

# Analiza akustičkog kardiosignala sa šumom u sistoli

Božo Tomas, Željko Rončević, Dalibor Miloš

**Sadržaj** — U ovom radu su analizirani akustički signali otkucaja srca djece bez srčanog šuma (Normal), sa bezazlenim srčanim Stilovim šumom (*Still*) i sa patološkim srčanim šumom Ventrikularnog Septalnog Defekta (VSD). Srce se posmatra kao izvor zvuka. Poznato je da postoje korelacije između zdravstvenog stanja srca i zvuka koji nastaje radom srca. Međutim, mali broj ljekara samo na osnovu slušne metode (auskultacije) može odrediti dijagnozu. U radu su prikazane spektralne kompozicije kardiosignala s fiziološkim i patološkim šumovima u sistoli kao i kardiosignala normalnog rada srca bez srčanog šuma.

**Ključne reči** — Auskultacija, Goertzel algoritam, kardiosignal, sistola, spektralna kompozicija kardiosignala.

## I. UVOD

Kardiosignali su kvaziperiodični signali veoma niskih frekvencija ponavljanja koji nastaju zbog protoka krvi kroz srčane strukture. Srce predstavlja izvor zvuka, živi instrument veoma promjenljivih struktura, a sam zvuk koji srce emitira sadržava informaciju o stanju zvučnog izvora odnosno zdravstvenog stanja srca. Deformacije tj. bolesti srca mijenjaju akustične rezonantne karakteristike srca pa su i akustički signali srca različiti kod zdravog srca i kod različitih srčanih deformacija. Prepoznavanje (dijagnoza) deformacije slušnim postupkom (auskultacijom) zahtijeva mnogo znanja i vještine od strane ljekara. Auskultacija stetoskopom je također otežana stoga što su srčani tonovi i šumovi uglavnom raspoređeni u području niskih frekvencija za koje ljudsko uho kao i stetoskop nisu najbolje prilagođeni.

Prilikom auskultacije sistola je vremenski period između prvog i drugog srčanog tona, a diastola period između drugog i prvog tona. Srčani šumovi se prema tim vremenskim intervalima dijele na sistoličke, diastoličke i kontinuirane. Svi srčani šumovi su posljedica turbulencije krvi. Jedini izuzetak je Stilov bezazleni šum koji nastaje zbog vibracija unutar lijeve komore srca. Ovisno postoje li ili ne patološke promjene u srcu šumovi se dijele na patološke i bezazlene (engl. *innocent*). Bezazleni srčani šumovi su po pravilu sistolički i to ejekcijski (krešendo-dekrešendo), nikada holosistolički. Ovi šumovi su česti u

dječjoj populaciji a najčešći bezazleni šum je muzikalni, vibracijski sistolički šum. Ovaj šum je prvi opisao poznati engleski pedijatar George Frederick Still (1868-1941) [1] te je po njemu i dobio ime. Postoje različita tumačenja o nastanku ovog šuma.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da ljekari pogrešno postavljaju dijagnozu srčanih šumova u djece. Tako se Stilov šum, koji je bezazlen, često pogrešno prepoznaje kao patološki. Zbog te greške se djeca u pravilu upućuju na dodatne kardiološke pretrage što rezultira povećanim troškovima zdravstvene zaštite i nepotrebnim strahom roditelja. Postoje dva načina da se stanje popravi:

- jedan način je da se poboljša i osavremeni edukacija studenata medicine i ljekara
- drugi je da se za prepoznavanje šumova koriste računala

Kako bi se stvorio preduslov za kompjutersko prepoznavanje srčanih šumova izradom odgovarajućih programskih paketa potrebne su detaljne analize srčanih tonova i šumova. Također potrebno je da se jasno odrede korelacije između pojedinih srčanih šumova s vremenskim i frekventnim parametrima kardiosignala. Ovi programi bi pomagali ljekarima u dijagnozi i pravilnoj kategorizaciji Stilovog šuma a naravno i ostalih šumova.

