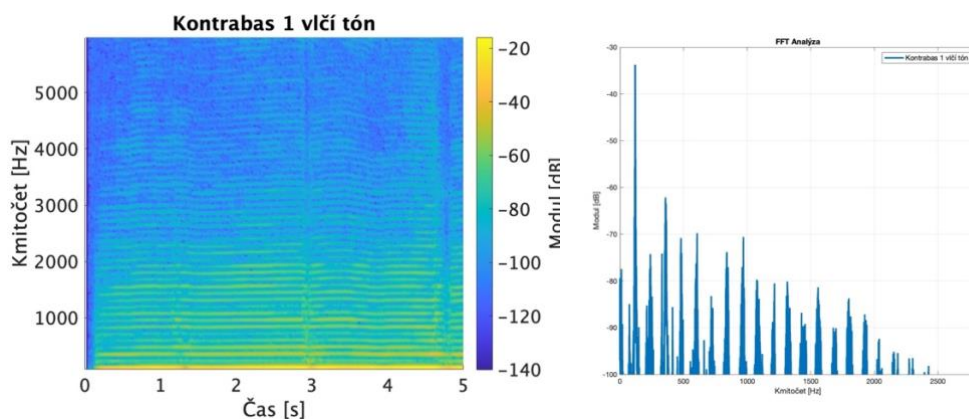
Obrázek 4.55 Spektrogram a spektrum tónu A2 prvního kontrabasu pizzicato

Tabulka 4.18 Srovnání prvních 9 harmonických složek tónu A2 a G1 pizzicato

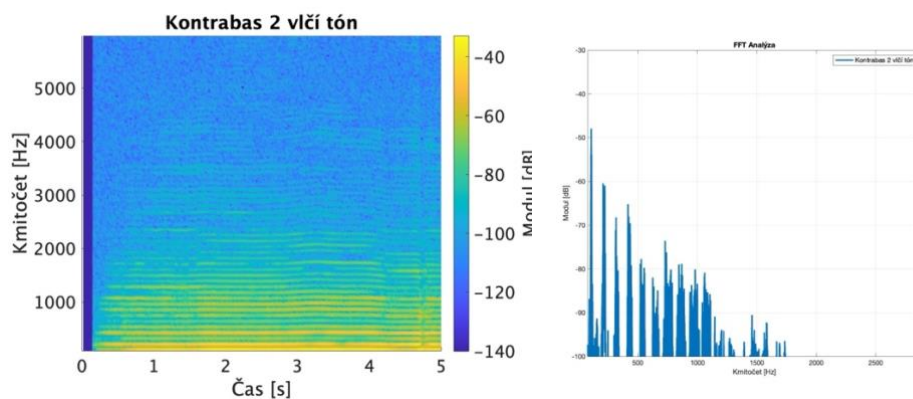
Harmonická složka	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	109,49	-51,33	97,63	-50,41	114,34	-49,72	0,92	0,69	1,61
2	220,97	-57,88	195,26	-57,87	222	-42,4	0,01	15,47	15,48
3	330,86	-69,28	292,9	-65,96	333,01	-46,59	3,32	19,37	22,69
4	441,94	-76,19	391,28	-56,1	443,34	-59,64	20,09	3,54	16,55
5	551,83	-70,1	488,91	-62,36	555,022	-70,74	7,74	8,38	0,64
6	662,12	-84,42	586,54	-61,84	666,02	-71,44	22,58	9,6	12,98
7	773,6	-90,14	684,92	-68,13	778,36	-76,23	22,01	8,1	13,91
8	884,66	-88,76	782,56	-67,82	890,7	-83,02	20,94	15,2	5,74
9	996,15	-98,07	879,44	-80,43	1001,71	-91,64	17,64	11,21	6,43

Fundament, který byl nejvýraznější složkou, se u prvního kontrabasu hrajícího tón A2 vyskytl na 109,49 Hz s velikostí modulu -51,88 dB. U druhého kontrabasu hrajícího tón G1 se fundament vyskytl na 109,49 Hz s velikostí modulu -51,33 dB. U třetího kontrabasu se fundament vyskytl na 114,34 Hz s velikostí modulu -49,72 dB. Nejvýraznější složkou spektra byla 2. harmonická na 222 Hz s velikostí modulu -42,4 dB. Nejnižší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 2. harmonické s rozdílem 0,01 dB. Nejvyšší u 6. harmonické s rozdílem 22,58 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek druhého a třetího kontrabasu nastal u fundamentu s rozdílem 0,69 dB. Nejvyšší u 3. harmonické s rozdílem 19,37 dB. Nejnižší rozdíl harmonických složek prvního a třetího kontrabasu nastal u 5. harmonické s rozdílem 0,64 dB. Nejvyšší u 3. harmonické s rozdílem 22,69 dB. Ve spektru všech tří kontrabasů vidíme pouze pár harmonických složek, vyšší harmonické v druhém a třetím pásmu se již ve spektru nevyskytují, nebo jsou velmi zeslabené. Ve spektru prvního kontrabasu vidíme zesílení na 550 Hz, což odpovídá 5. harmonické složce a lze přiřadit k druhé formantové oblasti kontrabasů související v barvě s nazalitou. Druhý kontrabas má zesílenou 4., 6. a 8. harmonickou, všechny zodpovědné za jasnost nástroje. Třetí kontrabas má zesílenou 2. harmonickou zodpovědnou za mohutnost tónu. U všech kontrabasů můžeme vidět na 1200-1400 Hz zesílení ve spektru, které lze přiřadit formantové oblasti vzniklé vlivem kobylky, přičemž nejvýraznější tuto oblast má druhý kontrabas.

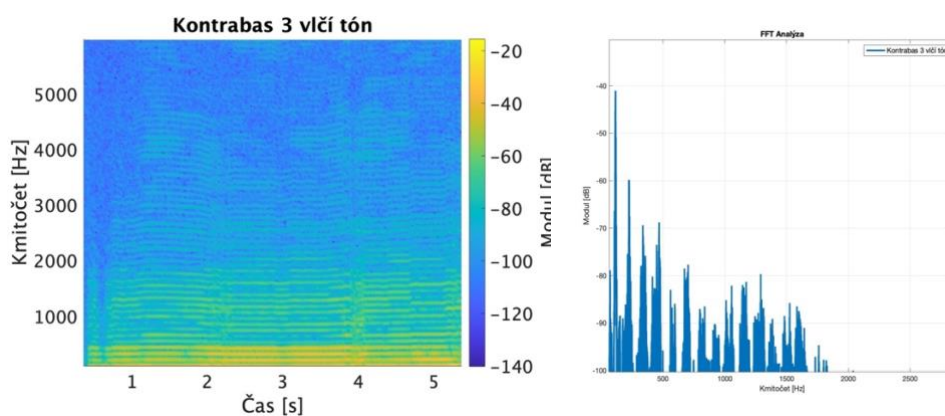
4.6.4. Srovnání spekter vlčího tónu kontrabasů



Obrázek 4.56 Spektrogram a spektrum vlčího tónu prvního kontrbasu



Obrázek 4.57 Spektrogram a spektrum vlčího tónu druhého kontrbasu



Obrázek 4.58 Spektrogram a spektrum vlčího třetího prvního kontrbasu

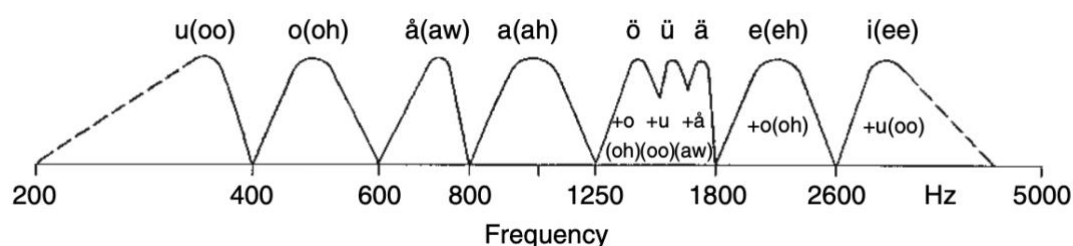
Tabulka 4.19 Srovnání prvních 9 harmonických složek vlčího tónu

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Harmonická složka	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	121,03	-33,91	108,43	-48,87	117,46	-41,14	14,96	7,73	7,23
2	239,3	-74,24	208,49	-60,45	224,93	-59,98	13,79	0,47	14,26
3	358,95	-62,13	317,56	-68,22	337,44	-69,4	6,09	1,18	7,27
4	480,42	-70,8	417,12	-65,19	469,69	-68,77	5,61	3,58	2,03
5	606,9	-69,78	528,74	-77,72	561,79	-82,99	7,94	5,27	13,21
6	718,43	-83,53	625,61	-81,96	704,33	-77,7	1,57	4,26	5,83
7	840,15	-74,26	729,99	-73,59	837,21	-86,6	0,67	13,01	12,34
8	970,09	-70,6	844,8	-78,99	920,32	-90,19	8,39	11,2	19,59
9	1077,65	-79,96	982,49	-80,1	1010,91	-85,18	0,14	5,08	5,22

Fundament se u prvního kontrabasu vyskytl na 121,91 Hz a měl velikost modulu -33,91 dB. U druhého kontrabasu se fundament vyskytl na 108,43 Hz a měl velikost modulu -48,87 dB. U třetího kontrabasu se fundament vyskytl na 117,46 Hz a měl velikost modulu -41,14 dB. Fundament byl u všech tří kontrabasů nejvýraznější spektrální složkou. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a druhého kontrabasu nastal u 9. harmonické s rozdílem 0,14 dB. Nejvyšší u 1. harmonické s rozdílem 14,96 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami druhého a třetího kontrabasu nastal u 2. harmonické s rozdílem 0,47 dB. Nejvyšší u 7. harmonické s rozdílem 13,01 dB. Nejnížší rozdíl mezi harmonickými složkami prvního a třetího kontrabasu nastal u 4. harmonické s rozdílem 2,03 dB. Nejvyšší u 8. harmonické s rozdílem 19,59 dB. Spektrum kontrabasů je velmi zašumělé z důvodu, že hráč smýkal smyčcem po struně v místě vlčího tónu, ale také v jeho blízkém okolí, čímž se ve spektru objevily další harmonické složky, blízké původnímu tónu. Ve spektrech všech tří kontrabasů si můžeme povšimnout, že nastává zeslabení složek kolem 6. harmonické složky. U prvního kontrabasu je to přímo 6. harmonická, u druhého kontrabasu je to 5. a 6. harmonická a u třetího je to 5., 7. a 8. harmonická.

4.7. Analýza formantových oblastí

V této kapitole jsou zkoumány formantové oblasti kontrabasu pomocí LPC analýzy v prostředí MATLAB. Pro analýzu byl použit řád LPC s 40 koeficienty. Formantové oblasti u smyčcových nástrojů vznikají hlavně díky rezonančním módům jejich skříní. Oproti jiným nástrojům se díky způsobu a techniky hry formantové oblasti smyčcových nástrojů mění a nejsou tolik výrazné.[1] Díky zkoumání formantových oblastí při zpěvu samohlásek, či jejich vyslovování, jsme schopni připodobnit formantové oblasti nástroje k vokálnímu ústrojí člověka, podle toho, v jakém frekvenčním pásmu se formant nachází.



