

# Uporedna analiza frekvencijskog spektra muzičkih instrumenata familije blok flaute

Krstić V. Sonja, Drinčić G. Dragan i Milošević B. Mirko, *Visoka škola elektrotehnike i računarstva Beograd*

**Sadržaj** — U radu je prezentovana uporedna analiza frekvencijskog spektra odsviranih tonova na 7 različitih muzičkih instrumenata koji pripadaju familiji blok flaute. To su: garklajn, sopranino, sopran, alt, tenor, bas in f i bas in c blok flaute. Analiza je rađena sa ciljem da se ustanove osnovne karakteristike frekvencijskog spektra ovih muzičkih instrumenata i da se razmotri da li postoje neke zajedničke karakteristike u tim spektrima, s obzirom na činjenicu da pripadaju istoj grupi. Za potrebe merenja isti izvođač je na svakom instrumentu odsvirao tonove osnovne i jedne preduvane oktave, pojedinačnim trajanjem tonova oko 2 sekunde. Izuzetak je garklajn kod kojeg je najviši odsvirani ton kvinta u gornjem registru. Svaki ton je posebno analiziran.

**Ključne reči** — fblok flaute, frekvencijski spektar

## I. UVOD

ZVUK svakog muzičkog instrumenta karakterišu tri osnovna parametra: visina, boja i jačina, rečeno jezikom muzike. U frekvencijskom spektru odsviranog tona visina tona određena je frekvencijom osnovnog harmonika, boja tona određena je frekvencijom, relativnim nivoom i međusobnim odnosom harmonika, a jačina tona određena je relativnim nivoom osnovnog harmonika. Analizom navedenih parametara u frekvencijskom spektru odsviranog tona na nekom muzičkom instrumentu mogu se uočiti osobine spektra karakteristične za dati instrument [9]. Muzički instrumenti koji pripadaju pojedinim grupama (žičani, drveni duvački, limeni duvački, instrumenti sa klavijaturom) proizvode tonove čiji su harmonici u frekvencijskom spektru u međusobno pravilnom odnosu. U grupi udaračkih muzičkih instrumenata pojedini instrumenti proizvode tonove čiji su harmonici u spektru u međusobno pravilnom odnosu [2], a kod drugih instrumenata pravilnost ne postoji.

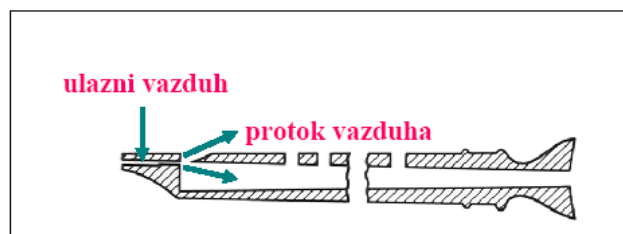
U ovom radu su razmatrani muzički instrumenti koji pripadaju grupi drvenih duvačkih instrumenata, podgrupe vertikalnih flaute, familiji blok flaute. Blok flaute potiče još iz srednjeg veka. Na njoj se sviralo najviše u periodu renesanse, baroka i klasicizma, a u 18. veku biva potisnuta. Ponovo postaje popularna početkom 20. veka. Blok flaute je, po konstrukciji, cev otvorena na oba kraja.

S. V. Krstić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-8399810; faks: 381-11-2471099; e-mail: sonja.krstic@viser.edu.rs).

D. G. Drinčić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija; (e-mail: dragan.drincic@viser.edu.rs).

M. B. Milošević, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija; (e-mail: mirko.milosevic@viser.edu.rs).

Ima vazdušni jezičak što znači da se mlaz uduvanog vazduha cepa na dva dela prilikom ulaska u instrument (sl. 1) [4]. Blok flaute ima kljunastu glavu, cilindričnu cev sa šest rupica za sviranje osnovnog registra i jednu rupicu za sviranje gornjeg registra (za preduvanje). Postoji osam muzičkih instrumenata koji priradaju familiji blok flaute. To su: garklajn (blok flaute u  $c^3$  tonalitetu), sopranino (blok flaute u  $f^2$ ), sopran (blok flaute u  $c^2$ ), alt (blok flaute u  $f^1$ ), tenor (blok flaute u  $c^1$ ), bas (blok flaute u  $f$ ), bas in c (blok flaute u  $c$ ), bas in F (blok flaute u F tonalitetu).