Ovaj rad je organiziran na slijedeći način. U poglavlju II je opisana metodologija snimanja kardiosignala te prikazi kardiosignala. U poglavlju III su prikazane frekventne kompozicije raspodjela spektralnih energija kardiosignala sa Stilovim šumom, VSD šumom te kardiosignala bez šuma – Normal. Također su prikazana poređenja frekventnih kompozicija Stilovog šuma i Normala te Stilovog šuma i VSD-a. U poglavlju IV je prezentirana analiza Stilovog šuma koja je urađena na 10 snimljenih kardiosignala sa Stilovim šumom. Prikazan je frekventni opseg 100-160 Hz u kojem je uglavnom raspoređena spektralna energija Stilovog šuma. U poglavlju V su dati finalni zaključci ovog rada.

## II. SNIMANJE I PRIKAZIVANJE KARDIOSIGNALA

Prilikom pregleda srca djece pacijenata kardiološke ambulante, od strane pedijatrijskog kardiologa, snimljeni su elektroničkim stetoskopom zvučni zapisi akustičkih aktivnosti srca u vremenskom trajanju 8 sekundi za svakog pacijenta. Djeca su svrstana u tri grupe: djeca bez srčanog šuma - Normal, djeca s fiziološkim bezazlenim šumom - *Still* i djeca s patološkim šumom povezanim s urođenom srčanom manom - VSD. Akustički signali srca su snimljeni elektroničkim stetoskopom ( Littmann 4000, 3M, Health Care, St. Paul, MN, SAD). Zvučni zapisi nalaza na srcu sa elektroničkog stetoskopa su pomoću IC porta prebačeni u PC u kojem je instaliran odgovarajući

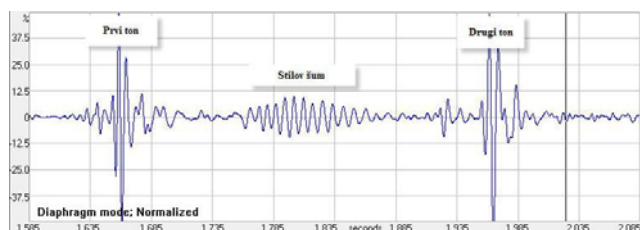
Božo Tomas, Fakultet strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru, BiH (telefon/faks: 00387 36 395 292; e-mail: [bozo.tomas@ht.ba](mailto:bozo.tomas@ht.ba)).

Željko Rončević, Sveučilišna Klinika Mostar, Zavod za kardiologiju, (e-mail: [zeljko.roncevic@mocable.ba](mailto:zeljko.roncevic@mocable.ba))

Dalibor Miloš, Unis Telekom d.d. Mostar, A. Starčevića 50, 8800 Mostar, BiH; (e-mail: [dalibor.milos@unistelekom.ba](mailto:dalibor.milos@unistelekom.ba))

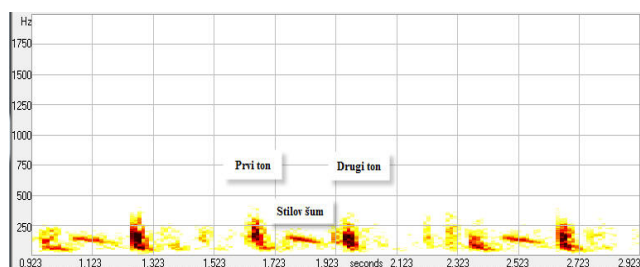
program za prihvatanje kardiosignala, memorisanje kao i vremenski i spektrogramski prikaz kardiosignala. Zvučni zapis je konvertiran u wav format i zatim dalje analiziran. Za tu svrhu je korišten 3M Littmann sound analysis software koji može da konvertira e4k u wav format (*waveform*) i da izrađuje spektrogram.