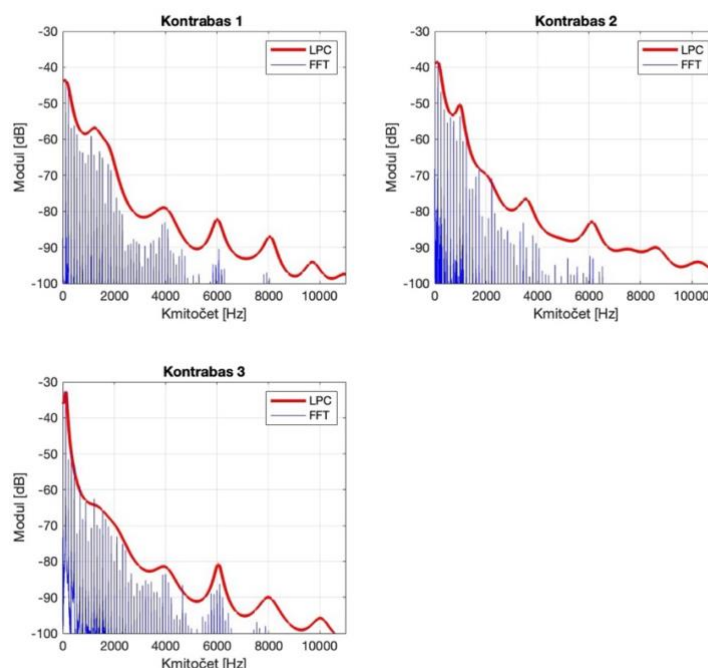
Obrázek 4.59 Formantové oblasti samohlásek (dostupné z [12])

Formanty v oblasti 200-600 Hz (samohlásky u,o) přispívají v barvě k plnosti a sonoritě (znělosti, tónovosti zvuku), formant v oblasti 600-1250 Hz (samohláska a) k tomu aby barva byla výrazná a také přidává nazalitu, formanty v oblasti 1250-1800 Hz mají za následek nazalitu tónu, formantová oblast 1800-2600 Hz (samohláska E) v barvě přidává jasnost a formant 2600-4000 Hz (samohláska i) přidává ostrost. [12]

Informativně se podle literatury první formant kontrabasů při hraní nízkých tónů připisuje oblasti mezi 70-350 Hz. Tento formant je zodpovědný za temnou barvu, plnost a bohatost zvuku. Pokud se tento formant nachází pod 200 Hz ztrácí charakter samohlásky. Druhý formant leží kolem 500 Hz (samohláska o). Další formant se nachází kolem 800 Hz (samohláska a). Rezonance kobyly se projevuje cca na 1250 Hz. První formanty kontrabasů souvisí s kmitáním vzduchu v objemu skříně (tzv. Helmholtzova rezonance). Další formanty souvisí s hlavní rezonancí skříně, rezonancí horní a spodní desky, rezonancí krku a kobyly. [12]

Pro účel zkoumání formantů byly v této kapitole vybrány 3 tóny hrány metodou arco, dále byly zkoumány formantové oblasti při metodě hry pizzicato, sul ponticello, sul tasto a vlčího tónu.

4.7.1. Formantové oblasti tónu A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu metodou arco forte



Obrázek 4.60 Formantové oblasti tónu A2 a G2 forte

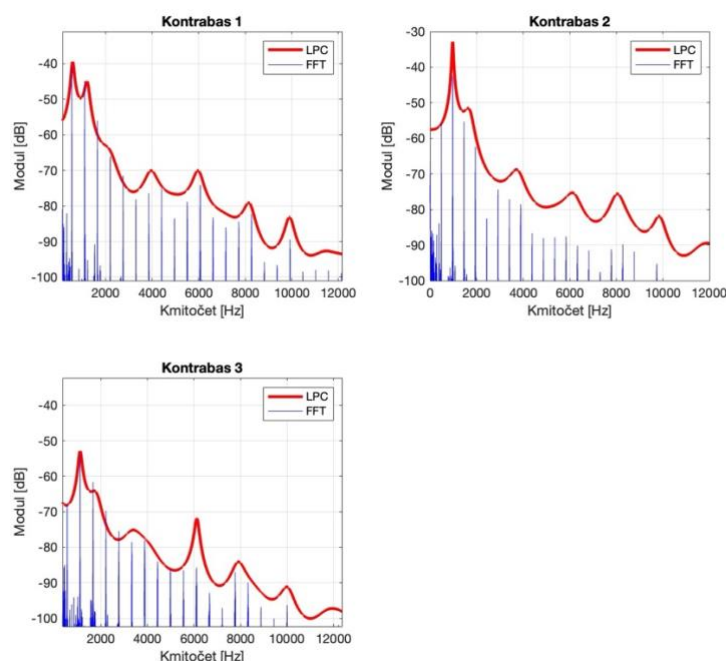
Tabulka 4.20 Srovnání prvních 9 formantů tónu A2 a G2

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Formant	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	110,17	-43,69	98	-49,3	112,6	-33,42	5,61	15,88	10,27
2	1269	-56,88	977	-50,33	1112,06	-65,75	6,55	15,58	9,13
3	3939	-79,01	3523	-76,62	3999	-81,51	2,39	4,89	2,5
4	5983	-82,32	6077	-82,99	6027	-80,88	0,67	2,11	1,44
5	8029	-87,09	8630	-90,06	7994	-86,95	2,97	0,11	2,86
6	9671	-94,15	10267	-94,07	10029	-95,8	0,08	1,73	1,65

Vidíme, že u prvního kontrabasu se první formantová oblast vyskytla na 110,17 Hz, u druhého kontrabasu na 98 Hz a u třetího kontrabasu na 112,6 Hz. Tato formantová oblast nespadá do formantové oblasti žádné samohlásky, dodává však temnost a plnost v barvě. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl třetí kontrabas. Druhá formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 1269 Hz, u druhého kontrabasu na 977 Hz a třetího

na 112,06 Hz. Nejvýraznější tuto oblast měl druhý kontrabas, zatímco třetí měl tuto oblast zanedbatelnou. Tato oblast přidává v barvě nazalitu a přidává barvě výraznost.[12] Třetí formantová oblast se u prvního kontrbasu vyskytla na 3939 Hz, u druhého na 3523 Hz a třetího na 3999 Hz. Tato formantová oblast spadá do oblasti samohlásky i, která podporuje ostrost tónu. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl druhý kontrabas. Čtvrtá formantová oblast se u prvního kontrbasu vyskytla na 5983 Hz, u druhého na 6077 Hz a třetího na 6027 Hz. Tato a další dvě formantové oblasti již nespádají do žádné oblasti formantů samohlásek, nelze tedy přesně určit, jak v barvě nástroji přispívá. Nejvýraznější tuto oblast měl třetí kontrabas. Pátá formantová oblast se u prvního kontrbasu vyskytla na 8029 Hz, u druhého na 8630 Hz a třetího na 7994 Hz. Nejvýraznější tuto oblast měl třetí kontrabas. Šestá formantová oblast se u prvního kontrbasu vyskytla na 9671 Hz, u druhého na 10267 Hz a třetího na 10029 Hz. Nejvýraznější tuto oblast měl druhý kontrabas.

4.7.2. Formantové oblasti tónů CIS4 prvního a třetího kontrbasu a tónu B3 druhého kontrbasu metodou arco forte



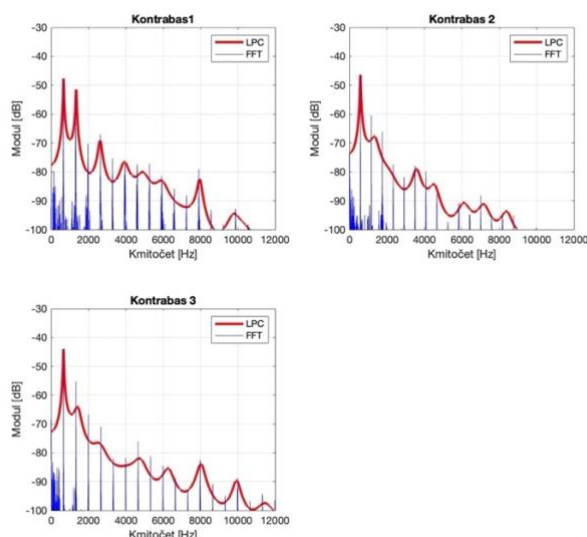
Obrázek 4.61 Formantové oblasti tónu CIS4 a B3 forte

Tabulka 4.21 Srovnání prvních 6 formantů tónu CIS4 a B3

Formant	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	563	-40,14	965	-33,25	1091	-53,18	6,89	19,93	13,04
2	1102,13	-45,28	1663	-51,55	1775	-64,24	6,27	12,69	18,96
3	3894	-70,26	3710	-68,77	3419	-75,13	1,49	6,36	4,87
4	5903	-70,37	6100	-75,3	6087	-72,44	4,93	2,86	2,07
5	8122	-79,13	7953	-76,04	7902	-84,07	3,09	8,03	4,94
6	9842	-83,56	9738	-82,43	10037	-91,28	1,13	8,85	7,72

První formantová oblast se u prvního kontrabasu objevila na 563 Hz, u druhého na 965 Hz a třetího na 1091 Hz. U prvního kontrabasu první formantová oblast spadá do oblasti samohlásky o, která podporuje plnost a sonoritu v barvě. [12] U druhého a třetího kontrabasu první oblast spadá do formantové oblasti samohlásky a, která podporuje nazalitu a výraznost v barvě. [12] Nejvýraznější první formant má druhý kontrabas. Druhý formant se u prvního kontrabasu vyskytl na 1102,13 Hz, u druhého na 1663 Hz a třetího na 1775 Hz. U prvního kontrabasu tento formant spadá do formantové oblasti samohlásky a. U druhého a třetího kontrabasu druhý formant spadá do oblasti podporující nazalitu. Nejvýraznější druhý formant má první kontrabas. Třetí formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 3894 Hz, u druhého na 3710 Hz a třetího na 3419 Hz. Všechny tyto formanty spadají do formantové oblasti samohlásky i, která v barvě přidává ostrost. [12] Nejvýraznější tento formant měl druhý kontrabas. Další formantové oblasti již nejsou zastoupeny v žádné formantové oblasti samohlásek. Čtvrtý formant se u prvního kontrabasu vyskytl na 5903 Hz, u druhého na 6100 Hz a třetího na 6087 Hz. Nejvýraznější tuto formantovou oblast měl první kontrabas. Pátá formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 8122 Hz, u druhého na 7953 Hz a třetího na 7902 Hz. Nejvýraznější tuto oblast měl druhý kontrabas. Šestá formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 9842 Hz, u druhého na 9738 Hz a třetího na 100037 Hz. Nejvýraznější tuto oblast měl druhý kontrabas.