Slika 1: Blok flaute – poprečni presek

## II. METODOLOGIJA

Formirana je grupa od sedam baroknih blok flaute: garklajn, sopranino, sopran, alt, tenor, bas i bas in c. Bas in F nije snimljen iz tehničkih razloga.

Za snimanje je izabrana sekvenca od 15 tonova durske lestvice osnovne i preduvane oktave, odsviranih na svakom od proučavanih muzičkih instrumenata ujednačenim nivoom zvuka i ujednačenim trajanjem od 2 sekunde. Izuzetak je garklajn na kome je bilo moguće odsvirati 12 tonova. Svaki od tonova analiziran je posebno.

## III. POSTAVKA MERENJA

Merenje je realizovano u audio studiju Visoke škole elektrotehnike i računarstva u Beogradu koji se koristi za snimanja različite namene i edukaciju studenata. Snimanje je urađeno u kontrolisanim uslovima (vreme reverberacije oko 0.4 s, temperatura oko 25 °C, vlaga mala, ambijentalna buka oko 35 dB). Studijski prostor je akustički obrađena prostorija (kosi zid, akustički obrađen pod i tavanica). Izvođač je bio lociran u centar, okružen sa 5 akustičkih paravana dimenzija 2m x 1m x 0.25 m, koji su dodatno akustički obradili studio smanjujući neželjene refleksije. Korišćen je kondenzatorski studijski mikrofonski Neumann U 87. Postavka mikrofona je urađena tako da je osa mikrofona postavljena pod uglom od 30° u odnosu na osu cevi muzičkog instrumenta (30 - tak cm ispred i 30 - tak cm iznad izlaza cevi), kao što je uobičajeno za drvene duvačke instrumente. Na taj način je membrana mikrofona

prikupila zvuk i sa donjeg kraja cevi i zvuk koji se emituje iz rupica muzičkog instrumenta.

Snimanje je obavljeno pomoću softversog paketa Nuendo. Analiza talasnih oblika je urađena pomoću softverskog paketa Sound Forge Pro 10.0 i Easera. Analiza frekvencijskog spektra je urađena korišćenjem softverskog paketa Sound Forge Pro 10.0 i Easera. Zvučni zapisi su, za potrebe dalje obrade, konvertovani audio karticom M – AUDIO DELTA 1010 i snimljeni u WAV formatu (44.1 KHz, 24 bita) na PC računaru.

#### IV. REZULTATI MERENJA

Analiza rezultata merenja obuhvata analizu 12 odsviranih tonova na blok flauti garklajn i analizu po 15 odsviranih tonova na blok flautama sopranino, sopran, alt, tenor, bas, bas in f i bas in c. Za svaki ton je napravljena tabela sa izmerenim podacima i frekvencijski spektar tog tona, ali su zbog ograničenja prostora ovde prikazani samo izabrane tabele i grafici.

U tabeli 1 predstavljani su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^2$ , idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^2$ , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^2$  i izmereni nivo pojedinih harmonika tona  $c^2$  odsviranog na sopran blok flauti.

TABELA 1: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON  $c^2$  ODSVIRAN NA SOPRAN BLOK FLAUTI

harmonik	idealna odnos frekvencija $f/f_0$	izmerena frekvencija $f_1$ [Hz]	idealna frekvencija $n \cdot f_0$ [Hz]	izmereni odnos frekvencija $f_1/f_0$	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	523	523.25	0.999	- 50.9
2	2:1	1049	1046.5	1.002	- 77.7
3	3:1	1565	1569.75	0.996	- 78.4
4	4:1	2080	2093	0.993	- 90.2
5	5:1	2622	2616.25	1.002	- 86.9
6	6:1	3136	3139.5	0.998	- 102.6
7	7:1	3634	3662.75	0.992	- 90.9
8	8:1	4167	4186	0.995	- 102.6
9	9:1	4679	4709.25	0.993	- 107.4
10	10:1	5198	5232.5	0.993	- 111.8

U tabeli 2 predstavljani su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona  $f^1$ , idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $f^1$ , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $f^1$  i izmereni nivo pojedinih harmonika tona  $f^1$  odsviranog na alt blok flauti.

U tabeli 3 predstavljani su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^1$ , idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^1$ , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $c^1$  i izmereni nivo pojedinih harmonika tona  $c^1$  odsviranog na tenor blok flauti.