Na Sl. 1 je dat vremenski prikaz kardiosignala sa Stilovim šumom u sistoli. Prikazan je prvi ton, sistola u kojoj se događa Stilov šum te drugi ton. Na Sl. 2 je prikazan spektrogram Stilovog šuma.



Sl. 1. Vremenski prikaz Stilovog šuma

Posmatranjem vremenskih prikaza Stilovog šuma, a posebno nakon vremenskih i frekventnih analiza više kardiosignala sa Stilovim šumom može da se zaključi da je Stilov šum ustvari složeni ton, a ne šum. Stoga se za Stilov šum često u literaturi kaže da ima muzikalni prizvuk. Ustvari je Stilov šum muzikalna kratkotrajna ton najbližnji glisando tonu odsviranom na bas gitari [2].



Sl. 2. Spektrogram Stilovog šuma

Ako posmatramo Stilov šum u vremenu (Sl. 1) vidimo da je to složenoperiodičan signal koji počinje da titra sa završetkom istitravanja prvog srčanog tona i prestaje da titra prije početka drugog srčanog tona. Može da se uoči da mu je vremensko trajanje malo duže od polovine ukupnog vremena koliko traje sistola. Na spektrogramu na Sl. 2 je u jednoj sistoli označen Stilov šum, a također vidimo lijepo snimljen Stilov šum i u sistoli prije kao i u sistoli poslije označene.

### III. FREKVENTNA KOMPOZICIJA KARDIOSIGNALA SA SISTOLIČNIM ŠUMOM

Implementacija sistema za analizu kardiosignala podrazumijeva frekventnu transformaciju signala. Najčešće korištena transformacija za spektralnu analizu kardiosignala u dosad objavljenim radovima iz ove oblasti je FFT (Brza Fourierova transformacija) [3], [4], [5].

U ovom istraživanju za frekventnu transformaciju signala kao i za određivanje spektralne energije signala korišten je Goertzelov algoritam [6], [7], [8]. Gerald Goertzel (1920-2002) je 1958. iz diskretne Fourierove transformacije izveo ovaj algoritam i do sada se Goertzelov algoritam nikad nije primjenjivao za analizu

srčanih tonova i šumova. Goertzelov algoritam je ustvari realizacija slijedeće diferencne jednačine:

$$y_0 = x_0 + y_1 \times 2 \cos\left(\frac{2\pi m}{N}\right) - y_2 \quad (1)$$

$x_0$  je vrijednost tekućeg uzorka,  $y_0$  je vrijednost tekuće iteracije,  $y_1$  je vrijednost zadnje (prethodne) iteracije, a  $y_2$  je vrijednost predzadnje iteracije,  $m$  je koeficijent ugađanja odsječka frekventne domene, a  $N$  je veličina bloka uzoraka.

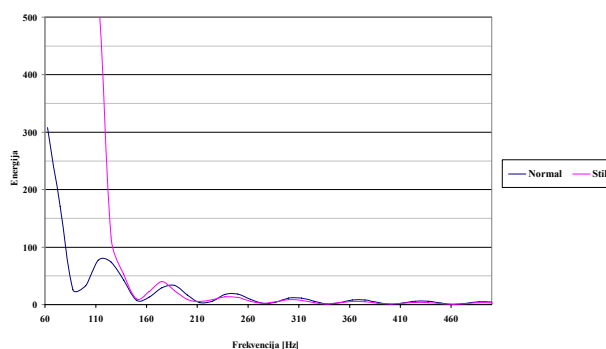
Uzorci signala se procesiraju uzorak po uzorak i učitavaju u jednačinu (1), tj. jednačina će da se rješava metodom korak po korak. Procesiranje se obavlja nad blokom podataka duljine  $N$ . Nakon prolaska svih  $N$  uzoraka kroz jednačinu (1), koristi se formula (2) za određivanje spektralne energije kardiosignala na frekvenciji na koju će promatrana ćelija da bude podešena.

$$E_m = y_1^2 + y_2^2 - 2y_1y_2 \cos\left(\frac{2\pi m}{N}\right) \quad (2)$$

Kako bi Goertzelove ćelije podesili na željene frekventne opsege potrebno je da se odrede početni parametri prije same realizacije.