4.7.3. Formantové oblasti tónů E5 prvního a třetího kontrabasů a tónu D5 druhého kontrabasů hrané metodou arco forte



Obrázek 4.62 Formantové oblasti tónu E5 a D5 forte

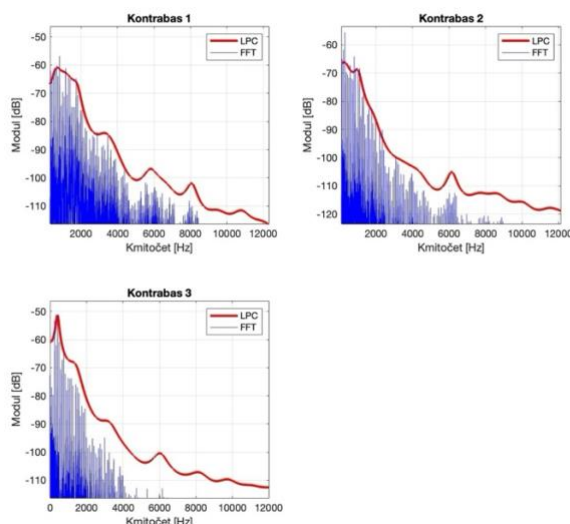
Tabulka 4.22 Srovnání prvních 6 formantů tónu E5 a D5

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Formant	frekvence[Hz]	modul [dB]	frekvence[Hz]	modul [dB]	frekvence[Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	668	-47,89	584,018	-46,57	665,48	-44,14	1,32	2,43	3,75
2	1332	-52,12	1385	-68,02	1386	-64	15,9	4,02	11,88
3	2636,59	-69,43	3638	-79,21	2664,11	-76,94	9,78	2,27	7,51
4	3897	-76,58	4489	-84,27	4757	-81,98	7,69	2,29	5,4
5	4932	-80,09	6110	-90,7	6199	-85,54	10,61	5,16	5,45
6	5912,98	-83,39	7146	-91,11	7979,35	-84,46	7,72	6,65	1,07

První formantová oblast se u prvního kontrabasů vyskytla na 668 Hz, u druhého na 585 Hz a třetího na 665,48 Hz. Tato formantová oblast spadá do oblasti samohlásky a, která v barvě přispívá k výraznosti a nazalitě tónu. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl třetí kontrabas. Druhá formantová oblast se u prvního kontrabasů vyskytla na 1332 Hz, u druhého na 1385 Hz a u třetího na 1386 Hz. Tato oblast spadá do formantové oblasti podporující nazalitu. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl první kontrabas. Třetí formant se u prvního kontrabasů vyskytl na 2636 Hz, u druhého na 3638 Hz a třetího na 2664,11 Hz. Tato oblast spadá do formantové oblasti samohlásky i, která je zodpovědná za ostrost

tónu. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl první kontrabas. Čtvrtá formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 3897 Hz, u druhého na 4489 Hz a třetího na 4757 Hz. U prvního kontrabasu tato oblast spadá do formantové oblasti samohlásky o, zodpovědnou za ostrost tónu. [12] U druhého a třetího kontrabasu se se při hraní tohoto tónu oblast vyskytuje v okolí 6-7. harmonické složky zodpovědné za jas a drsnost tónu. Nejvýraznější tuto oblast měl první kontrabas. Pátá formantová oblast se u prvního kontrabasu vyskytla na 4932 Hz, u druhého na 6110 Hz a třetího na 6199 Hz. U prvního kontrabasu se tato oblast vyskytuje v okolí 7-8. harmonické složky podporující drsnost a jasnost tónu. U druhého a třetího kontrabasu se tato oblast vyskytuje v okolí 9-10. harmonické, které spadají do druhého pásma spektra podporující ostrost tónu. Nejvýraznější tuto oblast měl první kontrabas.

4.7.4. Formantové oblasti metodou hry sul ponticelo



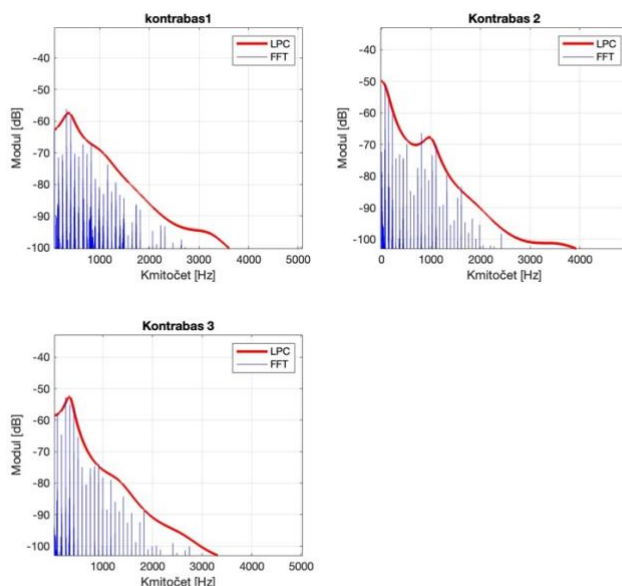
Obrázek 4.63 Formantové oblasti metodou hry sul ponticelo

Tabulka 4.23 Srovnání prvních 6 formantů metody hry sul ponticelo

Formant	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	661,75	-61,08	293,27	-66,4	415,33	-51,9	5,32	14,5	9,18
2	1736	-66,7	1026,41	-70,2	1353	-68,36	3,5	1,84	1,66
3	3475,13	-85,21	6182	-105,1	3224	-89,12	19,97	16,06	3,91
4	8824	-96,81			6126	-100,6			3,79
5	7984	-102,2			8174	-107,1			4,9

U prvního kontrabasů se první formant vyskytl na 661,75 Hz, což spadá do formantové oblasti samohlásky a, která přidává barvě výraznost a nazalitu. [12] U druhého kontrabasů se první formant vyskytl na 293,27 Hz, což spadá do formantové oblasti samohlásky u, která přidává barvě plnost a sonoritu. [12] První formant třetího kontrabasů spadá do formantové oblasti samohlásky o, která také přidává plnost a sonoritu. [12] Nejvýraznější tuto oblast měl třetí kontrabas. Druhý formant oblast se u prvního kontrabasů nachází na 1736 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky e, což v barvě přidává jasnost. U druhého kontrabasů se druhý formant objevil na 1026,41 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky a, která přidává výraznost a nazalitu. [12] Druhý formant se u třetího kontrabasů objevil na 1353 Hz, což odpovídá oblastem, které v barvě přidávají nazalitu. Třetí formant se u prvního kontrabasů objevil na 3457,13 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky i, která přidává ostrost. [12] U druhého kontrabasů se třetí formant objevil až na 6182 Hz, což nelze přiřadit žádnému formantu samohlásky. U třetího kontrabasů se třetí formant objevil na 3224 Hz, což je ve stejné oblasti, jako kontrabas první. U druhého kontrabasů již ve spektru nepozorujeme žádný výrazný formant, pokud jde o první a třetí kontrabas, ve spektru je výrazný ještě čtvrtý formant, který se u prvního kontrabasů objevil na 8824 Hz a u druhého kontrabasů na 6126 Hz. Oproti metodě hry arco jsou při metodě hry sul ponticello obecně formantové oblasti méně výrazné a zároveň jich je také méně.

4.7.5. Formantové oblasti metodou hry sul tasto



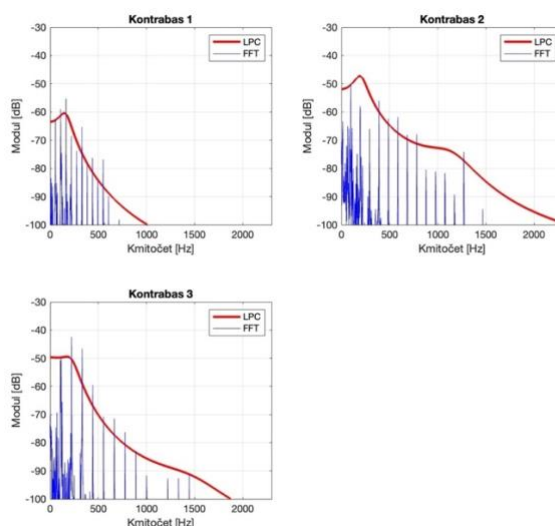
Obrázek 4.64 Formantové oblasti metodou hry tasto

Tabulka 4.24 Srovnání prvních 6 formantů metody hry sul tasto

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Formant	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	402	-57,7	49	-50,37	328	-52,62	7,33	2,25	5,08
2			994	-67,91					

První formant se u prvního kontrabasu vyskytl na 402 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky o, která podporuje sonoritu a plnost. [12] U druhého kontrabasu se první formant vyskytl na 49 Hz, což nespadá do žádné oblasti samohlásky, ale v barvě tato oblast přidává temný zvuk a plnost. [12] U třetího kontrabasu se první formant vyskytl na 328 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky u, podporující sonoritu a plnost. [12] Ve spektru kontrabasu lze najít další formant již jen u druhého kontrabasu, který se vyskytl na 994 Hz, což odpovídá oblasti samohlásky a, podporující výraznost a nazalitu. [12] Vidíme, že díky absenci vyšších harmonických složek při metodě hry sul tasto, se ve spektru formantové oblasti téměř nevyskytují. Není zde tedy žádná oblast, která by barvě zvuku dodala ostrost, nazalitu a výraznou jasnost barva tónu při hraní tímto způsobem je tedy plná, ale tupá a málo jasná.

4.7.6. Srovnání formantů metody hry pizzicato tón A2 prvního a třetího kontrabasu a tón G1 druhého kontrabasu



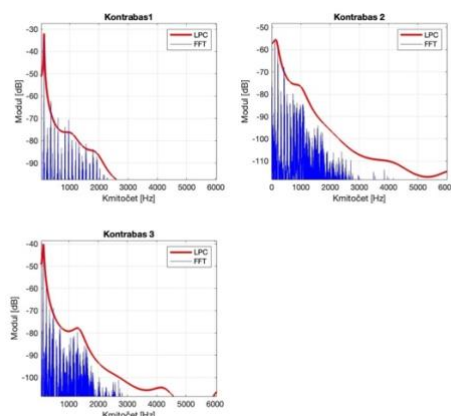
Obrázek 4.65 Formantové oblasti metodou pizzicato

Tabulka 4.25 Srovnání prvních 6 formantů metody hry pizzicato

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Formant	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	163	-60,32	205	-47,46	221,34	-49,08	12,86	1,62	11,24

Při hře metodou pizzicato sledujeme ve spektru rychlý pokles a zároveň absenci vyšších harmonických složek. Díky tomu pozorujeme u všech tří kontrabasů pouze jeden formant. U prvního kontrbasu se tento formant vyskytl na 163 Hz, u druhého kontrbasu na 205 Hz a u třetího na 221,3 Hz. Žádný z těchto formantů neleží ve formantové oblasti žádné samohlásky, ale je zodpovědný za temnost a plnost tónu. [12] Druhý kontrabas má tuto oblast ze všech nejvýraznější. Druhý kontrabas má zesílení ve spektru kolem 1250 Hz, kde se projevuje vliv kobyly, tato oblast se ovšem již nedá za formant považovat.

4.7.7. Srovnání formantů vlčího tónu



Obrázek 4.66 Formantové oblasti vlčího tónu

Tabulka 4.26 Srovnání prvních 6 formantů metody hry pizzicato

	PRVNÍ KONTRABAS		DRUHÝ KONTRABAS		TŘETÍ KONTRABAS		ROZDÍLY MODULŮ		
Formant	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	frekvence [Hz]	modul [dB]	(L1-L2)	(L2-L3)	(L1-L3)
1	120	-32,64	148	-55,53	115,45	-41,03	22,89	14,5	8,39
2					1262	-77,86			

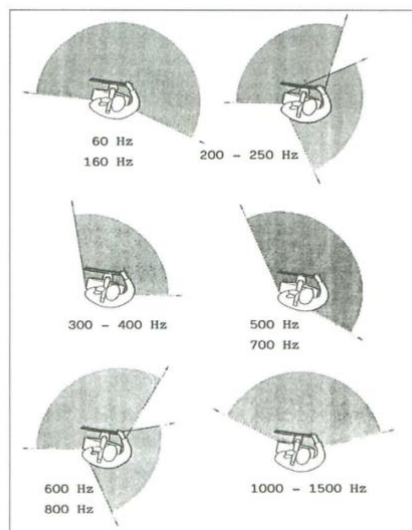
Při srovnání formantů vlčího tónu lze ve spektru u všech kontrabasů vidět výrazný první formant, který se u prvního kontrabasu vyskytl na 120 Hz, u druhého na 148 Hz a třetího na 115,45 Hz. Tento formant nespadá do oblasti žádné samohlásky, podporuje však temný a plný tón. U třetího kontrabasu vidíme ve spektru ještě jeden formant na 1262 Hz, který spadá do formantové oblasti podporující nazalitu. Jak již bylo popsáno, vznik vlčího tónu úzce souvisí s hlavní rezonancí těla. První formantovou oblast, která je zde velmi výrazná, můžeme tedy této oblasti přiřadit.

