

Analiza frekvencijskog spektra glave dvodelne C frule

Krstić V. Sonja, *Profesor, VŠER*, Drinčić G. Dragan, *Profesor, VŠER*, i Milošević B. Mirko, *Saradnik, VŠER*

Sadržaj — U radu je prezentovana uporedna analiza rezultata merenja dobijenih proučavanjem frekvencijskog spektra odsviranih tonova na dvodelnoj C fruli i frekvencijskog spektra odsviranih tonova na samoj glavi dvodelne C frule. Za potrebe eksperimenta korišćena je dvodelna C frula izrađena od drenovog drveta, unutrašnjeg prečnika $\Phi = 13$ mm. Za potrebe merenja su prvo na celoj fruli odsvirani tonovi osnovne i jedne preduvane oktave, velikim nivoom dinamike i pojedinačnim trajanjem tonova oko 2 sekunde. Zatim su na glavi frule odsvirani ton g^3 i ton g^4 u preduvanoj oktavi. Svaki ton je posebno analiziran. Rezultati su pokazali da frekvencijski spektar tonova odsviranih na glavi dvodelne frule ima izraženije harmonikene frekvencijski spektar istog tona odsviranog na celoj dvodelnoj fruli. Rezultati su pokazali i da je glava dvodelne frule preciznije intonirana nego cela frula kada joj se doda cev.

Ključne reči — frula, frekvencijski spektar

I. UVOD

GLAVA je najvažniji deo svakog drvenoduvačkog muzičkog instrumenta. Ako je dobro i precizno izrađena glava, onda i ceo instrument dobro zvuči. Prethodnu rečenicu ćete čuti od svakog velikog poznavaoća muzičkih instrumenata. Odatle se javila potreba da se ispita frekvencijski spektar tonova odsviranih samo na glavi dvodelne frule.

Kod jednoderne frule glava je sastavni deo muzičkog instrumenta i proučavanje glave podrazumeva proučavanje cele frule. Kod dvodelne frule glava je nezavistan deo instrumenta i može se nezavisno proučavati. Zahvaljujući činjenici da je glava nezavisna, dvodelne frule su konstrukciono savršenije i mogu se preciznije intonirati.

U ovom radu biće prikazana analiza frekvencijskog spektra svih tonova odsviranih na celoj dvodelnoj fruli, analiza frekvencijskog spektra tonova odsviranih samo na glavi dvodelne frule i uporedna analiza frekvencijskog spektra tona g^3 odsviranog i na celoj fruli i na glavi dvodelne frule.

II. METODOLOGIJA

Za snimanje je korišćena dvodelna C dur frula,

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).

napravljena od drenovog drveta, unutrašnjeg prečnika $\Phi = 13$ mm. Izabrana je sekvenca od 15 tonova C dur lestvice od c^2 do c^4 , odsviranih ujednačenim nivoom zvuka i ujednačenim trajanjem od 2 sekunde. Svaki od tonova analiziran je posebno. Zatim su na glavi frule odsvirani tonovi koji su se mogli dobiti. Ispostavilo se da su to tonovi g^3 i g^4 , što predstavlja 3. i 6. harmonik osnovnog tona c^2 ove frule. Drugim rečima: postoji osnovni harmonik glave frule i, preduvanjem dobijen, njegov drugi harmonik.

III. POSTAVKA MERENJA

Za potrebe merenja prvo su snimljeni tonovi osnovne i preduvane oktave na celoj C fruli. Nakon toga su snimljeni ton g^3 i preduvani ton g^4 na glavi iste frule. Druge tonove nije bilo moguće odsvirati sa potrebnom preciznošću.