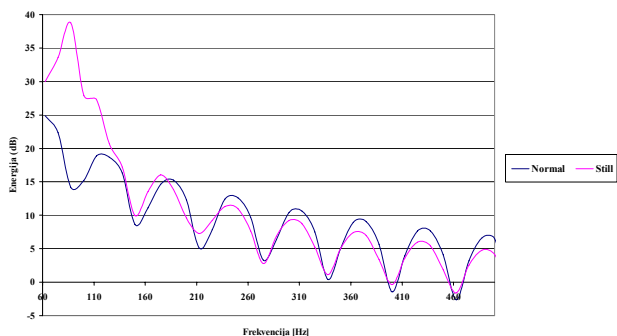
Raspodjele spektralnih energija kardiosignala sa šumom u sistoli urađene su sa različitim rezolucijama kako bi se odredila optimalna frekventna rezolucija i dužina bloka uzoraka  $N$ . Kako stetoskop može da snima s frekvencijom uzorkovanja  $f_u=8000\text{Hz}$ , s Goertzelovom transformacijom za dužinu bloka uzoraka  $N=320$  će da se dobije frekventna rezolucija 25 Hz. Preklapanjem frekventnih binova 50% tj. odabirom koeficijenata ugađanja frekvencija  $m$  će da se dobije frekventna rezolucija 12,5 Hz.

Na Sl. 3 i Sl. 4 je prikazana frekventna kompozicija kardiosignala sa Stilovim šumom i kardiosignala bez šuma –Normal. Na Sl. 3 su vrijednosti spektralne energije date u apsolutnim iznosima dok je na Sl. 4 spektralna energija izražena u dB ( $10 \log E_{\text{aps}}$ ). Također na Sl. 5 i Sl. 6 vrijednosti spektralnih energija prikazanih kardiosignala su izražene u dB.



Sl. 3. Raspodjela spektralnih energija Stilovog šuma i Normala u apsolutnim vrijednostima

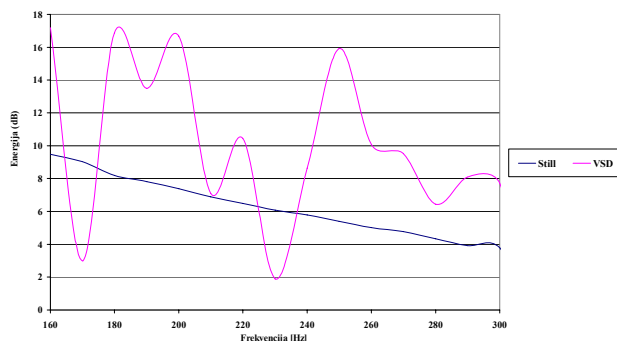
Frekventna rezolucija od 12,5 Hz može da se primjeni kod ove komparacije raspodjele energija kako bismo s određenom tačnošću mogli odrediti frekventni opseg koji je bitan za analizu pojedinog šuma.



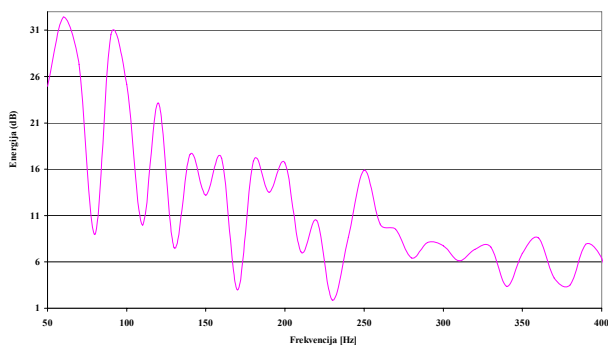
Sl. 4. Raspodjela spektralnih energija Stilovog šuma i Normala u jednoj sistoli (dB)

Na Sl. 5 je prikazana frekventna kompozicija kardiosignala sa Stilovim šumom i kardiosignala sa VSD šumom dok je na Sl. 6 prikazana raspodjela spektralne energije VSD šuma na širem frekventnom opsegu.