4.7.8. Shrnutí formantových oblastí

Provedená analýza prokázala, že jsou formantové oblasti ve spektru kontrabasů proměnlivé. U všech kontrabasů se první nalezený formant nachází kolem 100 Hz. Tato oblast podporuje temný tón, mohutnost a plnost. Další formant se nachází od 500-680 Hz. Tato oblast v barvě podporuje sonoritu, mohutnost, plnost a výraznost. Formantová oblast nalezená v okolí 1200-1500 Hz v barvě podporuje nazalitu. Další formantové oblasti se pohybovaly v okolí 2600 Hz, tyto formanty v barvě podporují jasnost. Poslední barvotvorná oblast se nachází v okolí 4000 Hz, která podporuje ostrý, bryskní tón. Při metodě hry *sul tasto* a *sul ponticelo* výrazně formantových oblastí ve spektru ubývá, stejně tak při metodě hry *pizzicato*. Výrazná první formantová oblast při hraní vlčího tónu potvrdila rezonanci těla při hraní tónu blízké její frekvenci.

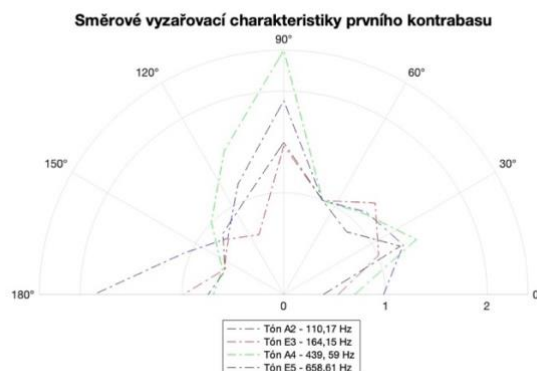
4.8. Směrovost kontrabasů

Pro účely měření směrovosti byly ze vzorků vybrány čtyři tóny hrané na každý kontrabas, reprezentující nízké tóny, středy a výšky. Stejně jako v předchozích měřeních jsou tóny druhého kontrabasů hrány o dva půltóny níže, než prvního a třetího kontrabasů. Výsledky měření a grafy byly zpracovány pomocí prostředí aplikace MATLAB. Podle literatury kontrabas vyzařuje všesměrově pouze kolem frekvenci 100 Hz, přičemž hlavní směr svého vyzařování směřuje před nástroj. [1] Ze všech změřených tónů byl pro názornost nejčastějšího vyzařování vykreslen průnik směrů všech tónů vyzařených nástrojem.

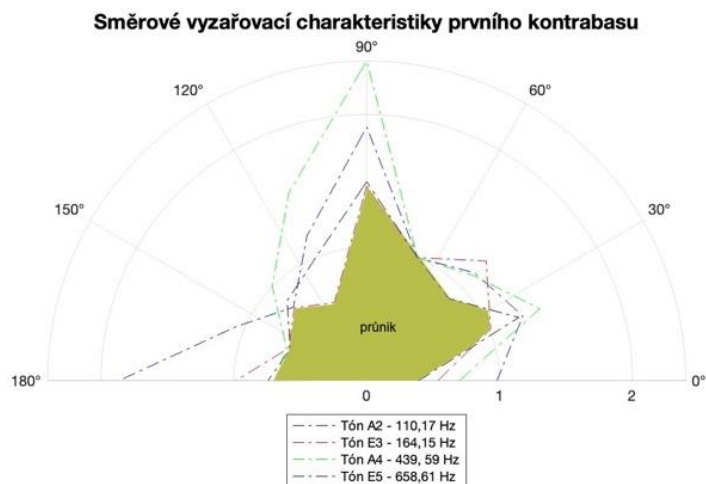


Obrázek 4.67 Směrové vyzařování kontrabasu obecně (převzato z [12])

4.8.1. Směrovost prvního kontrabasu



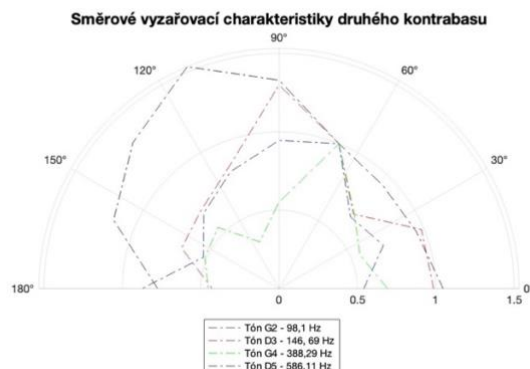
Obrázek 4.68 Směrové vyzařování prvního kontrabasu



Obrázek 4.69 Průnik směrového vyzařování všech tónů prvního kontrabasu

Vidíme, že kontrabas směrově vyzařuje při hraní všech tónů velmi podobně, rozdíl je však v intenzitách hraných tónů. Při hraní tónu A2 (110 Hz), kontrabas vyzařuje nejvíce do 90, 180 a 22,5 stupně, nejméně poté do 135 a 67,5 stupňů. Při hraní tohoto tónu má zároveň kontrabas největší všesměrovost. Při hraní tónu E3 (164 Hz) kontrabas vyzařuje nejvíce do 90 a 45 stupňů, své minima má poté na 112, 157 a 0 stupních. Při hraní tónu A4 vyzařuje kontrabas nejdále a to zhruba 1,7x více, než při hraní tónů E3 a E5. Své maxima má při hraní tohoto tónu na 22,5 a 90 stupních, minima poté na 157,5, 67,5 a 0 stupních. Při hraní tónu E5 kontrabas vykazuje největší směrovost. Své maximum má na 90 a 22,5 stupních, minima poté na 0 a 67,5 stupních. Společný průnik vyzařování všech tónů má své maxima na 90, 145 a 22,5 stupních, minima poté nalezneme na 112 a 35 stupních.

4.8.2. Směrnost druhého kontrabasu



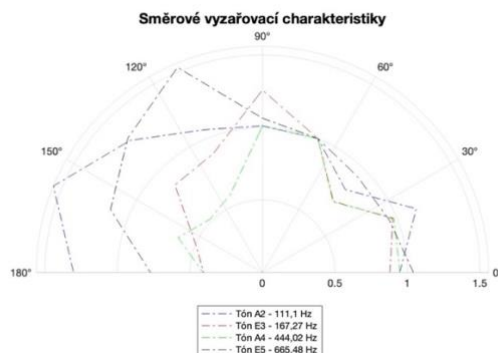
Obrázek 4.70 Směrové vyzařování druhého kontrabasu



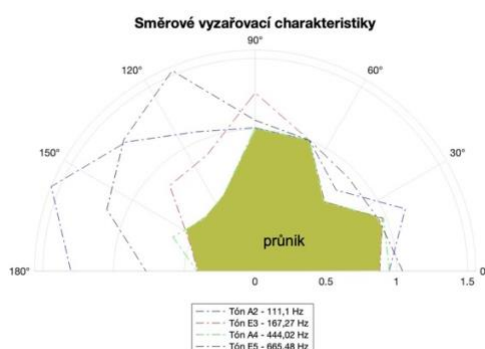
Obrázek 4.71 Průnik směrového vyzařování všech tónů prvního kontrabasu

Vidíme, že oproti prvnímu kontrabasu kontrabas druhý vykazuje větší všesměrovost. Při hraní tónu G2 (98 Hz) vyzařuje do všech stran, kdy maximum vyzařování se nachází na 67,5 stupních a minimum na 45 stupních. Při hraní tónu D3 (146 Hz) kontrabas nejvíce vyzařuje před sebe, tedy do 90 stupňů, dalším významným směrem při hraní tohoto tónu je 22,5 stupňů. Minima se poté nachází na 45 a 180 stupních. Při hraní tónu G4 (388 Hz) má kontrabas největší směrovost, kdy nejvíce vyzařuje na 67,5 stupně a nejméně poté na 112,5 a 22,5 stupně. Při hraní tónu D5 (586 Hz) kontrabas vyzařuje nejsilněji, kdy se maximum nachází na 112,5 stupně (do tohoto směru pro srovnání vyzařuje 5x více, než tón G4), minima se poté nachází na 45 a 180 stupních. Společný průnik vyzařování všech tónů má své maximum na 67,5 stupních, minimum poté na 112,5 stupních.

4.8.3. Směrovost třetího kontrabasu



Obrázek 4.72 Směrové vyzařování třetího kontrabasu



Obrázek 4.73 Směrové vyzařování třetího kontrabasu

Při hraní tónu A2 (111,1 Hz) kontrabas vyzařoval nejvíce všesměrově s maximem v 157,5 stupních a minimem v 45 stupních. Při hraní tónu E3 (167 Hz) kontrabas nejvíce vyzařoval před sebe, tedy má maximum v 90 stupních, minimum se poté nachází v 45 a 180 stupních. Při hraní tónu A4 (444 Hz) měl kontrabas největší směrovost s maximem na 90 a 22,5 stupních a minimem na 45 a 180 stupních. Při hraní tónu E5 kontrabas vyzařuje na maximum 112,5 stupních, minimum má na 45 a 180 stupních. Oproti předchozím dvěma kontrabasům má třetí kontrabas větší tendenci vyzařovat doleva, tedy v oblastech od cca 120–155 stupňů. Společný průnik vyzařování všech tónů má své maxima v 90, 22,5 a 150 stupních. Minima poté nalezneme na 45 a 120 stupních.

4.8.4. Srovnání směrovostí kontrabasů

Ze srovnání všech tří kontrabasů vyplývá, že všechny tři mají společný směr vyzařování ve třech oblastech. První z těchto oblastí má své maximum mezi 15 a 30 stupni, druhá mezi 70 a 90 stupni a třetí mezi 125 a 150 stupni. Na nízkých kmitočtech vyzařují všechny kontrabasy všesměrově, kdy třetí z kontrabasů nejvíce. Při frekvencích cca 450-660 Hz druhý a třetí kontrabas vyzařují na rozdíl od prvního kontrabasu směrem doleva (115-120 stupňů), zatímco vyzařování prvního kontrabasu i na těchto frekvencích převládá ve směru 90 stupňů. Na těchto frekvencích se taky u kontrabasů objevuje maximální délka vyzáření (u prvního 440 Hz, u druhého 586 Hz a třetího 665 Hz). U všech tří kontrabasů můžeme vidět na 110–65 Hz také větší tendenci vyzařovat směrem doprava (25–35 stupňů). Obecně lze z grafů vypožorovat, že směrové vyzařovací charakteristiky druhého a třetího kontrabasu jsou si velmi podobné a vykazují větší všesměrovost, než kontrabas první, který vyzařuje velmi směrově v 90 stupních.

4.9. Analýza rezonance kontrabasů vzhledem k jejich rezonančním skříním

Tato kapitola se zabývá zjištěním rezonancí kontrabasů vzhledem k velikostem jejich rezonančních desek. Ke zjištění těchto oblastí je potřeba zkoumat vlnovou délku pro kolmé a podélné šíření zvuku ve dřevě a zároveň také pro šíření zvuku ve vzduchu. Pokud se čtvrtina vlnové délky shoduje s některým z rozměrů nástroje, poté tomuto místu lze také přiřadit rezonanční mód. Horní deska všech tří kontrabasů je vyrobena ze smrkového dřeva, dolní poté z javorového. Průměrná rychlost zvuku ve smrku v podélném směru je 4790 m/s, ve směru kolmo poté 1072 m/s. Průměrná rychlost zvuku v javoru je 3826 m/s, ve směru kolmo 1194 m/s. [5] Rychlost vzduchu je při pokojové teplotě 340 m/s. Čtvrtinu vlnové délky poté spočítáme jako:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f}, \quad [m] \quad (3.4)$$

kde c je rychlost zvuku a f je frekvence rezonančního módu zjištěného podle LPC analýzy.