U tabeli 4 predstavljani su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona  $f$ , idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $f$ , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona  $f$  i izmereni nivo pojedinih harmonika tona  $f$  odsviranog na bas blok flauti.

Dinamički opseg tonova [1] (maksimalna razlika relativnog nivoa odsviranih tonova) odsviranih na garklajn i sopranino blok flauti je oko 22 dB, na sopran i alt blok

flauti je oko 20 dB, na tenor blok flauti je oko 17 dB, na

TABELA 2: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON  $f^1$  ODSVIRAN NA ALT BLOK FLAUTI

harmonik	idealna odnos frekvencija $f/f_0$	izmerena frekvencija $f_1$ [Hz]	idealna frekvencija $n \cdot f_0$ [Hz]	izmereni odnos frekvencija $f_1/f_0$	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	346	349.23	0.990	- 50.2
2	2:1	702	698.46	1.005	- 89.4
3	3:1	1038	1047.69	0.990	- 89.4
4	4:1	1379	1396.92	0.987	- 103.0
5	5:1	1757	1746.15	1.006	- 88.7
6	6:1	2080	2095.38	0.992	- 105.6
7	7:1	2410	2444.61	0.985	- 106.7
8	8:1	2764	2793.84	0.989	- 106.7
9	9:1	3103	3143.07	0.987	- 110.0
10	10:1	3449	3492.3	0.987	- 109.6

TABELA 3: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON  $c^1$  ODSVIRAN NA TENOR BLOK FLAUTI

harmonik	idealna odnos frekvencija $f/f_0$	izmerena frekvencija $f_1$ [Hz]	idealna frekvencija $n \cdot f_0$ [Hz]	izmereni odnos frekvencija $f_1/f_0$	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	260	261.63	0.996	- 44.7
2	2:1	517	523.25	0.998	- 64.9
3	3:1	789	784.89	1.005	- 66.7
4	4:1	1049	1046.5	1.002	- 83.2
5	5:1	1308	1308.15	0.999	- 84.7
6	6:1	1582	1459.75	1.083	- 97.9
7	7:1	1833	1838.41	0.997	- 86.1
8	8:1	2102	2093	1.004	- 93.1
9	9:1	2360	2354.67	1.002	- 88.7
10	10:1	2622	2616.3	1.002	- 84.7

TABELA 4: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON  $f$  ODSVIRAN NA BAS BLOK FLAUTI

harmonik	idealna odnos frekvencija $f/f_0$	izmerena frekvencija $f_1$ [Hz]	idealna frekvencija $n \cdot f_0$ [Hz]	izmereni odnos frekvencija $f_1/f_0$	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	174	174.61	0.996	- 48.7
2	2:1	350	349.23	1.002	- 53.1
3	3:1	523	523.83	0.998	- 61.2
4	4:1	615	698.44	0.880	- 82.1
5	5:1	867	873.05	0.993	- 89.4
6	6:1	1049	1047.66	1.001	- 89.8
7	7:1	1215	1222.27	0.994	- 99.7
8	8:1	1409	1396.88	1.008	- 85.4
9	9:1	1562	1572.49	0.993	- 93.8
10	10:1	1757	1746.15	1.006	- 90.5

bas blok flauti je oko 15 dB i na bas in c blok flauti je oko 12 dB.

#### V. SPEKTRALNI SADRŽAJ

U tabeli 5 prikazani su: opseg osnovnih frekvencija tonova zadate sekvence za garklajn blok flautu, za sopranino blok flautu, za sopran blok flautu, za alt blok flautu, za tenor blok flautu, za bas blok flautu i za bas in c blok flautu. Opsezi osnovnih frekvencija zadatih sekvenci dati su za idealno naštimentovane muzičke instrumente (prema frekvenciji zvučne viljuške).

