

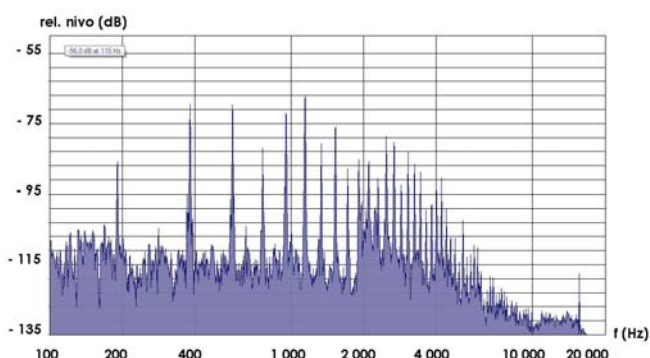




### III. REZULTATI MERENJA

Dobijene rezultate merenja prikazali smo tabelarno i grafički. Na sl. 4 prikazan je frekventijski spektar tona g. Sa slike se može uočiti da nivo osnovnog harmonika nema najveću vrednost u spektru, već je za oko 16 dB manji od nivoa 2. i 3. harmonika. To je uslovljeno veličinom korpusa violine u odnosu na talasnu dužinu tona g. Korpus nije dovoljno veliki da bi osnovni harmonik mogao da se maksimalno razvije.

Za karakteristiku usmerenosti u horizontalnoj ravni značajan je osnovni harmonik na niskim frekvencijama. Na visokim frekvencijama značajni su samo viši harmonici koji definišu boju tona. Iz toga proizilazi da se karakteristika usmerenosti menja ne samo sa promenom nivoa osnovnog harmonika, već i sa promenom boje tona, odnosno promenom nivoa i rasporeda u spektru viših harmonika [4],[5]..



Sl. 4. Prikaz frekventijskog spektra tona g

U tabeli 1 date su brojne vrednosti za izabrane uglove u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala violine za ton g u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.5. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 0°, 60°, 180° i 300° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB. Smatra se da je

TABELA I  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON G U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

g	f = 196.00 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	77.4	70.9	74.5	72.6	73.2	70.8	76.5	71.9	71.3	69.8	77.2	70.5
odstupanje [dB]	0	6.5	2.9	4.8	4.2	6.6	0.9	5.5	6.1	7.6	0.2	6.9

poreklo slabljenja nivoa signala kod violine najverovatnije posledica korpusa samog izvođača, dok je slabljenje do 10 dB prouzrokovano samim instrumentom [2],[6],[7].

U tabeli 2 date su brojne vrednosti izabranih uglova u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala iz violine za ton c<sup>1</sup> u trenucima

kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.6. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 240°, 270°, 300° i 330° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB.

TABELA II  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON C<sup>1</sup> U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c <sup>1</sup>	f = 261.63 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	74.8	74.9	73.9	66.8	73.8	75.5	75.4	75.8	78.5	79.5	77.2	76.8
odstupanje [dB]	4.7	4.6	5.6	12.7	5.7	4.0	4.1	3.7	1.0	0	2.3	2.7

U tabeli 3 date su brojne vrednosti izabranih uglova u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala iz violine za ton g<sup>1</sup> u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.7. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 0°, 30°, 60°, 300° i 330° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB.

U tabeli 4 date su brojne vrednosti izabranih uglova u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala iz violine za ton c<sup>2</sup> u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.8. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 0°, 30°, 60°, 120° i 300° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB.

U tabeli 5 date su brojne vrednosti izabranih uglova u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala iz violine za ton g<sup>2</sup> u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja

TABELA III  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON G<sup>1</sup> U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

g <sup>1</sup>	f = 392.00 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	77.2	75.9	75.4	72.8	72.7	70.5	68.7	67.9	70.5	71.8	75.4	77.1
odstupanje [dB]	0	1.3	1.8	4.6	4.5	6.7	8.5	9.3	6.7	5.4	1.8	0.1

zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.9. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 180°, 210° i 270° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB. Za

vrednosti ugla od 90° i 150° slabljenje premašuje 10 dB.