4.9.1. Změřené velikosti kontrabasů

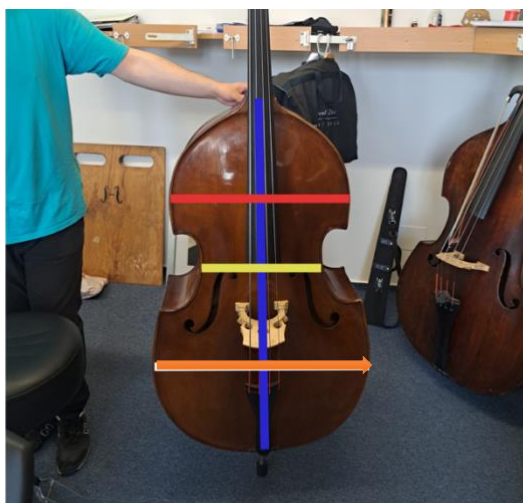
V práci jsou popisovány čtyři oblasti kontrabasů. K délce L1 se referuje jako k celé délce desky, k délce L2 jako k horní šířce desky, k L3 jako k nejužší část desky a k L4 jako k spodní šířce desky.



Obrázek 4.74 Velikost prvního kontrbasu

Tabulka 4.27 Změřené velikosti prvního kontrbasu

Kontrabas 1	délka [m]
L1	1,04
L2	0,5
L3	0,33
L4	0,6



Obrázek 4.75 Velikost druhého kontrbasu

Tabulka 4.28 Změřené velikosti druhého kontrbasu

Kontrabas 1	délka [m]
L1	1,15
L2	0,5
L3	0,36
L4	0,64



Obrázek 4.76 Velikost třetího kontrbasu

Tabulka 4.29 Změřené velikosti třetího kontrbasu

Kontrabas 3	délka [m]
L1	1,05
L2	0,51
L3	0,35
L4	0,61

4.9.2. Rezonance při tónech A2 prvního a třetího kontrabasu a tónu G2 druhého kontrabasu

Tabulka 4.30 Rezonance prvního kontrabasu tón A2

První kontrabas tón A2			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	Mezní frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní						
	maximum	110,17	8,68	2,71	10,87	2,43	0,77
	horní	262	3,65	1,14	4,57	1,02	0,32
2.	dolní	904	1,06	0,33	1,32	0,3	0,09
	maximum	1242	0,77	0,24	0,96	0,22	0,07
	horní	1509	0,62	0,2	0,79	0,18	0,06
3.	dolní	3327	0,29	0,09	0,36	0,08	0,03
	maximum	3961	0,24	0,08	0,3	0,07	0,02
	horní	4304	0,22	0,07	0,28	0,06	0,02
4.	dolní	5814	0,16	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	6016	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6210	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
5.	dolní	7730	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	maximum	8055	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8282	0,12	0,04	0,14	0,03	0,01

Z tabulky je zřejmé, že při hraní tónu A2 se na dolní desce vyskytují 2 rezonanční módy. První rezonuje podélně po celé délce horní desky s frekvencí 904 Hz. Tato rezonance spadá do oblasti dolní mezní frekvence 2. formantu a v barvě přidává nazalitu. Druhý mód se nachází v dolní šířce spodní desky a rezonuje podélně s frekvencí 1509 Hz. Tato rezonance spadá do oblasti horní mezní frekvence 2. formantu a v barvě přidává nazalitu. Na horní desce se nachází dva rezonanční módy. První rezonanční mód desky rezonuje podélně v nejužší části kontrabasu s frekvencí 3327 Hz. Další rezonuje kolmo po celé délce desky na frekvenci 262 Hz, což spadá do oblasti prvního formantu, v barvě podporující plnost, sonoritu a mohutnost. Tato rezonance spadá do oblasti dolní mezní frekvence 3. formantu a v barvě přidává jasnost a ostrost. Posledním rezonančním módem je vzduch rezonující v nejužší části uvnitř kontrabasu s frekvencí 262 Hz. Tato rezonance spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu a přidává barvě sonoritu a plnost.[12]

Tabulka 4.31 Rezonance druhého kontrabasu tón G2

kontrabas 2 tón G2			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	Mezní frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní						
	maximum	98	9,76	3,05	12,22	2,73	0,87
	horní	209	4,58	1,43	5,73	1,28	0,41
2.	dolní	734	1,3	0,41	1,63	0,37	0,12
	maximum	993	0,96	0,3	1,21	0,27	0,09
	horní	1092	0,88	0,27	1,12	0,25	0,08
3.	dolní	3206	0,3	0,09	0,37	0,08	0,03
	maximum	3540	0,27	0,08	0,34	0,08	0,02
	horní	3782	0,25	0,08	0,32	0,07	0,02
4.	dolní	5863	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6103	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6351	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
5.	dolní	8057	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	maximum	8618	0,11	0,03	0,14	0,03	0,01
	horní	9144	0,1	0,03	0,13	0,03	0,01

Vidíme, že při hraní tónu G2 se v nejužší části horní rezonanční desky vyskytly tři rezonanční módy. První rezonance rezonuje podélně s frekvencí 3540 Hz a spadá do oblasti celého třetího formantu podporující jasnost a ostrost. Druhý rezonanční mód rezonuje podélně po celé délce zadní desky s frekvencí 1092 Hz. Tato oblast spadá do oblasti horní mezní frekvence druhého formantu podporující výraznost a nazalitu. Třetí mód se nachází v nejužší části horní desky a rezonuje kolmo s frekvencí 734 Hz. Tato oblast spadá do oblasti dolní mezní frekvence druhého formantu podporující výraznost a nazalitu v barvě.[12]

Tabulka 4.32 Rezonance třetího kontrabasu tón A2

Kontrabas 3 A2			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	66	14,49	4,52	18,14	4,06	1,29
	maximum	111	8,62	2,69	10,79	2,41	0,77
	horní	164	5,83	1,82	7,3	1,63	0,52
2.	dolní						
	maximum	1112	0,86	0,27	1,07	0,24	0,08
	horní						
3.	dolní	3591	0,27	0,08	0,33	0,07	0,02
	maximum	3870	0,25	0,08	0,31	0,07	0,02
	horní	4093	0,23	0,07	0,29	0,07	0,02
4.	dolní	5873	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6031	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6194	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
5.	dolní	7607	0,13	0,04	0,16	0,04	0,01
	maximum	8003	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8348	0,11	0,04	0,14	0,03	0,01

Při hraní tónu A2 na třetí kontrabas byly zjištěny tři rezonanční módy. První rezonanční mód rezonuje na frekvenci 112 Hz podélně po celé délce horní rezonanční desky a spadá do oblasti maxima druhého formantu podporující výraznost a nazalitu v barvě. Druhý rezonanční mód rezonuje na frekvenci 3591-3870 Hz podélně na nejužší šířce horní rezonanční desky. Tato rezonance spadá mezi oblast dolní rezonanční a maximální frekvenci třetího formantu podporující ostrost tónu. Poslední rezonanční mód rezonuje na frekvenci 164 Hz uvnitř kontrabasu v horní širší části a spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu, zodpovědného za temnou barvu a plnost zvuku.[12]

4.9.3. Rezonance tónů E3 prvního a třetího kontrabasu a tónu D3 druhého kontrabasu

Tabulka 4.33 Rezonance prvního kontrabasu tón E3

Kontrabas 1 tón E3			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	257	3,72	1,16	4,66	1,04	0,33
	maximum	386	2,48	0,77	3,1	0,69	0,22
	horní	483	1,98	0,62	2,48	0,52	0,18
2.	dolní						
	maximum	1194	0,8	0,25	1	0,22	0,07
	horní	1418	0,67	0,21	0,84	0,19	0,06
3.	dolní	3483	0,27	0,09	0,34	0,08	0,02
	maximum	4032	0,24	0,07	0,3	0,07	0,02
	horní	4335	0,22	0,07	0,28	0,06	0,02
4.	dolní	5786	0,17	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	5996	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6214	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
5.	dolní	7526	0,13	0,04	0,16	0,04	0,01
	maximum	7979	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8261	0,12	0,04	0,14	0,03	0,01

Při hraní tónu E3 na první kontrabas bylo zjištěno 5 rezonančních módů. Na dolní rezonanční desce kontrabasu se nachází jeden rezonanční mód, který rezonuje kolmo na frekvenci 483 Hz, což spadá do oblasti horního mezního kmitočtu prvního formantu, který přidává plnost a sonoritu tónu. Na horní rezonanční desce se nachází 3 rezonanční módy. První mód rezonuje podélně na frekvenci 3483-4032 Hz na nejužší části rezonanční desky. Tento mód spadá do oblasti dolní mezní a maximální frekvence třetího formantu, zodpovědného za ostrost tónu. Druhý mód horní desky rezonuje kolmo na celé délce desky na frekvenci 257 Hz, spadá tedy do oblasti dolního mezního kmitočtu první formantové oblasti zodpovědné za plnost a sonoritu. Poslední rezonanční mód horní desky rezonuje na 483 Hz v horní šířce desky. Tento mód spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu zodpovědného za plnost a sonoritu. Poslední ze všech nalezených módů rezonuje uvnitř kontrabasu v jeho nejužší části na frekvenci 257 Hz a spadá do oblasti dolní mezní frekvence prvního formantu zodpovědného za plnost a sonoritu.

Tabulka 4.34 Rezonance druhého kontrabasu tón D3

Kontrabas 2 tón D3			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	257	3,72	1,16	4,66	1,04	0,34
	maximum	110	8,7	2,71	10,89	2,44	0,77
	horní	213	4,49	1,4	5,62	1,26	0,4
2.	dolní	738	1,3	0,38	1,62	0,36	0,12
	maximum	976	0,98	0,31	1,23	0,27	0,09
	horní	1135	0,84	0,26	1,06	0,24	0,07
3.	dolní	5778	0,17	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	6007	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6280	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
4.	dolní	7825	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	maximum	8265	0,12	0,04	0,14	0,03	0,01
	horní	8496	0,11	0,04	0,14	0,03	0,01
5.	dolní	9418	0,1	0,03	0,13	0,03	0,01
	maximum	9796	0,1	0,03	0,12	0,03	0,01
	horní	10228	0,09	0,03	0,12	0,03	0,01

Druhý kontrabas má při hraní tónu D3 čtyři rezonanční módy. Na spodní desce byly zjištěny dva, kdy první z nich rezonuje kolmo po celé délce desky na frekvenci 257 Hz. Tento mód spadá do oblasti dolního mezního kmitočtu prvního formantu zodpovědného za plnost a sonoritu barvy. Druhý z nich rezonuje kolmo v nejužší části desky na frekvenci 738 Hz. Tento mód spadá do oblasti dolního mezního kmitočtu druhého formantu zodpovědného za výraznost a nazalitu. Na horní části rezonanční desky se vyskytl jeden mód, který rezonuje kolmo v nejužší části desky na frekvenci 738 Hz, stejně jako mód předchozí. Rezonance vzduchu uvnitř kontrabasu má za následek jeden rezonanční mód v nejužší části kontrabasu, který rezonuje na frekvenci 257 Hz. Tento mód spadá do oblasti dolní mezní frekvence prvního formantu zodpovědného za plnost a sonoritu tónu.[12]