Merenje je realizovano u audio studiju VŠER u Beogradu koji se koristi za mnoga snimanja i edukaciju studenata. Snimanje je urađeno u kontrolisanim uslovima (vreme reverberacije oko 0,4 s, radna temperatura oko 25 °C, vlaga mala, ambijentalna buka oko 30 dB). Studijski prostor je akustički obrađena prostorija (kosi zid, akustički obrađeni pod i tavanica). Frulaš 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 frule (30-tak cm ispred i 30-tak cm iznad izlaza cevi), kao što je uobičajeno kod snimanja drvenih duvačkih instrumenata. Na taj način je membrana mikrofona prikupila zvuk i sa donjeg kraja cevi frule i zvuk koji se emituje iz rupica frule. Snimanje je obavljeno pomoću softverskog paketa Nuendo. Analiza talasnih oblika i frekvencijskog spektra je urađena pomoću softverskog paketa Sound Forge 8.0 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 petnaest odsviranih tonova na celoj dvodelnoj fruli i dva odsvirana tona na glavi frule. 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 predstavljeni su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona c^2 , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona c^2 , odstupanje izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona c^2 i izmereni nivo pojedinih harmonika tona c^2 frule napravljene od drenovog drveta., unutrašnjeg prečnika $\Phi = 13$ mm. Dve kolone su obojene jer su u njima brojne vrednosti upotrebljene za pravljenje grafika zavisnosti nivoa slabljenja harmonika od frekvencije (sl. 1).

TABELA 1: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA FRULU NAPRAVLJENU OD DRENA UNUTRAŠNJEG PREČNIKA $\Phi = 13$ MM

harmonik	idealni odnos frekvencija f/f_0	izmerena frekvencija f_1 [Hz]	izmereni odnos frekvencija f/f_0	odstupanje Δf [Hz]	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	522	0.997	1.25	-48
2	2:1	1042	1.991	-4.5	-89.3
3	3:1	1564	2.989	-5.75	-67.4
4	4:1	2088	3.990	-5	-98.2
5	5:1	2616	3.088	-0.25	-86.6
6	6:1	3132	5.985	-7.5	-97.6
7	7:1	3640	6.956	-22.75	-89.8
8	8:1	4182	7.992	-4	-108.7
9	9:1	4698	8.978	-11.25	-92.8
10	10:1	5219	9.974	-13.5	-98.7

U tabeli 2 predstavljeni su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona g^3 , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona g^3 , odstupanje izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona g^3 i izmereni nivo pojedinih harmonika tona g^3 odsviranog na glavi frule napravljene od drenovog drveta., unutrašnjeg prečnika $\Phi = 13$ mm. Dve kolone su obojene jer su u njima brojne vrednosti upotrebljene za pravljenje grafika zavisnosti nivoa slabljenja harmonika od frekvencije (sl. 2).

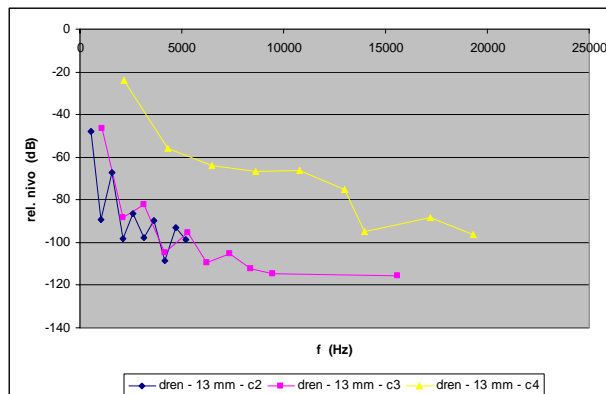
Na sl. 1 prikazano je slabljenje pojedinih harmonika odsviranih tonova c^2 , c^3 i c^4 na celoj dvodelnoj fruli, u zavisnosti od izmerene frekvencije. Može se zaključiti da slabljenje harmonika opada sa porastom frekvencije odsviranog tona.

TABELA 2: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON G^3 ODSVIRAN NA GLAVI FRULE NAPRAVLJENE OD DRENA

harmonik	idealni odnos frekvencija f/f_0	izmerena frekvencija f_1 [Hz]	izmereni odnos frekvencija f/f_0	odstupanje Δf [Hz]	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	1570	1.000	0.25	-21.5
2	2:1	3132	1.995	-7.5	-38
3	3:1	4716	3.004	6.75	-54.5
4	4:1	6273	3.996	-6	-55.3
5	5:1	7827	4.986	-21.75	-69.6
6	6:1	9407	5.992	-11.5	-61.2
7	7:1	10931	6.963	-57.25	-78.2
8	8:1	12512	7.970	-46	-65
9	9:1	14108	8.987	-19.75	-80.9
10	10:1	15612	9.945	-85.5	-88.2