TABELA IV  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON C<sup>2</sup> U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c <sup>2</sup>	f = 523.25 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	79.8	81.5	81.2	77.9	78.2	77.5	72.3	72.5	77.9	77.8	78.5	77.9
odstupanje [dB]	1.7	0	0.3	3.6	2.7	4.0	9.2	9.0	3.6	3.7	3.0	3.6

TABELA V  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON G<sup>2</sup> U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

g <sup>2</sup>	f = 783.99 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	66.5	71.1	69.0	64.8	68.2	65.3	74.4	76.2	72.5	73.5	68.9	68.7
odstupanje [dB]	9.7	5.1	7.2	11.4	8.0	10.9	1.8	0	3.7	2.7	7.3	7.5

U tabeli 6 date su brojne vrednosti izabраниh uglova u horizontalnoj ravni (izražene u stepenima), relativni nivoi emitovanog zvučnog signala iz violine za ton c<sup>3</sup> u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja zvuka iz violine i odstupanja nivoa od maksimalne izmerene vrednosti za odsvirani ton. Preostale vrednosti uglova u horizontalnoj ravni i relativni nivoi emitovanog zvuka prikazani su grafički na sl.10. Iz tabele se vidi da je u oblastima uglova od 0° i 90° slabljenje manje od 3 dB dok je za ostale vrednosti uglova slabljenje manje od 10 dB.

Na sl. 5 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton g u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da je karakteristika pretežno omnidirekionalna, ali da postoji manji intenzitet izračenja zvuka u opsegu uglova 15° do 40°, 120° do 140°, 200° do 250°, 270° do 280°, 310° do 330° i do 7.6 dB.

Na sl. 6 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton c<sup>1</sup> u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da je karakteristika pretežno omnidirekionalna, ali da postoji manji intenzitet izračenja zvuka u opsegu uglova 5° do 15°, 90° do 100°, 120° do 130°, 210° do 220°, 230° do 240° i do 12.7 dB.

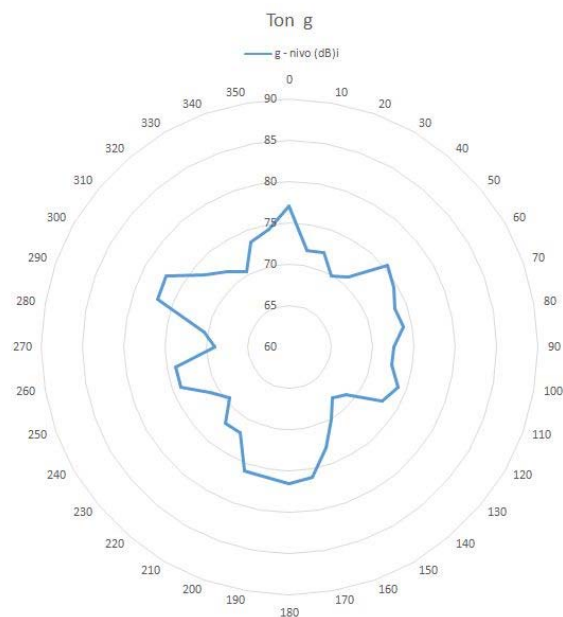
TABELA VI  
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON C<sup>3</sup> U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c <sup>3</sup>	f = 1046.50 Hz											
ugao [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
rel. nivo [dB]	72.3	71.9	71.8	75.2	69.9	68.9	70.2	68.8	66.9	67.8	65.8	66.9
odstupanje [dB]	2.9	3.3	3.4	0	8.3	6.3	5.0	6.4	8.3	7.4	9.4	8.3

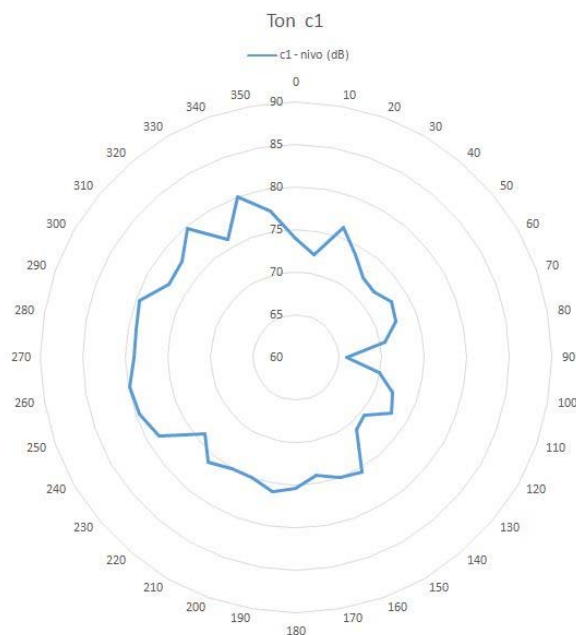
Na sl 7 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton g<sup>1</sup> u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da postoji povećanje nivoa izračenja zvuka u opsegu uglova od 320° do 80° i do 8.0 dB.