Tabulka 4.35 Rezonance třetího kontrabasu tón E3

Kontrabas 3 tón E3			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	248	3,86	1,2	4,83	1,08	0,34
	maximum	332	2,88	0,9	3,61	0,81	0,26
	horní	420	2,28	0,71	2,85	0,64	0,2
2.	dolní	1002	0,95	0,3	1,2	0,27	0,08
	maximum	1139	0,84	0,26	1,05	0,24	0,07
	horní	1229	0,78	0,24	0,97	0,22	0,07
3.	dolní	5911	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6107	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6233	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
4.	dolní	7623	0,13	0,04	0,16	0,04	0,01
	maximum	8100	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8422	0,11	0,04	0,14	0,03	0,01
5.	dolní	9118	0,1	0,03	0,13	0,03	0,01
	maximum	9796	0,1	0,03	0,12	0,03	0,01
	horní	10323	0,09	0,03	0,12	0,03	0,01

Při hraní tónu E3 na třetí kontrabas byly zjištěny 4 rezonanční módy. Tři z nich se vyskytly na horní rezonanční desce. První rezonanční mód z nich rezonuje podélně po celé délce desky na frekvenci 1139 Hz. Tento mód spadá do maxima frekvence druhého formantu podporujícího výraznost a nazalitu tónu. Druhý z nich rezonuje kolmo po celé délce spodní desky na frekvenci 248 Hz. Tento mód spadá do oblasti dolní rezonanční frekvence prvního formantu podporujícího plnost a sonorit tónu. Třetí z nich rezonuje kolmo v dolní šířce desky na 420 Hz. Tato oblast spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu podporujícího plnost a sonorit. Posledním rezonančním módem je vzduch rezonující na frekvenci 248 Hz v nejužší části kontrabasu. Tento mód spadá do oblasti dolní mezní frekvence prvního formantu podporující plnost a sonorit.[12]

4.9.4. Rezonance tónů CIS4 prvního a třetího kontrabasu a tónu B3 druhého kontrabasu

Tabulka 4.36 Rezonance prvního kontrabasu tón CIS4

Kontrabas 1 tón CIS4			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	400	2,39	0,75	2,99	0,67	0,21
	maximum	590	1,62	0,51	2,03	0,45	0,14
	horní	1323	0,72	0,23	0,91	0,2	0,06
2.	dolní	3750	0,26	0,08	0,32	0,07	0,02
	maximum	3896	0,25	0,08	0,31	0,07	0,02
	horní	4069	0,24	0,07	0,29	0,07	0,02
3.	dolní	5813	0,16	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	6071	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6254	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
4.	dolní	7741	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	maximum	7963	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8306	0,12	0,04	0,14	0,03	0,01
5.	dolní	9227	0,1	0,03	0,13	0,03	0,01
	maximum	9799	0,1	0,03	0,12	0,03	0,01
	horní	10237	0,09	0,03	0,12	0,03	0,01

Při hraní tónu CIS4 na první kontrabas byly zjištěny dva rezonanční módy. První z nich se rezonuje na 590 Hz kolmo v horní širce dolní desky. Tento mód spadá do maxima frekvence prvního formantu podporujícího plnost a sonoritu v barvě. Druhý rezonanční mód rezonuje podélně v nejužší části horní desky kontrabasu v rozmezí 3750-4096 Hz. Tento mód spadá do oblasti celého druhého formantu podporujícího ostrost tónu.[12]

Tabulka 4.37 Rezonance druhého kontrabasu tón B3

Kontrabas 2 tón B3			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ – podélně	$\lambda/4$ – kolmo	$\lambda/4$ – podélně	$\lambda/4$ – kolmo	$\lambda/4$ – vzduch
1.	dolní						
	maximum	220	4,35	1,36	5,44	1,22	0,38
	horní	385	2,48	0,78	3,11	0,7	0,22
2.	dolní	935	1,02	0,32	1,28	0,29	0,09
	maximum	988	0,97	0,3	1,21	0,27	0,09
	horní	1048	0,91	0,28	1,14	0,26	0,08
3.	dolní						
	maximum	1980	0,48	0,15	0,6	0,14	0,04
	horní	2150	0,44	0,14	0,56	0,12	0,04
4.	dolní	2867	0,33	0,1	0,42	0,09	0,03
	maximum	3292	0,29	0,09	0,36	0,08	0,03
	horní	3501	0,27	0,09	0,34	0,08	0,02
5.	dolní	4101	0,23	0,07	0,29	0,07	0,02
	maximum	4622	0,21	0,06	0,26	0,06	0,02
	horní	4870	0,2	0,06	0,25	0,06	0,02

Při hraní tónu B3 se u druhého kontrabasu vyskytlo pět rezonančních módů. První rezonanční mód rezonuje podélně v horní širší části spodní desky na frekvenci 1980 Hz, což spadá do maxima frekvence třetího formantu podporující jasnost. Druhý rezonanční mód rezonuje podélně v nejužší části spodní desky na frekvenci 2867 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence čtvrtého formantu ovlivňující ostrost tónu. Třetí rezonanční mód rezonuje podélně po celé délce horní desky na frekvenci 1048 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence druhého formantu ovlivňující výraznost a nazalitu. Čtvrtý rezonanční mód rezonuje podečně v nejužší části spodní desky na frekvenci 3292 Hz, což spadá do oblasti maxima frekvence čtvrtého formantu ovlivňující jasnost. Poslední rezonanční mód rezonuje jako vzduch uvnitř kontrabasu v nejužší části na frekvenci 220 Hz, což spadá do oblasti maxima prvního formantu ovlivňující plnost a sonoritu tónu.[12]

Tabulka 4.38 Rezonance třetího kontrabasu tón CIS4

Kontrabas 3 tón CIS4			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	252	3,8	1,18	4,75	1,06	0,34
	maximum	292	3,28	1,02	4,1	0,92	0,29
	horní	352	2,72	0,85	3,4	0,76	0,24
2.	dolní	942	1,03	0,32	1,27	0,28	0,09
	maximum	1317	0,73	0,23	0,91	0,2	0,06
	horní	1510	0,63	0,2	0,79	0,18	0,06
3.	dolní						
	maximum	2499	0,38	0,12	0,48	0,11	0,03
	horní	2808	0,34	0,11	0,43	0,1	0,03
4.	dolní	3902	0,25	0,08	0,31	0,07	0,02
	maximum	4147	0,23	0,07	0,29	0,06	0,02
	horní	4311	0,22	0,07	0,28	0,06	0,02
5.	dolní	5905	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6110	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6333	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01

Při hraní tónu CIS4 se u třetího kontrabasu vyskytlo 8 rezonančních módů. První mód rezonuje podélně po celé délce spodní desky na frekvenci 942 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence druhého formantu ovlivňující výraznost a nazalitu. Druhý mód rezonuje podélně v dolní šířce spodní desky na frekvenci 1510 Hz, což spadá do oblasti horní rezonanční frekvence ovlivňující nazalitu tónu. Třetí rezonanční mód rezonuje podélně v nejužší části spodní rezonanční desky na frekvenci 2808 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence třetího formantu ovlivňující ostrost tónu. Čtvrtý rezonanční mód rezonuje kolmo v celé délce spodní desky na frekvenci 292 Hz, což spadá do oblasti maxima frekvence prvního formantu ovlivňující plnost a sonoritu. Pátý rezonanční mód rezonuje kolmo v nejužší části spodní desky na frekvenci 942 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní rezonanční frekvence druhého formantu ovlivňující výraznost a nazalitu. Šestý rezonanční mód rezonuje podélně v horní šířce horní desky na 2499 Hz, což spadá do maxima frekvence třetího formantu ovlivňující jasnost tónu. Sedmý rezonanční mód rezonuje kolmo v celé délce horní desky na frekvenci 252 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence prvního formantu ovlivňující plnost a sonoritu. Poslední rezonanční mód rezonuje uvnitř kontrabasu v nejužší části na frekvenci 252, což je stejná situace, jako u předchozího módu. [12]

4.9.5. Rezonance tónů A4 prvního a třetího kontrabasu a tónu G4 druhého kontrabasu

Tabulka 4.39 Rezonance prvního kontrabasu tón A4

Kontrabas 1 tón A4			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	424	2,26	0,7	2,82	0,65	0,2
	maximum	472	2,03	0,63	2,54	0,57	0,18
	horní	530	1,8	0,56	2,26	0,51	0,16
2.	dolní	1235	0,77	0,24	0,97	0,22	0,07
	maximum	1368	0,7	0,22	0,88	0,2	0,06
	horní	1472	0,65	0,2	0,81	0,18	0,06
3.	dolní						
	maximum	2447	0,39	0,12	0,49	0,11	0,03
	horní	2716	0,35	0,11	0,44	0,1	0,03
4.	dolní	3661	0,26	0,08	0,33	0,07	0,02
	maximum	3960	0,24	0,08	0,3	0,07	0,02
	horní	4242	0,23	0,07	0,28	0,06	0,02
5.	dolní	5941	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6307	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
	horní	6625	0,14	0,05	0,18	0,04	0,01

Při hraní tónu A4 se u prvního kontrabasu vyskytlo celkem pět rezonančních módů. První mód rezonuje podélně v nejužší části spodní desky na frekvenci 2716 Hz, což spadá do horní mezní frekvence třetího formantu podporující ostrost tónu. Druhý mód rezonuje kolmo v dolní šířce desky na frekvenci 472, což spadá do oblasti maxima prvního formantu podporující plnost a sonoritu. Třetí rezonanční mód rezonuje podélně v horní šířce horní desky na frekvenci 2447 Hz, což spadá do oblasti maxima třetího formantu podporující jasnost. Čtvrtý mód rezonuje podélně v nejužší části horní desky na frekvenci 3661 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence čtvrtého formantu podporující ostrost tónu. Poslední mód rezonuje kolmo v horní šířce horní desky na frekvenci 530 Hz, což spadá do stejné oblasti jako mód předchozí.[12]

Tabulka 4.40 Rezonance druhého kontrabasu tón G4

Kontrabas 2 tón G4			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	388	2,47	0,77	3,09	0,69	0,22
	maximum	572	1,67	0,52	2,09	0,47	0,15
	horní	830	1,15	0,36	1,44	0,32	0,1
2.	dolní	1127	0,85	0,26	1,06	0,24	0,08
	maximum	1441	0,66	0,21	0,83	0,19	0,06
	horní	1624	0,59	0,18	0,74	0,17	0,05
3.	dolní						
	maximum	3400	0,28	0,09	0,35	0,08	0,03
	horní	3713	0,26	0,08	0,32	0,07	0,02
4.	dolní	5845	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	maximum	6258	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
	horní	6645	0,14	0,04	0,18	0,04	0,01
5.	dolní	7659	0,12	0,04	0,16	0,03	0,01
	maximum	8066	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8383	0,11	0,04	0,14	0,03	0,01

Při hraní tónu G4 se u druhého kontrabasu vyskytlo pět rezonančních módů. První z nich rezonuje podélně po celé délce spodní desky na frekvenci 830 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu podporující výraznost a nazalitu. Druhý mód rezonuje podélně v dolní šířce spodní desky na frekvenci 1441 Hz, což spadá do oblasti maxima frekvence druhého formantu podporující nazalitu tónu. Třetí mód rezonuje kolmo v horní šířce spodní desky na frekvenci 572 Hz, což spadá do oblasti maxima frekvence prvního formantu ovlivňující plnost a sonoritu. Čtvrtý mód rezonuje kolmo v nejužší části spodní desky na frekvenci 830 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu ovlivňující výraznost a nazalitu. Poslední mód rezonuje podélně v nejužší části horní desky na frekvenci 3400 Hz, což spadá do oblasti maxima třetího formantu podporující ostrost tónu.[12]