S frekvencijom uzorkovanja  $f_u=8000\text{Hz}$  i za dužinu bloka uzoraka  $N=400$  dobiva se frekventna rezolucija 20 Hz. Preklapanjem binova 50% tj. odabirom koeficijenta ugađanja frekvencija  $m$  dobiva se frekventna rezolucija 10 Hz. Za odabrani broj uzoraka  $N=320$  trajanje vremenskog okvira će da bude 40 ms, dok će blok od  $N=400$  uzoraka da traje 50 ms. Cilj je da se odrede dužina bloka uzoraka  $N$  i frekventna rezolucija kod spektralne analize kardiosignala. Vremenski okviri trebaju biti kraći i frekventna rezolucija treba biti manja od 10 Hz.



Sl. 5. Raspodjela spektralnih energija Stilovog šuma i VSD-a u jednoj sistoli



Sl. 6. Raspodjela spektralne energije VSD-a

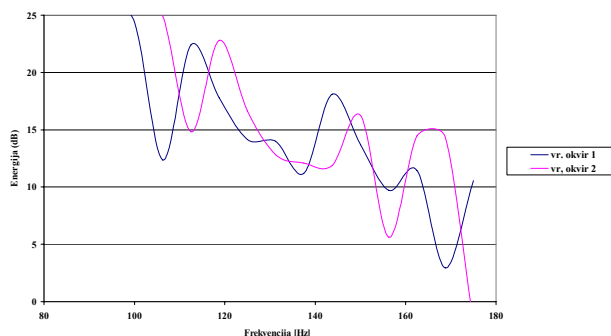
Vidimo sa Sl. 6 da je spektralna energija VSD šuma haotična krivulja tj spektralna energija VSD šuma je haotično raspoređena na širem frekventnom opsegu 10-

500 Hz. Vidljivo je na osnovu frekventne kompozicije VSD kardiosignala u sistoli da je to širokopojasni signal po strukturi blizak signalu šuma. Poređenje frekventnih kompozicija Stilovog šuma i Normala nam govori da je spektralna energija Stilovih prizvuka skoncentrisana u frekventnom opsegu 100-160 Hz. Možemo zaključiti da poređenjem spektralnih energija u izdvojenim sistolama kardiosignala možemo prepoznati sistolički šum odnosno da li je kardiosignal normalan tj. bez šuma u sistoli.

#### IV. ANALIZA PRIZVUKA U STILOVOM ŠUMU

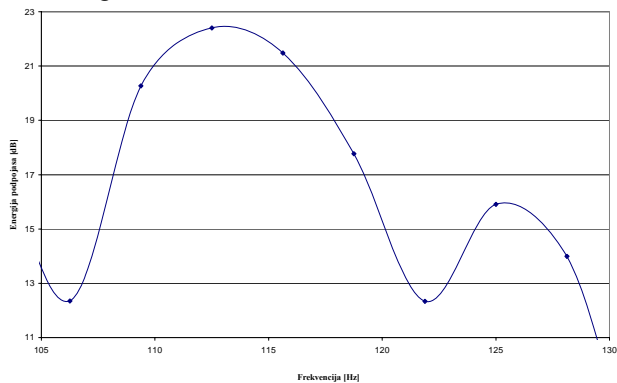
Na 10 snimljenih kardiosignala sa Stilovim šumom je određivana frekvencija i frekventni opseg Stilovog prizvuka. Pomoću spektrograma za svaki kardiosignal je određeno vrijeme trajanja odabrane sistole i za taj izdvojeni vremenski interval (ručno izdvojen) rađena je spektralna analiza. Na osnovu te analize je dobiveno da se prizvuci Stilovog šuma nalaze u frekventnom opsegu 100-160 Hz, dok je prosječni frekventni opseg šuma oko 35Hz. Najčešće su situacije da imamo jedan prizvuk koji s vremenom nestaje ili ponekad imamo dva značajna prizvuka koji također s vremenom nestaju jer Stilov šum traje malo duže od pola sistole. Frekvencija prizvuka je frekvencija na kojoj Stilov šum ima maksimalnu energiju (vrh krivulje – Sl.8) i u većini slučajeva je između 110 i 130 Hz. Frekventni opseg ( $B=f_{\max}-f_{\min}$ ) je određivan tako da se određivala frekvencija na kojoj prizvuk pada na pola snage  $f_{\min}$  (lijevo od vrha) i  $f_{\max}$  (desno od vrha). Za Stilov šum sa dva prizvuka  $f_{\min}$  je lijevo od prvog vrha a  $f_{\max}$  desno od drugog vrha.