U tabeli 3 predstavljeni su: izmerene frekvencije pojedinih harmonika tona g^4 , odnos izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona g^4 , odstupanje izmerene i idealne frekvencije pojedinih harmonika tona g^4 i izmereni nivo pojedinih harmonika tona g^4 odsviranog na glavi frule napravljene od drenovog drveta.,

unutrašnjeg prečnika $\Phi = 13$ mm. Dve kolone su obojene jer su u njima brojne vrednosti upotrebljene za pravljenje grafika zavisnosti nivoa slabljenja harmonika od frekvencije (sl. 2).

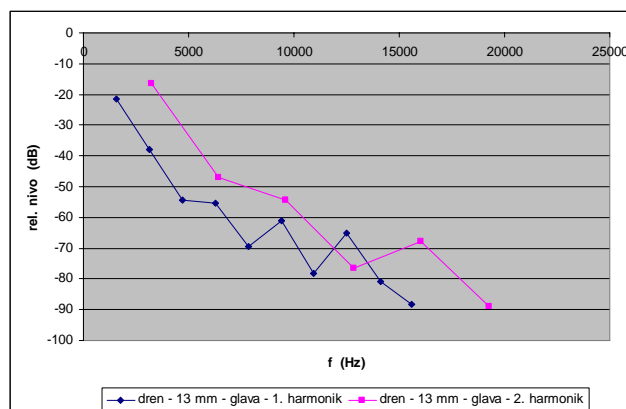


Slika 1: Zavisnost nivoa slabljenja harmonika za tonove c^2 , c^3 i c^4 (dren, $\Phi = 13$ mm)

TABELA 3: OSNOVNI REZULTATI MERENJA ZA TON G^4 ODSVIRAN NA GLAVI FRULE NAPRAVLJENE OD DRENA

harmonik	idealni odnos frekvencija f/f_0	izmerena frekvencija f_1 [Hz]	izmereni odnos frekvencija f/f_0	odstupanje Δf [Hz]	izmereni rel. nivo [dB]
1	1:1	3228	1.028	88.5	-16.4
2	2:1	6415	2.043	136	-46.9
3	3:1	9621	3.064	202.5	-54.2
4	4:1	12845	4.091	287	-76.6
5	5:1	16028	5.105	330.5	-67.9
6	6:1	19263	6.135	426	-89
7	7:1				
8	8:1				
9	9:1				
10	10:1				

Na sl. 2 prikazano je slabljenje nivoa pojedinih harmonika odsviranih tonova g^3 i g^4 na glavi dvodelne frule, u zavisnosti od izmerene frekvencije. Može se zaključiti da slabljenje harmonika opada sa porastom frekvencije odsviranog tona.



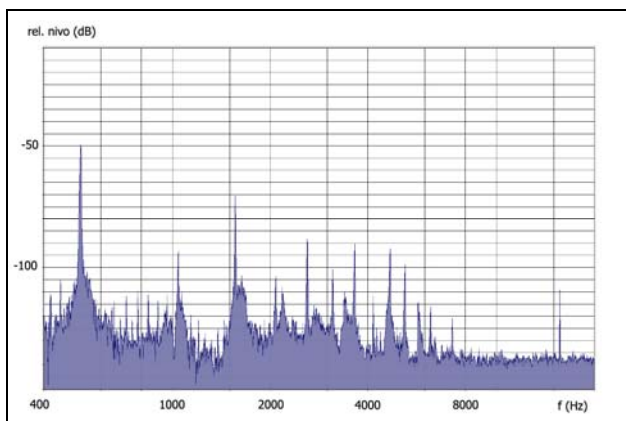
Slika 2: Zavisnost nivoa slabljenja harmonika za tonove g^3 i g^4 (dren – glava, $\Phi = 13$ mm)

Dinamički opseg tonova odsviranih na glavi dvodelne frule iznosi oko 5 dB, a dinamički opseg tonova odsviranih na celoj dvodelnoj fruli iznosi oko 27 dB.