Na sl. 8 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton c<sup>2</sup> u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da postoji

povećanje nivoa izračenja zvuka u opsegu uglova od 280° do 120° i do 9.2 dB.



Sl. 5. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton g u horizontalnoj ravni

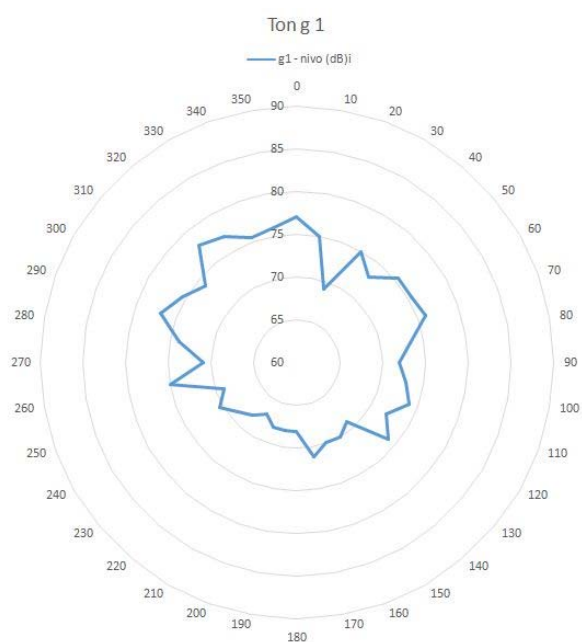


Sl. 6. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton c<sup>1</sup> u horizontalnoj ravni

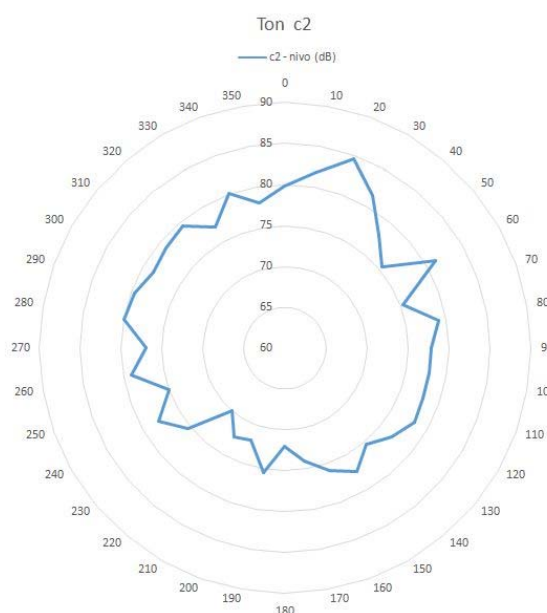
Na sl. 9 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton g<sup>2</sup> u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da je karakteristika veoma usmerena u području uglova 30° do 34°, 160° do 190°, 250° do 270°, a da postoji izraženiji pad nivoa izračenja zvuka u području uglova od 70° do 140° i 280° do 5° i do 11.4 dB.

Na sl. 10 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton c<sup>3</sup> u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da je karakteristika veoma usmerena u području uglova od 0° do 10°, 75° do 95°, 125° do 135°, 280° do 290°, a da postoji

izraženiji pad nivoa izračenja zvuka u opsegu uglova 15° do 40°, 115° do 125°, 150° do 270°, 295° do 0° i do 9.4 dB.



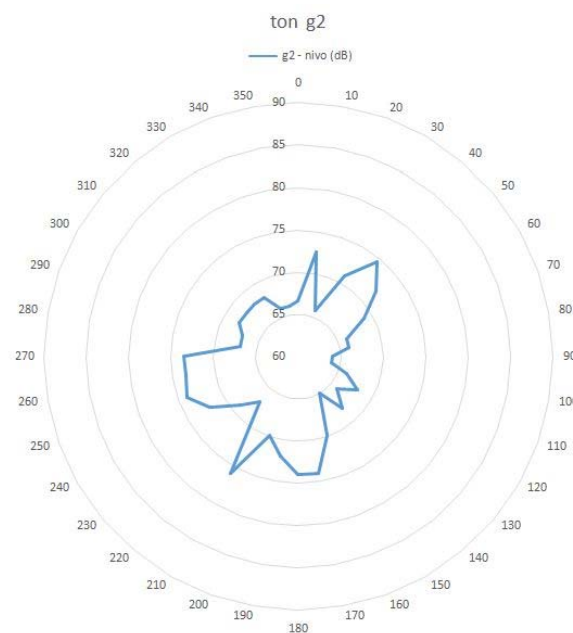
Sl. 7. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton  $g^1$  u horizontalnoj ravni