Na Sl. 7 je prikazana spektralna energija dva uzastopna vremenska okvira na jednoj izdvojenoj sistoli u kojoj je izražen Stilov šum. Preklapanje u vremenu je 50% odnosno pomjeranje po diskretnoj vremenskoj osi je 160 uzoraka. Goertzelova transformacija je rađena za dužina bloka uzoraka  $N=320$  a koeficijenti ugađanja (namještanja) frekvencija  $m$  će da budu podešeni tako da preklapanje frekventnih binova bude 75% odnosno tako da se dobiva frekventna rezolucija 6,25 Hz. Stilovi prizvuci su na frekventnom opsegu 100-160 Hz. Ako se vremenski ne odmaknemo malo od prvog tona ili ako analiziramo vremenski interval na kraju sistole imaćemo energiju na nižim frekvencijama od 100 Hz zbog istitravanja prvog tona odnosno utitravanja drugog tona i nećemo najbolje uhvatiti Stilov prizvuk. Still počinje titrati na početku sistole odmah nakon kraja prvog tona i prestaje nešto prije početka drugog tona i to je vremenski interval na kojem treba raditi njegovu spektralnu analizu.



Sl. 7. Stilov šum u dva vremenska okvira

Na Sl. 8 je prikazana raspodjela spektralne energija prizvuka s frekventnom rezolucijom 3,125 Hz. Na osnovu iznesenog može da se zaključi kako su prizvuci u Stilovom šumu realni muzički tonovi a sam Stilov šum je dakle zvuk koji je sastavljen od jednog ili dva tona i ti tonovi tokom trajanja Stilovog šuma osciliraju u frekvenciji. Stilov prizvuk počinje s titranjem na višoj frekvenciji i ta frekvencija opada kako on istitrava. Ta promjena (klizanje) frekvencije podsjeća na glisando ton odsviran na gitari.



Sl. 8. Raspodjela spektralne energije Stilovog prizvuka

Također Stilov prizvuk tokom svog kratkog trajanja oscilira i po amplitudi. Već je spomenuto da je Stilov šum ejekcijski (krešendo – dekrešendo) a to može da se vidi na vremenskom prikazu Stilovog šuma. Dakle Stilov prizvuk počinje da svira tiho pa se pojačava i najglasniji je na svojoj sredini i zatim se postepeno stišava i prestaje. Sve ovo se događa u sistoli. Stilov šum počinje na početku sistole, „svira“ nešto duže od pola sistole i nestaje do sljedeće sistole.