V. SPEKTRALNI SADRŽAJ

Opseg osnovnih frekvencija tonova zadate sekvence prostire se od 523.25 Hz do 2093 Hz za idealno naštimovan muzički instrument (prema frekvenciji zvučne viljuške). Interesantno je da je broj harmonika za tonove odsvirane samo na glavi dvodelne frule veliki. Zato smo u radu prikazali frekvencijske spektre oba odsvirana tona.

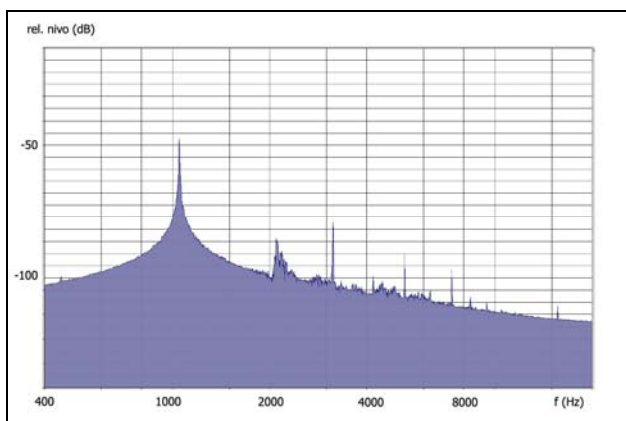
Na sl. 3 prikazan je frekvencijski spektar tona c^2 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli.



Slika 3: Frekvencijski spektar tona c^2 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli

Sa sl. 3 se vidi da 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika u niskom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

Na sl. 4 prikazan je frekvencijski spektar tona c^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli.



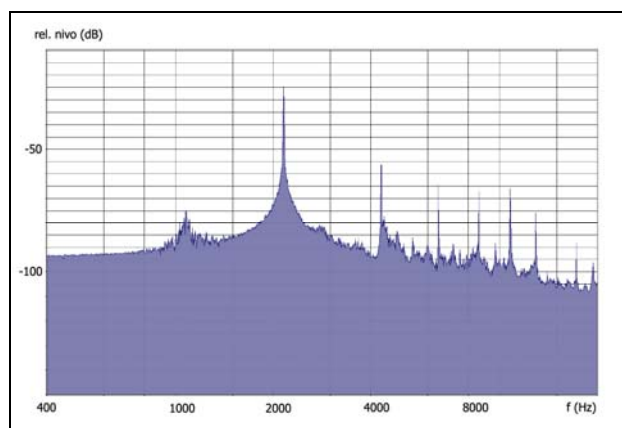
Slika 4: Frekvencijski spektar tona c^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli

Sa sl. 4 se vidi da 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika u srednjem registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

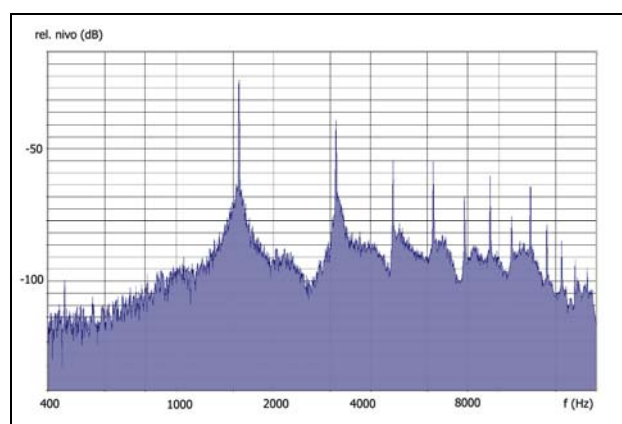
Na sl. 5 prikazan je frekvencijski spektar tona c^4 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli.

Sa sl. 5 se vidi da 3. harmonik nema veći intenzitet od 2. harmonika u najvišem registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.

Na sl. 6 prikazan je frekvencijski spektar tona g^3 odsviranog na glavi dvodelne frule.