Tabulka 4.41 Rezonance třetího kontrabasu tón A4

Kontrabas 3 tón A4			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	395	2,42	0,76	3,03	0,68	0,22
	maximum	478	2	0,62	2,51	0,56	0,18
	horní	594	1,61	0,5	2,02	0,45	0,14
2.	dolní	1287	0,74	0,23	0,93	0,21	0,07
	maximum	1693	0,56	0,18	0,71	0,16	0,05
	horní	1897	0,5	0,16	0,63	0,14	0,04
3.	dolní						
	maximum	3584	0,27	0,08	0,33	0,07	0,02
	horní	3932	0,24	0,08	0,3	0,07	0,02
4.	dolní	6064	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	maximum	6155	0,16	0,05	0,19	0,04	0,01
	horní	6314	0,15	0,05	0,19	0,04	0,01
5.	dolní	7727	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	maximum	7959	0,12	0,04	0,15	0,03	0,01
	horní	8323	0,11	0,04	0,14	0,03	0,01

Při hraní tónu A4 se u třetího kontrabasu vyskytly 4 rezonanční módy. První z nich rezonuje podélně v horní šířce spodní desky na frekvenci 1897 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence druhého formantu podporující jasnost. Druhý mód rezonuje kolmo v horní šířce spodní desky kontrabasu na frekvenci 594 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence prvního formantu podporující plnost a sonoritu. Třetí mód rezonuje podélně v spodní šířce horní desky na frekvenci 1897 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence druhého formantu podporující jasnost. Poslední mód rezonuje podélně v nejužší části kontrabasu horní desky na frekvenci 3584 Hz, což spadá do oblasti maxima frekvence třetího formantu podporující ostrost tónu.[12]

4.9.6. Rezonance tónů E5 prvního a třetího kontrabasu a tónu D5 druhého kontrabasu

Tabulka 4.42 Rezonance prvního kontrabasu tón D5

Kontrabas 1 tón E5			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	659	1,45	0,45	1,82	0,41	0,13
	maximum	663	1,44	0,45	1,81	0,4	0,13
	horní	685	1,4	0,44	1,75	0,39	0,12
2.	dolní	1318	0,73	0,23	0,91	0,2	0,06
	maximum	1346	0,71	0,22	0,89	0,2	0,06
	horní	1365	0,7	0,22	0,88	0,2	0,06
3.	dolní	2518	0,38	0,12	0,48	0,11	0,03
	maximum	2638	0,36	0,11	0,45	0,1	0,03
	horní	2726	0,35	0,11	0,44	0,1	0,03
4.	dolní	3711	0,26	0,08	0,32	0,07	0,02
	maximum	3944	0,24	0,08	0,3	0,07	0,02
	horní	4184	0,23	0,07	0,29	0,06	0,02
5.	dolní	4600	0,21	0,06	0,26	0,06	0,02
	maximum	4811	0,2	0,06	0,25	0,06	0,02
	horní	5325	0,18	0,06	0,22	0,05	0,02

Při hraní tónu E5 se u prvního kontrabasu vyskytly pouze dva rezonanční módy, z nichž první rezonuje podélně v nejužší části spodní desky na frekvenci 2726 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence třetího formantu podporujícího ostrost. Druhý mód rezonuje kolmo v nejužší části horní desky na frekvenci 3711 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence čtvrtého formantu podporujícího ostrost.[12]

Tabulka 4.43 Rezonance druhého kontrabasu tón D5

Kontrabas 2 tón D5			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	569	1,68	0,52	2,1	0,47	0,15
	maximum	584	1,64	0,51	2,05	0,46	0,15
	horní	605	1,58	0,49	1,98	0,44	0,14
2.	dolní	1039	0,92	0,29	1,15	0,26	0,08
	maximum	1346	0,71	0,22	0,89	0,2	0,06
	horní	1476	0,65	0,2	0,81	0,18	0,06
3.	dolní	3421	0,28	0,09	0,35	0,08	0,02
	maximum	3595	0,27	0,08	0,33	0,07	0,02
	horní	3760	0,25	0,08	0,32	0,07	0,02
4.	dolní	4148	0,23	0,07	0,29	0,06	0,02
	maximum	4500	0,21	0,07	0,27	0,06	0,02
	horní	4704	0,2	0,06	0,25	0,06	0,02
5.	dolní	5838	0,16	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	6127	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01
	horní	6533	0,15	0,05	0,18	0,04	0,01

Při hraní tónu D5 se u druhého kontrabasu vyskytly 4 rezonanční módy. První z nich rezonuje podélně v spodní šířce spodní desky na frekvenci 1476 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence druhého formantu podporující nazalitu. Druhý mód rezonuje kolmo v horní šířce spodní desky na frekvenci 569-605 Hz, což spadá do celé oblasti prvního formantu podporující sonoritu a plnost. Třetí mód rezonuje podélně v celé délce horní desky na frekvenci 1039 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní frekvence druhého formantu podporující výraznost a jasnost. Poslední mód rezonuje podélně v nejužší části horní desky na frekvenci 3421-3595 Hz, což spadá do oblasti dolní mezní a maximální frekvence formantu podporující ostrost tónu. [12]

Tabulka 4.44 Rezonance třetího kontrabasu tón E5

Kontrabas 3 tón E5			javor	javor	smrk	smrk	
Pořadí módu	frekvence	frekvence [Hz]	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - podélně	$\lambda/4$ - kolmo	$\lambda/4$ - vzduch
1.	dolní	658	1,45	0,45	1,82	0,41	0,13
	maximum	670	1,43	0,45	1,79	0,4	0,13
	horní	708	1,35	0,42	1,69	0,38	0,12
2.	dolní	1321	0,72	0,23	0,91	0,2	0,06
	maximum	1359	0,7	0,22	0,88	0,2	0,06
	horní	1392	0,69	0,21	0,86	0,19	0,06
3.	dolní	2244	0,43	0,13	0,53	0,12	0,04
	maximum	2464	0,39	0,12	0,49	0,11	0,03
	horní	2636	0,36	0,11	0,45	0,1	0,03
4.	dolní	4556	0,21	0,07	0,26	0,06	0,02
	maximum	4621	0,21	0,06	0,26	0,06	0,02
	horní	4675	0,2	0,06	0,26	0,06	0,02
5.	dolní	5819	0,16	0,05	0,21	0,05	0,01
	maximum	5928	0,16	0,05	0,2	0,05	0,01
	horní	6067	0,16	0,05	0,2	0,04	0,01

Při hraní tónu E5 se u druhého kontrabasu vyskytly pouze dva rezonanční módy. První z nich rezonuje podélně v nejužší části spodní desky na frekvenci 2636 Hz, což spadá do oblasti horní mezní frekvence třetího formantu podporujícího ostrost. Druhý mód rezonuje podélně v horní šířce horní desky na frekvenci 2464, což spadá do maxima frekvence třetího formantu podporující jasnost tónu.[12]

4.9.7. Shrnutí rezonancí kontrabasů

První rezonanční mód prvního kontrabasů je rezonance vzduchu. Tento mód rezonuje pouze v nejužší části kontrabasů, a to vždy na frekvencích kolem 200-250 Hz, na vyšších frekvencích při hraní vyšších tónů se již tento mód nevyskytuje. Tato rezonance] spadá do formantu samohlásky U a v barvě podporuje mohutnost, temnost, plnost a sonoritu tónu. [12]

U spodní desky kontrabasů byly zjištěny čtyři rezonanční módy. První z nich rezonuje po celé délce desky podélně na 904 Hz. Tento mód spadá do oblasti formantu samohlásky A, podporující výraznost a nazalitu tónu.[12] Druhý mód rezonuje podélně v dolní šířce kontrabasů na 1509 Hz, což spadá do formantové oblasti podporující

v barvě nazalitu.[12] Třetím módem spodní desky je mód rezonující kolmo v dolní šířce desky. Tento mód se objevuje při hraní tónů středních frekvencí na frekvenci kolem 480 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky O, podporující v barvě znělost a plnost. [12] Poslední mód spodní desky kontrabasu rezonuje kolmo v oblasti horní šířky desky na oblasti kolem 600 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky A, podporující výraznost tónu a nazalitu. [12]

U horní desky prvního kontrabasu byly zjištěny 4 módy. První z nich se vyskytuje při hraní jakéhokoli tónu na frekvencích od 3500-4000 Hz. Tento mód rezonuje podélně v nejužší části kontrabasu. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky I, která barvě přidává ostrost.[12] Další mód horní desky rezonuje podélně na frekvenci cca 2500 Hz v oblasti horní šířky desky. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky E, v barvě zodpovědnou za jasnost tónu.[12] Další mód rezonuje kolmo po celé délce horní desky na frekvencích kolem 250 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky U, podporující plnost, mohutnost, temnost a sonoritu. [12] Poslední objevený mód rezonuje kolmo v horní šířce horní desky a pohybuje v rozmezí 480-530 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky o, podporující plnost a sonoritu. [12]

Stejně jako u prvního kontrabasu je i u druhého rezonančním módem vzduch rezonující v nejužší části kontrabasu na 220-260 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky U a dodává barvě mohutnost, temnost, plnost a sonoritu. [12]

U spodní desky kontrabasu bylo zjištěno sedm módů. První mód rezonuje podélně v horní šířce kontrabasu kolem 1980 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky E, podporující jasnost. [12] Druhý mód rezonuje podélně v dolní šířce desky na frekvenci kolem 1450 Hz. Tento mód spadá do oblasti formantu podporující nazalitu tónu. [12] Třetí mód rezonuje podélně po celé délce desky na frekvenci 830 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky A, podporující výraznost tónu a nazalitu. [12] Čtvrtý mód rezonuje podélně v nejužší oblasti desky kolem 2860 Hz. Tento mód spadá do formantové oblasti samohlásky I, podporující ostrost tónu. [12] Pátý mód spodní desky rezonuje kolmo po celé délce desky frekvenci kolem 250 Hz, což spadá do formantové oblasti samohlásky U, podporující plnost, sonoritu, mohutnost a temnost. [12] Šestý mód rezonuje kolmo v nejužší části kontrabasu kolem 750-830 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky A, podporující výraznost a nazalitu. [12] Poslední mód spodní desky rezonuje kolmo v horní šířce na 550-600 Hz, což spadá do oblasti samohlásky O, podporující mohutnost a plnost. [12] U horní desky kontrabasu byly zjištěny 3 módy. První z nich rezonuje kolem 1040 Hz podélně po celé délce desky. Tento mód spadá do oblasti samohlásky A, podporující nazalitu a výraznost. [12] Druhý mód rezonuje podélně v nejužší části desky kolem 3200-3400 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky I, podporující ostrost tónu. [12] Poslední mód rezonuje kolmo v nejužší části horní desky v oblasti kolem 730 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky A, podporující výraznost a nazalitu. [12]