#### V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su analizirane sistole kardiosignala, a naglasak je na analizi sistola u kojima je izražen Stilov šum. Normalni signal bez šuma - Normal i signal sa VSD šumom su komparirani sa Stilovim šumom kako bi se na osnovu tih komparacija odredile karakteristike Stilovog šuma. Svrha uvođenja Goertzelovog algoritma kod frekventne analize digitalnog kardiosignala je određivanje raspodjele spektralne energije na željenim frekventnim opsezima sa zadovoljavajućom frekventnom rezolucijom. Zatim poređenjem frekventnih raspodjela Stilovog šuma s VSD-om i sa Normalom određujemo frekventni opseg koji je bitan za prepoznavanje Stilovog šuma. Kod prepoznavanja Stilovog šuma potrebno je skenirati frekventni opseg 95-170 Hz na vremenskim intervalima izdvojenih sistola. Na osnovu urađenih analiza može da se donese zaključak kako je Stilov šum složen zvuk od jednog ili dva muzička tona (prizvuka) koji osciliraju po frekvenciji i amplitudi. Centralne frekvencije prizvuka su uglavnom u opsegu 110-130 Hz. Osciliranje, odnosno klizanja centralnih frekvencija prizvuka u sistoli su u opsegu 5 Hz dok su promjene amplituda izraženije. Frekventni opseg prizvuka u jednoj sistoli je oko 30 Hz.

Cilj ovog istraživanja je da se odredi na koje parametre kardiosignala i u kolikoj mjeri utiče Stilov šum kako bi se ljekarima pomoglo kod prepoznavanja ovog bezazlenog šuma i tako izbjegli nepotrebni troškovi i stres zbog dodatnih kardioloških pregleda.

#### Literatura

- [1] GF. Still, Common disorders and diseases of childhood, 1<sup>st</sup> ed. London: Frowde, Hodder & Stoughton, 1909.
- [2] Ž. Rončević, “Music from the heart-in praise of auscultation”, Interview by Keith Barnard, Circulation 2007; 116: f 81-2. <http://circ.ahajournals.org/cgi/reprint/116/14/F79.pdf> [accessed, July 23, 2009]
- [3] G. Curt DeGross, S. Bhatikar, J. Hertzberg, R. Shandas, L. Valdes-Cruz and I. Roop. Mahajan, “Artificial Neural Network- Based Method of Screening Heart Murmurs in Children”, Circulation 2001, 103, 2711-2716
- [4] M. El-Segaier, O. Lilja, S. Lukkarinen, L. Sornmo, R. Sepponen and E. Pesonen, “Computer-Based Detection and Analysis of Heart Sound and Murmur”, Annals of Biomedical Engineering, Vol.33, No. 7, July 2005, pp. 937-942 <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/103/22/2711> [accessed, July 23, 2009]
- [5] A. L. Noponen, S. Lukkarinen, A. Angela and R. Sepponen, “Phono-Spectrographic Analysis of Heart Murmur in Children”, BMC Pediatrics 2007, 7 <http://www.biomedcentral.com/1471-2431/7/23> [accessed, July 23, 2009]
- [6] B. Tomas i M. Obad, “Analiza govornog signala Goertzel Algoritmom”, XVI Telecommunications Forum-TELFOR 2008, Beograd, Novembar 25-27, 723-726
- [7] B. Tomas and M. Obad, “Formant Vowel Structure Tracking by Goertzel Algorithm”, The Fourth International Conference on Digital Telecommunications ICDDT 2009, July 20-25, Colmar, France
- [8] B. Tomas and Ž. Rončević, “Spectral Analysis of Heart Murmurs in Children by Goertzel Algorithm”, The First International Conference on Creative Technologies CONTENT 2009, November 15-20, 2009 Athens/Glyfada, Greece (unpublished)

#### ABSTRACT

In this paper acoustic heart beat signals in children without heart murmur (Normal), with innocent Still murmur (Still) and with pathologic heart murmur of Ventricular Septal Defect (VSD) were analyzed. Heart is a source of sound. It is well known that there are correlations between the health state of the heart and the sound produced by its beating. However, very few physicians can establish medical diagnosis just by auscultation. Spectral compositions of cardio signal with physiologic and pathologic murmurs in systole, as well as the cardio signal of normal heart beat without heart murmur are shown in the paper.

#### ANALYSIS OF ACOUSTIC CARDIOSIGNAL WITH SYSTOLIC MURMUR

Božo Tomas, Željko Rončević, Dalibor Miloš