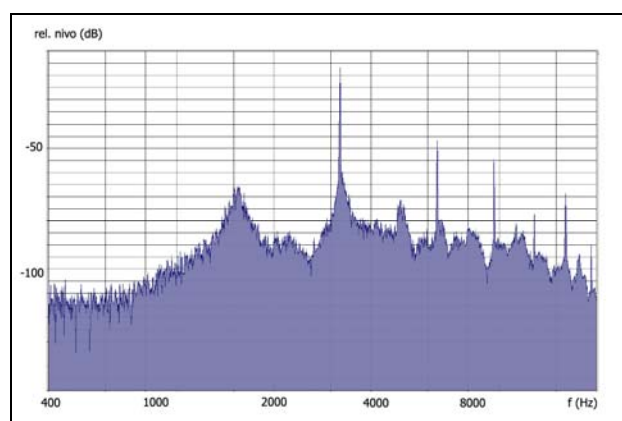


Slika 5: Frekvencijski spektar tona c^4 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli



Slika 6: Frekvencijski spektar tona g^3 odsviranog na glavi dvodelne frule

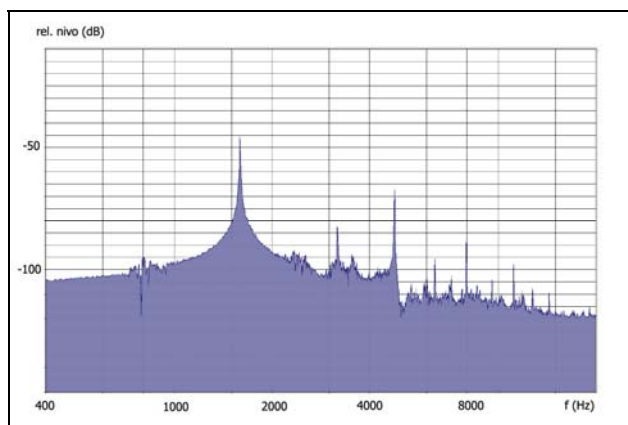
Na sl. 7 prikazan je frekvencijski spektar tona g^4 odsviranog na glavi dvodelne frule.



Slika 7: Frekvencijski spektar tona g^4 odsviranog na glavi dvodelne frule

Na sl. 8 prikazan je frekvencijski spektar tona g^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli.

Sa sl. 8 se vidi da 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika u visokom registru tonskog opsega muzičkog instrumenta.



Slika 8: Frekvencijski spektar tona g^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli

Sa sl. 6 i sl. 8 se vidi da je slabljenje harmonika veće za ton g^3 odsviran na celoj dvodelnoj fruli od slabljenja harmonika za ton g^3 odsviran samo na glavi dvodelne frule. Može se uočiti da 3. harmonik ima veći intenzitet od 2. harmonika u frekvencijskom spektru tona g^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli, dok je intenzitet 3. harmonika manji od intenziteta 2. harmonika u frekvencijskom spektru tona g^3 odsviranog samo na glavi dvodelne frule. Na osnovu frekvencije osnovnog harmonika tona g^3 odsviranog na celoj dvodelnoj fruli i tona g^3 odsviranog samo na glavi dvodelne frule može se uočiti da je glava frule bolje intonirana od cele frule.

VI. ZAKLJUČAK

Analizom rezultata merenja može se izvesti zaključak da: je glava frule zaista najvažniji deo ovog muzičkog instrumenta. Činjenica da je glava odvojeni deo od cevi frule omogućava precizno štimovanje muzičkog instrumenta naknadnim produžavanjem dužine celog instrumenta. Analiza rezultata merenja pokazala je da izradi glave frule treba pristupiti sa neobično velikom pažnjom jer će od preciznosti i kvaliteta izrade glave frule zavisiti sve tonske karakteristike celog muzičkog instrumenta. Slabljenje harmonika u frekvencijskom spektru tonova odsviranih na glavi frule manje je nego slabljenje harmonika tonova odsviranih na celoj fruli i njihova intonacija je preciznija. To ukazuje na činjenicu da dodavanje cevi na glavu frule prilikom uobličavanja celog muzičkog instrumenta, donekle pogoršava spektralne karakteristike cele dvodelne frule.

VII. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju svima koji su na bilo koji način pomogli tokom realizacije rada, pre svih g. Miloradu Mariću, bez čije dugogodišnje posvećenosti muzičkom instrumentu fruli i velikog strpljenja u usavršavanju i unapređivanju ovog instrumenta, većinu urađenih merenja ne bi bilo moguće sprovesti u delo.