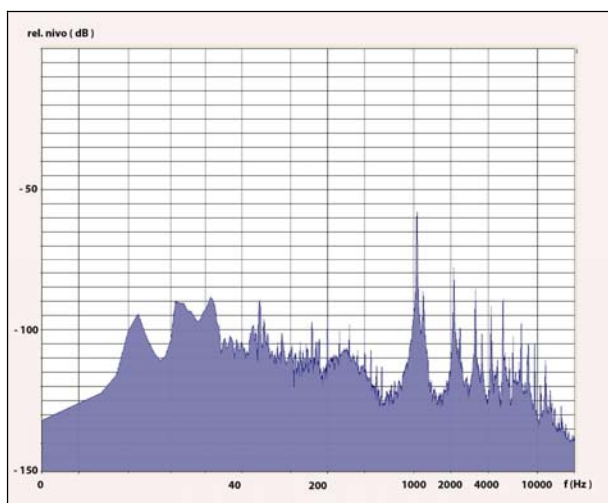
Na sl. 2 prikazan je frekvencijski spektar tona  $c^3$  odsviranog na garklajn blok flauti. Sa sl. 2 se vidi da 5. harmonik ima veći intenzitet od 4. harmonika, 7. harmonik od 6. i 9. harmonik od 8., u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

Na sl. 3 prikazan je frekvenzijski spektar tona  $f^2$  odsviranog na sopranino blok flauti.

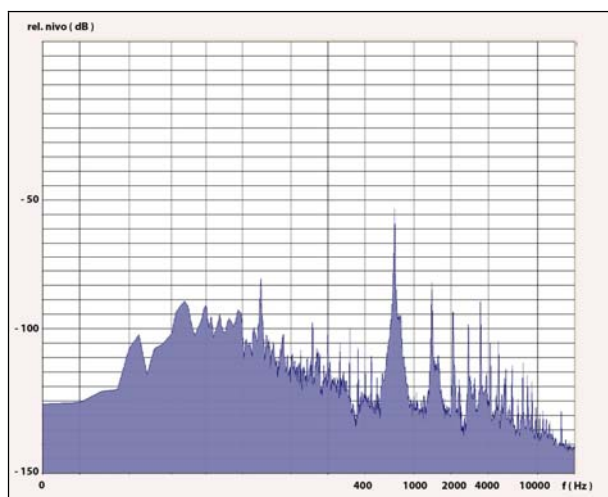
TABELA 5: OSNOVNE FREKVENCIJE TONOVA OPSEGA MUZIČKOG INSTRUMENTA

blok flauta	opseg frekvencija [Hz]
garklajn	1046.50 - 3135.96
sopranino	698.46 - 2793.83
sopran	523.25 - 2093
alt	349.23 - 1396.91
tenor	261.63 - 1046.50
bas	174.61 - 698.46
bas in c	130.81 - 523.25

S



Slika 2: Frekvenzijski spektar tona  $c^3$  odsviranog na garklajn blok flauti

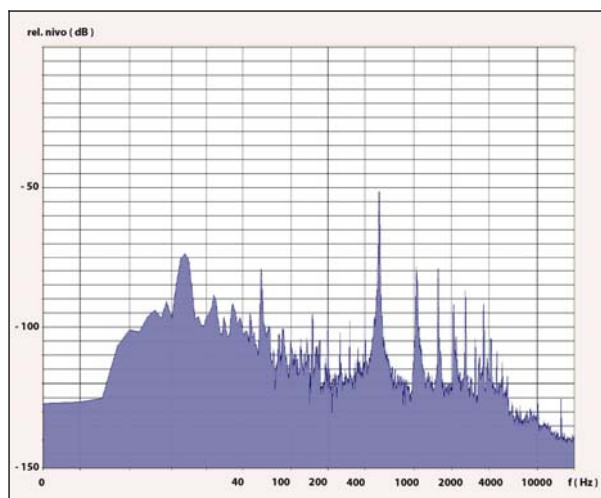


Slika 3: Frekvenzijski spektar tona  $f^2$  odsviranog na sopranino blok flauti

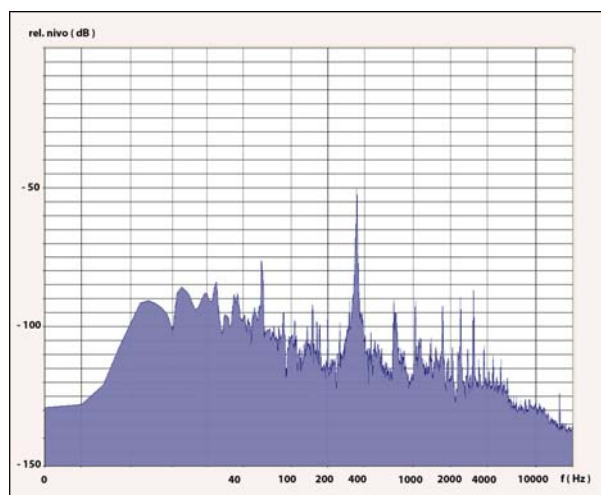
Sa sl. 3 se vidi da 5. harmonik ima veći intenzitet od 4. harmonika, 7. harmonik od 6. i 9. harmonik od 8. u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

Na sl. 4 prikazan je frekvenzijski spektar tona  $c^2$  odsviranog na sopran blok flauti. Sa sl. 4 se vidi da 5.