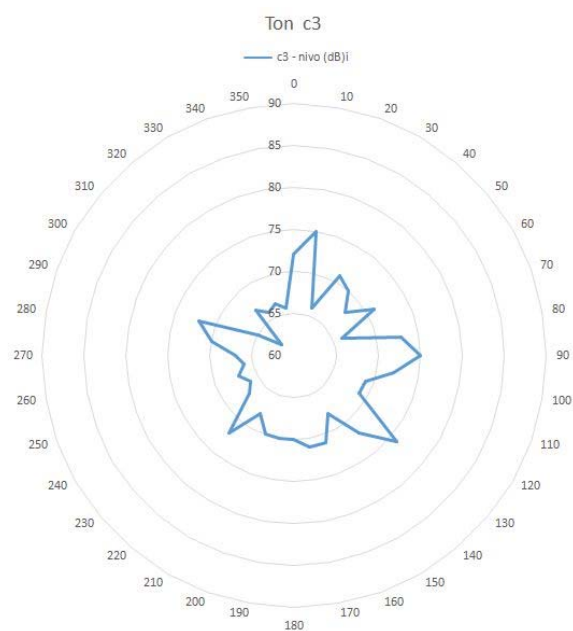
Sl. 8. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton  $c^2$  u horizontalnoj ravni

Sa sl. 5, 6, 7 i 8 vidi se da su relativni nivoi emitovanog zvučnog signala violine veći za frekvencije oko 250 Hz i oko 500 Hz u odnosu na frekvencije oko 200 Hz i 400 Hz i do 4 dB u horizontalnoj ravni.

Sa sl. 9 i 10 vidi se da su karakteristike usmerenosti veoma usmerene za navedene opsege uglova na frekvencijama oko 800 Hz i 1000 Hz.



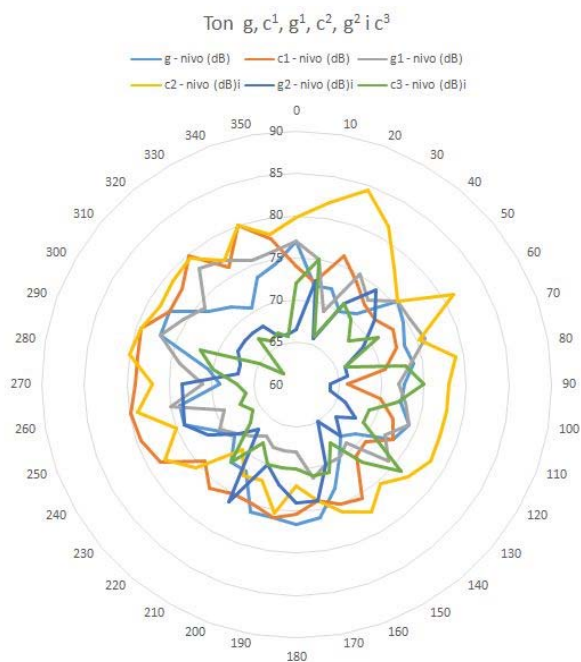
Sl. 9. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton  $g^2$  u horizontalnoj ravni



Sl. 10. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton  $c^3$  u horizontalnoj ravni

Na sl. 11 prikazane su karakteristike usmerenosti za sve snimljene tonove:  $g$ ,  $c^1$ ,  $g^1$ ,  $c^2$ ,  $g^2$  i  $c^3$  violine u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da karakteristika za ton  $c^2$  (525.23 Hz) ima najizraženije izračenje zvuka u području uglova naspram korpusa violine od svih preostalih karakteristika.

Faktor napred - nazad smo proračunali za vrednosti nivoa zvuka u opsegu uglova od  $0^\circ \pm 10^\circ$  i  $180^\circ \pm 10^\circ$  [2]. Najveću vrednost ima za karakteristiku usmerenosti tona  $c^2$  ( $f = 523.25$  Hz) i iznosi 7.5 dB.