Stejně jako u předchozích kontrabasů vzduch u třetího kontrabasu rezonuje na frekvenci kolem 250 Hz v nejužší části kontrabasu, což spadá do oblasti samohlásky U, podporující plnost, mohutnost, temnost a sonoritu. [12] Zároveň se zde také vyskytl rezonanční mód vzduchu na 160 Hz, ten nespadá do formantové oblasti žádné samohlásky, ale barvě přidává temný a mohutný charakter. [12] U spodní desky kontrabasu se vyskytlo 7 rezonančních módů. První z nich kmitá podélně po celé délce desky na frekvenci kolem 940 Hz, což spadá do oblasti samohlásky A, podporující nazalitu a výraznost. [12] Druhý z nich rezonuje podélně na frekvenci kolem 1500 Hz v oblasti dolní šířky desky, což spadá do oblasti podporující nazalitu. [12] Třetí z nich rezonuje podélně v horní šířce desky na frekvenci cca 1800 Hz, což spadá do oblasti samohlásky E, podporující jasnost tónu. [12] Čtvrtý mód rezonuje podélně v nejužší části kontrabasu na frekvenci 2620-2800 Hz, což spadá do oblasti samohlásky I, podporující ostrost tónu. [12] Pátý mód rezonuje kolmo po celé délce desky okolo 290 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky U, podporující mohutnost, plnost a sonoritu. [12] Šestý mód rezonuje kolmo v nejužší části na frekvenci kolem 940 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky A, podporující výraznost a nazalitu. [12] Sedmý mód rezonuje kolmo v horní šířce desky na frekvenci okolo 590 Hz, což spadá do oblasti samohlásky O, podporující mohutnost a sonoritu tónu. [12] Na horní desce kontrabasu se vyskytlo pět módů. První z nich rezonuje podélně po celé délce desky na frekvenci 1112-1140 Hz. To spadá do oblasti samohlásky A, podporující výraznost a nazalitu. [12] Druhý mód rezonuje podélně v nejužší části desky kolem frekvence 3400-3550 Hz. Tento mód spadá do oblasti samohlásky I, podporující ostrost tónu. [12] Třetí mód rezonuje podélně v horní šířce desky na frekvenci kolem 2400 Hz, což spadá do oblasti samohlásky E podporující jasnost. [12] Čtvrtý mód rezonuje podélně v spodní šířce desky na frekvenci kolem 1890 Hz, což spadá do oblasti samohlásky E, podporující jasnost. [12] Poslední mód rezonuje kolmo po celé délce desky v oblasti kolem 250 Hz, což spadá do oblasti samohlásky U, podporující mohutnost, plnost a sonoritu tónu. [12]

Z celkového srovnání plyne, že rezonance vzduchu v kontrabasech nejčastěji rezonuje v nejužší části uvnitř a podporuje nízké frekvence okolo 250 Hz a v barvě tedy mohutnost, temnost, sonoritu a plnost tónu. Spodní deska v horní šířce u všech kontrabasů podporuje oblast okolo 600 Hz, v barvě tedy podporuje výraznost a nazalitu. U prvního kontrabasů také oblast okolo 480 Hz, což přidává znělost, mohutnost a plnost. Je zajímavé že horní šířka spodní desky u druhého kontrabasů rezonuje na frekvenci 1980 Hz, u třetího na 1800 Hz, ale u prvního se tato rezonance nevyskytuje i přes to, že je šířka stejná. Tímto se přidává barvě druhého a třetího větší jas. Horní deska kontrabasů v horní šířce rezonuje u prvního kontrabasů v okolí 480-530 Hz, čímž podporuje plnost, mohutnost a sonoritu. U prvního kontrabasů rezonuje v okolí 2500 Hz a u třetího v okolí 2400 Hz, čímž barvě přidává jas. U druhého kontrabasů žádná rezonance horní desky v horní šířce nebyla změřena. Celkově se dá říct, že horní šířka spodní i horní desky podporuje mohutnost, znělost, plnost, ale také jas tónu.

Ve spodní šířce spodní desky se u všech tří kontrabasů objevila pouze rezonance okolo 1500 Hz, což v barvě podporuje nazalitu. V spodní šířce horní desky u prvního a druhého kontrabasu nebyla změřena žádná rezonance. U třetího kontrabasu se rezonance objevila na 1890 Hz, což podporuje nazalitu a jasnost. Celkově se tedy dá říct, že spodní šířka spodní desky podporuje nazalitu tónu. Rezonance horní desky v spodní šířce k nazalitě přidává i mírnou jasnost.

V nejužší části spodní desky prvního kontrabasů, který má tuto část nejužší, nebyl změřen ani jeden mód. U druhého kontrabasů byl změřen první mód na 750-830 Hz, u třetího na 940 Hz. Tento mód v barvě podporuje nazalitu a výraznost. Dalším módem společným pro druhý a třetí kontrabas byl mód rezonující kolem 2800 Hz, což v barvě podporuje ostrost, brysknost tónu. V nejužší části horní desky mají všechny tři kontrabasy rezonanční mód podporující ostrost tónu. U prvního kontrabasů se nachází v oblasti 3500-400 Hz, u druhého 3200-3400 Hz a třetího 3400-3580 Hz. Celkově lze tedy říct že nejužší část kontrabasů zadní desky ovlivňuje v barvě výraznost, nazalitu, ale také ostrost tónu, zatímco přední deska podporuje oblast ostrosti na vyšších frekvencích.

Po celé délce spodní desky se u prvního kontrabasů objevil mód na 904 Hz, u druhého na 830 Hz a třetího na 940 Hz. Tyto módy v barvě podporují výraznost a nazalitu. U druhého a třetího kontrabasů se na horní desce vyskytl ještě jeden mód, a to u druhého na 250 Hz a třetího na 290 Hz, což v barvě přidává mohutnost, plnost a sonorit. V celé délce horní desky rezonuje u prvního i třetího kontrabasů rezonanční mód na 250 Hz, což v barvě podporuje mohutnost, plnost a sonorit. U druhého kontrabasů se tento mód nenachází. U druhého kontrabasů najdeme ještě jeden mód na 1040 Hz a u třetího na 1112-1140 Hz, což v barvě přidává výraznost a nazalitu. Celkově lze tedy říct, že celá délka přední a zadní desky podporuje v barvě mohutnost, plnost, sonorit, ale také výraznost a nazalitu.

Druhý kontrabas, který má nejdelší celou délku desek, nejširší spodní šířku desek a nejširší úzkou část desek, má módy po celé délce, v spodní šířce a v nejužší části desek položeny frekvenčně níže. Stejně tak třetí kontrabas, který má nejširší horní šířku desky, má módy v této oblasti posunuty frekvenčně níže. S většími rezonančními deskami vzniká rezonance s větší vlnovou délkou, a tedy i menší frekvencí. Rezananční módy všech kontrabasů se pohybují zhruba ve stejných frekvenčních oblastech, vliv jejich velikostí na barvu souvisí s posunem frekvence níže při větší ploše desek. Pokud bychom chtěli například podpořit ostrost tónu uděláme velmi úzkou nejužší část, která podporuje ostrost tónu, čímž zvýšíme frekvenci rezonančního módu směrem výše do formantové oblasti samohlásky I, podporující ostrost. U druhého kontrabasů, který je největší, se také objevilo nejvíce rezonančních módů, lze tedy předpokládat, že s větší plochou rezonančních desek se také objeví více barvotvorných rezonančních módů. Pokud bychom chtěli srovnat, která deska se více podílí na barvě tónu, je to zadní deska, která má mnohem má u všech kontrabasů více rezonančních módů než deska přední.

5. ZÁVĚR

V této práci byl nejprve představen kontrabas jako nástroj a byla popsána stručně jeho stavba a historie. Následoval popis akustických a mechanických veličin a konstant nutných k lepšímu pochopení chování zvuku v nástroji. Dále byly představeny změřené kontrabasy, byl popsán způsob nahrávání a zpracování dat.

První kapitola měření obsahuje srovnání spektrogramů a spekter různých tónů hraných různými styly v různých dynamikách. Spektra se při hraní tónů velmi měnila, jak ve velikostech modulů, tak v poměrech jednotlivých harmonických složek. Společným znakem pro všechny kontrabasy však je, že mají na nízkých až středních tónech nejvýraznější druhou harmonickou složku, zodpovědnou za mohutnost tónu.

V druhé kapitole měření jsou zkoumány a porovnávány formantové oblasti ve spektru nástrojů. Formantové oblasti jsou připodobněny k formantovým oblastem samohlásek pro jejich lepší pochopení. Zjistilo se, že formantové oblasti všech kontrabasů se vyskytují na podobném frekvenčním pásmu s určitými odchylkami. Všechny formantové oblasti byly popsány a byl také popsán jejich vliv na barvu nástroje.

V další části měření byly popsány směrové vyzařovací charakteristiky kontrabasů různých tónů reprezentující nízké, střední a vysoké frekvence. Bylo zjištěno, že první kontrabas vykazuje největší směrovost a že na rozdíl od druhých dvou kontrabasů nemá takovou tendenci vyzařovat směrem doleva. Dále byly popsány směry, kterými vyzařují společně všechny tři kontrabasy.

Nejdůležitější kapitolou této práce je zkoumání rezonance nástrojů vzhledem k jejich rozměrům. Byly prozkoumány rezonanční módy vzduchu, horní a dolní šířky rezonančních desek a také rezonanční módy desky po celé její délce a v nejužší části kontrabasů. Rezonanční módy byly připsány formantovým oblastem zjištěným z LPC analýzy a byl prozkoumán vliv rozměrů na barvu, kdy se zjistilo, že s většími rozměry desek, jsou rezonanční módy položeny frekvenčně níže než s rozměry většími. Bylo také zjištěno, že k barvě tónu nejvíce přispívá spodní rezonanční deska a že měřený kontrabas s největšími rozměry má rezonančních módů nejvíce. Nelze ovšem říct, že by tato skutečnost byla pravidlem, neboť k zpracování výsledků této práce byly k dispozici pouze tři kontrabasy a k přesnějším závěrům by bylo potřeba změřit kontrabasy více.

LITERATURA

- [1] SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 2., dopl. vyd. *Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU*. V Praze: Akademie múzických umění, 2008. ISBN 978-80-7331-127-8.
- [2] *Anatomy of the string bass*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.theinstrumentplace.com/parts-of-the-string-bass#bass_bar_info. [cit. 2024-05-25].
- [3] *Nauka o hudebních nástrojích*. Online. Dostupné z: <https://hudebninastroje1.webnode.cz/strunne-nastroje/smyccove-nastroje/kontrabas/>. [cit. 2024-05-26].
- [4] *Kontrabas v lidové hudbě středovýchodní Evropy*. Online, Bakalářská. Brno: Masarykova univerzita filozofická fakulta, 2006. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/z944r/bakalarska_prace.pdf. [cit. 2024-05-26].
- [5] POŽGAJ, Alexander, Dušan, CHOVANEC, Stanislav Kuriatko a Marián BABIAK. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2.vyd. Bratislava: Príroda, 1997. ISBN 80-07-00960-4.
- [6] *The Different Parts Of A Double Bass: Anatomy And Structure Explained*. Online. Hellomusictheory.com. Dostupné z: <https://hellomusictheory.com/learn/parts-of-the-double-bass/>. [cit. 2024-05-26].
- [7] *Building a cello*. Online. Dostupné z: <https://www.halkola.net/cello/category/bass-bar>. [cit. 2024-05-26].
- [8] JAMES LAVERGNE, Patrick. *The origin and the evolution of the double bass*. Online, dizertační. Louisiana: Louisiana State University, 2021. Dostupné z: https://repository.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6808&context=gradschool_dissertations. [cit. 2024-05-26].
- [9] *The bowed string (violin)*. Online. Acoustic and Vibration animations. 2020. Dostupné z: <https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/Bowed-String/Bowed-String.html>. [cit. 2024-05-26].
- [10] *The Helmholtz motion*. Online. Knutacoustics.com. 2002. Dostupné z: <https://knutsacoustics.com/files/The-Helmholtz-motion.pdf>. [cit. 2024-05-26].
- [11] FLETCHER, Neville H. a ROSSING, Thomas D. *The Physics of Musical Instruments*. Online. New York, NY: Springer New York, 1991. ISBN 978-0-387-94151-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2980-3>. [cit. 2024-05-26].
- [12] MEYER Jürgen. *Acoustics and Performance of Music: Manual for Acousticians, Audio Engineers, Musicians, Architects and Musical Instrument Makers*. 5. vyd. New York: Springer, 2009. 446 s. ISBN 978-0-387-09516-3

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

FFT	Fast fourier transformation – Rychlá Fourierova transformace
LPC	Linear Predictive Coding – Linární prediktivní kódování
STFT	Short Time Fourier Tranformation – Krátkodobá Fourierova transformace
f	frekvence
m	metr
kg	kilogram
s	sekunda
Hz	Hertz
dB	decibel
Pa	Pascal

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy pro práci jsou odevzdány zvlášť