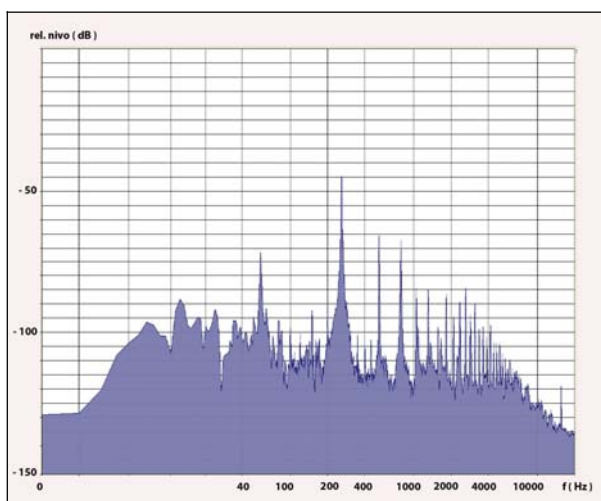
harmonik ima veći harmonik od 4. harmonika i 7. harmonik od 6. u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.



Slika 4: Frekvenzijski spektar tona  $c^2$  odsviranog na sopran blok flauti



Slika 5: Frekvenzijski spektar tona  $f^1$  odsviranog na alt blok flauti

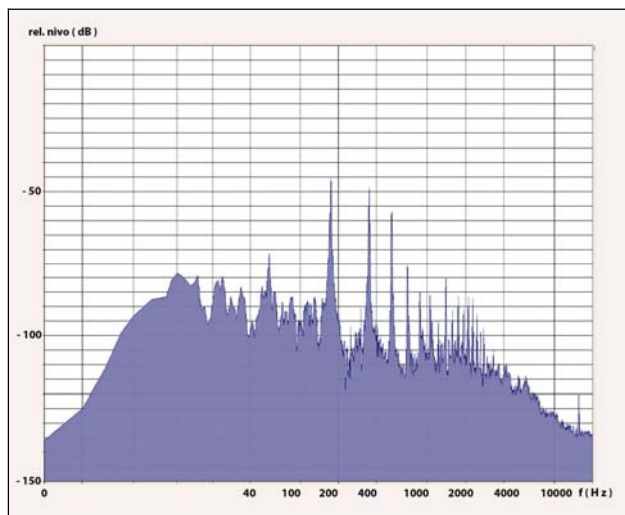


Slika 6: Frekvenzijski spektar tona  $c^1$  odsviranog na tenor blok flauti

Na sl. 5 prikazan je frekvenzijski spektar tona  $f^1$

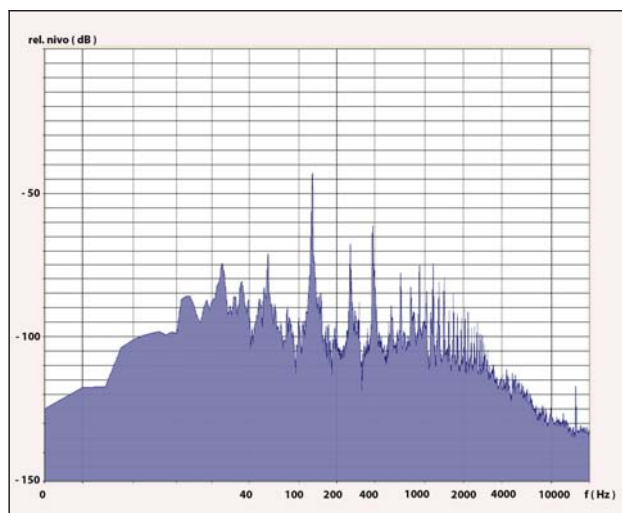
odsviranog na alt blok flauti. Sa sl. 5 se vidi da 5. harmonik ima veći intenzitet od 4. harmonika, 7. harmonik od 6, 9. harmonik od 8. i 11. harmonik od 10 u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

Na sl. 6 prikazan je frekvencijski spektar tona c<sup>1</sup> odsviranog na tenor blok flauti. Sa sl. 6 se vidi da 7. harmonik ima veći intenzitet od 6. harmonika i 9. harmonik od 8 u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.