Sl. 11. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za tonove  $g$ ,  $c^1$ ,  $g^1$ ,  $c^2$ ,  $g^2$  i  $c^3$  u horizontalnoj ravni

#### IV. ZAKLJUČAK

Emisija zvuka violine nastaje usled oscilovanja gornje i donje rezonantne ploče violine i usled emisije iz  $f$  otvora na gornjoj rezonantnoj položi korpusa. Ti  $f$  otvori su malih dimenzija u odnosu na talasnu dužinu izračenih tonova niskog registra violine (ton  $g$  ima frekvenciju 196.00 Hz, što je talasna dužina oko 1.7 m), ali ne previše mali za tonove visokog registra violine (ton  $c^3$  ima frekvenciju 1046.5 Hz, što je talasna dužina oko 0.34 m). Za niski registar violine emisija zvuka iz  $f$  otvora je najznačajnija. U srednjem i visokom registru značajna je i emisija zvuka usled rezonancije gornje i donje ploče korpusa instrumenta. Pod ovim okolnostima karakteristika usmerenosti violine je, teorijski, omnidirekionalna za niske frekvencije, a kardiodnog oblika usmerenog naspram korpusa violine za srednje frekvencije. Za frekvencije oko 1000 Hz karakteristika usmerenosti postaje značajno usmerena u opsegu uglova  $15^\circ$  do  $40^\circ$ ,  $115^\circ$  do  $125^\circ$ ,  $150^\circ$  do  $270^\circ$ ,  $295^\circ$  do  $0^\circ$ .

Analiza dobijenih rezultata merenja urađenih u studijskim uslovima pokazala je da odstupanja u odnosu na merenja u anehoičnoj laboratoriji nisu značajna:

- za tonove  $g$ ,  $c^1$ ,  $g^1$  i  $c^2$ , u opsegu frekvencija od oko 200 Hz do 500 Hz, nivo fundamentala raste sa porastom frekvenci

je i karakteristika ima pretežno omnidirekionalni oblik;

- za tonove  $g^2$  i  $c^3$ , za opseg frekvencija od oko 750 Hz do 1000 Hz, karakteristika postaje usmerena.

Iz rezultata merenja (sa sl. 5, 6, 7, 8, 9 i 10) može se uočiti da dobijene karakteristike usmerenosti jesu približno omnidirekzione za niske frekvencije, u niskom registru violine. Takođe se može uočiti da su dobijene karakteristike usmerenosti približno kardiodne za niske srednje frekvencije, u srednjem opsegu violine. Poklapanja sa rezultatima iz literature dobili smo i za frekvencije oko 1000 Hz. Emitovani tonovi srednjih frekvencija poseduju veći relativni nivo od tonova niskih i visokih frekvencija.

Postojeća odstupanja od idealno omnidirekionalne i idealno kardiodne krive respektivno za različite frekvencije tonova su, najverovatnije, posledica uslova merenja: pobuda je bila prirodna, samim tim ne i idealna.

#### LITERATURA

- [1] L. Beranek, *Acoustics*, Cambridge, England, 1993.
- [2] N. Fletcher, T. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, Springer Verlag, New York, U.S.A., 1998.
- [3] J. Meyer, *Acoustics and the Performance of Music*, Springer Science-Business Media, LLC, New York, U.S.A., 2009
- [4] F. Everest, *Master Handbook of Acoustics*, McGraw Hill, New York, U.S.A., 2001.
- [5] B. Gibson, *Microphones & Mixers*, Hall Leonard, New York, U.S.A., 2007.
- [6] H. Olson, *Music, Physics and Engineering*, Dover Publications, New York, U.S.A. 1967.
- [7] T. Rossing, *The Science of Sound*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, U.S.A., 1878.

#### ABSTRACT

In this paper the directional characteristics of the violin are described. Measurements were done in Audio studio of The School of Electrical and Computer Engineering, with measure instrument NTI XL2. The measuring microphone is built in this instrument, type M4260. The instrumentalist was placed on the rotation plate. The rotating speed of the plate is 10 rotation per minute. The directional characteristics were measured in horizontal plane. The chosen frequency bend-with is third octave. Measurement results are described in tables and charts.

#### Measuring and analyzing directional characteristics of the violin

Sonja Krstić, Mirko Milošević, Nemanja Janković