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] Miklos A., Angster J., Rossing T. : Interaction of reed and resonator by sound generation in a reed organ pipe – J. Acoust. Soc. Am. 119(5), May 2006.
- [5] Coltman J. W. : *Effect of Material on Flute Tone Quality* - J. Acoust. Soc. Am. 49 (2), pp 520-523, 1971.
- [6] Angster J., Paal G., Garen W., Miklos A. : *The effect of Wall Vibrations on the Timbre of organ Pipes* – Proceedings of the 16th. Int. Congress on Acoustics and 135th JASA Meeting, Seattle, Vol. 3, pp 753- 754, 1998.
- [7] Andreas Miklos, Judit Angster, Stephan Pitch, Thomas Rossing: *Interaction of reed and resonator by sound generation in a reed organ pipe* – J. Acoust. Soc. Am. 119 (5), May 2006.
- [8] Botros A., Smith J., Wolfe J.: *The virtual Boehm flute – a web service that predicts multiphonics, microtones and alternative fingerings* – Acoustics Australia 30, 61-65 (2002)
- [9] Coltman J. : *Jet offset, harmonic content and warble in the flute* – J. Acoust. Soc. Am. 120 (4), October 2006.
- [10] Coltman J.W. : *Mode stretching and harmonic generation in the flute* - J. Acoust. Soc. Am. 88, 2070-2073 (1990)
- [11] Coltman J.W. : *Sounding mechanism of the flute and organ pipe* J. Acoust. Soc. Am. 44, 983-992 (1968)
- [12] Fletcher N.H., Lorna Douglas: *Harmonic generation in organ pipes, recorders and flutes* - J. Acoust. Soc. Am. 68 (3), September 1980.
- [13] Whitehouse J.W., D. B. Sharp, T. J. W. Hill : *Wall vibrations in musical wind instruments* – Acoustics Bulletin July/ Aug 2003.
- [14] Wolfe J., Smith J., Tann J., Fletcher N.H. : *Acoustic Impedances of Classical and Modern Flutes* – Journal of Sound and Vibration, October 2000.
- [15] Coltman J. W. : *Time domain simulation of the flute* – J. Acoust. Soc. Am. 92, 69-73 (1992)
- [16] Coltman J. W. : *Jet behavior in the flute* – J. Acoust. Soc. Am. 92, 74-83 (1992)
- [17] Coltman J. W. : *Jet drive mechanism in edge tones and organ pipe* – J. Acoust. Soc. Am. 60, 725-733 (1976)
- [18] Fletcher N., Rossing T. : *The Physics of Musical Instruments* – Springer-Verlag, New York, 1998.
- [19] Olson H. : *Music, Physics and Engineering* – New York, 1952.
- [20] Beranek L. : *Acoustics* – Massachusetts, 1954.
- [21] Beranek L., *Music, Acoustics, and Architecture* (Wiley, New York, 1962).
- [22] Benade A.: *Foundamentals of Musical Acoustics* – Oxford University Press, New York, 1976.

ABSTRACT

The study presents comparative frequency spectrum analysis between tones played on two-piece Serbian C flute and tones played on the solo head of the two-piece Serbian C flute. For the research purposes the two-piece Serbian C flute made of comel wood has been used. The inner radius of this flute is $\Phi = 13$ mm. The whole range of two octaves has been played on the two-piece Serbian C flute. Only tones g^3 and g^4 were possible to be played on the solo head of the musical instrument Duration of each tone is about two seconds and each tone has been analyzed separately. The analysis showed that sound spectrum of music tones played on two-piece Serbian flute has more intensive harmonics than sound spectrum of music tones played on the solo head of two-piece Serbian flute. The results of the analysis showed that the solo head of the two-piece Serbian flute is always better tuned than the two-piece Serbian flute itself. That is why while producing the head of the two-piece Serbian flute one has to deal with it with extra caution and carefulness.

FREQUENCY SPECTRUM ANALYSIS OF THE HEAD OF TWO-PIECE SERBIAN C-FLUTE
 Krstić Sonja, Drinčić Dragan, Milošević Mirko