Slika 7: Frekvencijski spektar tona f odsviranog na bas blok flauti

Na sl. 7 prikazan je frekvencijski spektar tona f odsviranog na bas blok flauti. Sa sl. 7 se vidi da 5. harmonik ima veći intenzitet od 4. harmonika, 7. harmonik od 6. i 9. harmonik od 8. u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.



Slika 8: Frekvencijski spektar tona c odsviranog na bas in c blok flauti

Na sl. 8 prikazan je frekvencijski spektar tona c odsviranog na bas in c blok flauti. Sa sl. 8 se vidi da 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika i 5. harmonik od 4. u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

## VI. ZAKLJUČAK

Analizom rezultata merenja može se izvesti zaključak da: tonovi odsvirani na proučenim blok flautama imaju izraženije neparne harmonike od parnih u celom tonskom opsegu muzičkog instrumenta. U niskom registru izraženiji su viši neparni harmonici od viših parnih harmonika. U srednjem registru 3. harmonik ima znatno veći relativni nivo od 2. harmonika kod svih proučenih blok flauta [7]. U visokom registru tonskog opsega 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika kod garklajn, alt, tenor, bas i bas in c blok flaute i 5. harmonik ima veći intenzitet od 4. harmonika kod bas i bas in c blok flaute. To znači da muzički instrumenti koji pripadaju familiji blok flauta imaju frekvencijski spektar sličan klarinetu u niskom i visokom registru (klarinet je akustička cev zatvorena sa jedne strane zbog jezička od trske)[3] i frekvencijski spektar sličan flauti u srednjem registru (flauta je akustička cev otvorena na oba kraja zbog vazdušnog jezička)[4],[5],[6],[8].

## LITERATURA

- [1] Meyer J. : Acoustics and the Performance of Music – Frankfurt, 1978.
- [2] Rossing T. : *The Science of Sound* – Addison–Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1989.
- [3] Dickens P. , France R. , Smith J. and Wolfe J. : *Clarinet Acoustics: Introducing a Compendium of Impedance and Sound Spectra* – Acoustics Australia, Vol.35 April 2007 No.1 – 17
- [4] Coltman J. : *Jet offset, harmonic content and warble in the flute* – J. Acoust. Soc. Am. 120 (4), October 2006.
- [5] Coltman J.W. : *Mode stretching and harmonic generation in the flute* - J. Acoust. Soc. Am. 88, 2070-2073 (1990)
- [6] Coltman J.W. : *Sounding mechanism of the flute and organ pipe* J. Acoust. Soc. Am. 44, 983-992 (1968)
- [7] Fletcher N.H., Lorna Douglas: *Harmonic generation in organ pipes, recorders and flutes* - J. Acoust. Soc. Am. 68 (3), September 1980.
- [8] Wolfe J., Smith J., Tann J., Fletcher N.H. : *Acoustic Impedances of Classical and Modern Flutes* – Journal of Sound and Vibration, October 2000.
- [9] Fletcher N., Rossing T. : *The Physics of Musical Instruments* – Springer-Verlag, New York, 1998.
- [10] Krstić S., Drinčić D, Milošević M.: *Uporedna analiza frekvencijskog spektra blok flaute i dvodelne frule*, ETRAN Donji Milanovac, 2010.

## ABSTRACT

The study presents comparative frequency spectrum analysis between tones played on 7 different musical instruments that belong to the Recorder family. They are: Garklein, Sopranino, Soprano, Alto, Tenore, Basso and Basso in c Recorders. The research has been done to achieve the simple goal of finding main characteristics of the Recorder family musical instruments sound spectra and to establish if there are any similarities between them according to the fact that they belong to the same group of musical instruments. The same musician has played the whole range of two octaves on each musical instrument.. Duration of each tone is about 2 seconds and each tone has been analyzed separately.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RECORDER FAMILY MUSICAL INSTRUMENTS SOUND SPECTRA

Krstić Sonja, Drinčić Dragan, Milošević Mirko