

Merenje i analiza karakteristika usmerenosti violine

Sonja Krstić, Mirko Milošević, Nemanja Janković

Apstrakt— U radu smo prikazali merenje karakteristika usmerenosti violine. Merenje smo obavili u audio studiju Visoke škole elektrotehnike i računarstva mernim uređajem NTI XL2 sa ugrađenim mernim mikrofonom M4260. Violinu je svirao instrumentalista postavljen na rotaciono postolje. Brzina obrtanja postolja je 30%/s. Karakteristike usmerenosti smo izmerili u horizontalnoj ravni. Širina izabranog frekvencijskog opsega je tercnooktavna. Rezultate merenja smo prikazali tabelarno i grafički.

Ključne reči— Karakteristika usmerenosti; frekvencijski opseg; horizontalna ravan; rotaciono postolje.

I. UVOD

DA bi se zvučni izvor opisao u potpunosti, pored frekvencijskih i tonalnih karakteristika potrebno je ispitati i karakteristike usmerenosti na relevantnim frekvencijama. Pojedini zvučni izvori emituju zvuk u svim pravcima u prostoru i nisu usmereni. Drugi mogu biti veoma usmereni. To zavisi od veličine zvučnog izvora u odnosu na izračenu talasnu dužinu ili od specifičnog oblika samog zvučnog izvora. Najelementarniji zvučni izvor je tačkasti zvučni izvor. Osnovne karakteristike su mu brzina površine i faza u odnosu na neku referencu. Složeniji zvučni izvori mogu analitički biti posmatrani kao kombinacija jednostavnih zvučnih izvora, od kojih svaki poseduje svoju brzinu površine i fazu [1]. U praksi, tačkasti zvučni izvori su izvori koji emituju niske frekvencije [2].

Muzički instrumenti su složeni zvučni izvori. Njihove karakteristike usmerenosti se dobijaju eksperimentalno jer su analitički proračuni veoma složeni. Rezultati merenja prikazuju se grafički, polarnim dijagramom. Na polarnom dijagramu prikazan je relativni nivo zvučnog pritiska izražen u dB, u funkciji od ugla. Pozicija 0° ekvivalentna je osi instrumenta, sa strane izlaska vazduha (pozicija od instrumentaliste). Krive na polarnim dijagramima često imaju veoma nepravilan oblik. Mogu se pojasniti definisanjem razlike nivoa između najveće i najmanje vrednosti na dijagramu. Drugi način da se protumači polarni dijagram i rezultati merenja je da se definiše razlika nivoa emitovanog zvuka na 0° i 180°. To se zove faktor napred-nazad (front to

back factor) i izražava se u dB. Naročito je relevantan u diskusiji o efikasnosti reflektujućeg zida smeštenog iza muzičkog instrumenta. Ponekad je korisno proračunati i faktor napred-bočna strana (front to side factor). Pomoću njega se može lakše odrediti raspored sedenja žičanih muzičkih instrumenata u koncertnoj sali i operi [3]. U Prostornoj akustici polarni dijagram se tumači pomoću faktora direktivnosti. On predstavlja relaciju između zvučnog pritiska koji je prisutan i zvučnog pritiska koji bi bio prisutan kada bi zvučni izvor bio zamenjen izvorom koji poseduje jednake izlazne parametre na jednakoj razdaljini, ali ima omnidirekcionalnu karakteristiku. Često se prikazuje kao odnos i izražava u dB.

U radu smo prikazali merenje i analizu dobijenih rezultata karakteristika usmerenosti violine. Emisija zvuka iz violine okarakterisana je energijom proizvedenom u korpusu instrumenta koja se izračuje kroz f otvore na gornjoj rezonantnoj ploči i rezonancijom gornje i donje ploče samog korpusa. Na niskim frekvencijama najznačajnija je emisija zvuka iz samog korpusa koja se izračuje kroz f otvore. Na srednjim i visokim frekvencijama postaje značajna i emisija zvuka usled rezonancije gornje i donje rezonantne ploče korpusa.

Kod duvačkih muzičkih instrumenata je karakteristika usmerenosti oko longitudinalne ose instrumenta simetrična prema uglovima rotacije. To znači da možemo dobiti direkcionalnu karakteristiku za sve uglove rotirajući dijagram oko 0° - 180° ose. Jedino treba da dodamo efekat senke koji nastaje od instrumentaliste (uglavnom za pravac prema nazad (180° - 240°) [2]. Kod gudačkih instrumenata nema te simetrije. Tu moramo da se ograničimo na pojedinačne pravce koji nas interesuju. Zavisnost izračenja zvuka od pravca kod gudačkih instrumenata potiče od toga što gornja i donja rezonantna ploča osciluju različitim amplitudama i fazama. Tome treba dodati i emisiju zvuka iz f otvora. Zato karakteristika usmerenosti gudačkih instrumenata zavisi od frekvencije, ali i od vrste drveta upotrebljenog za izgradnju samog instrumenta. Tako svaki pojedinačni gudački instrument poseduje nekoliko individualnih karakteristika zbog kvaliteta materijala od kojeg je izrađen.

Izvesno je i da postoje pravci usmerenosti emisije zvuka koji su zajednički za sve gudačke instrumente. Na osnovu toga možemo opisati karakteristike usmerenosti za violinu.

Karakteristike usmerenosti mogu se prikazati u horizontalnoj ravni i u vertikalnoj ravni [2][4][5]. Mi smo izmerili karakteristike usmerenosti violine u horizontalnoj ravni za sve uglove koje osa mikrofona zaklapa sa osom instrumenta. Merni mikrofoni smo postavili na rastojanju od

Sonja Krstić – Visoka škola elektrotehnike i računarstva u Beogradu, ul. Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija (email: sonja.krstic@viser.edu.rs).

Mirko Milošević - Visoka škola elektrotehnike i računarstva u Beogradu, ul. Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija (email: mirko.milosevic@viser.edu.rs).

Nemanja Janković - Visoka škola elektrotehnike i računarstva u Beogradu, ul. Vojvode Stepe 283, 11000 Beograd, Srbija (email: nemanja.jankovic@viser.edu.rs).

1.5 m od violine za svako merenje.

II. METODOLOGIJA I POSTAVKA MERENJA

Merenje smo uradili u audio studiju VIŠER. Vreme reverberacije studija je 0.4s, temperatura za vreme merenja je bila 24°C. Prema standardima, merenje bi trebalo uraditi u anehoičnoj sobi i u literature postoje navedeni rezultati merenja koja su na taj način urađena [3]. Mi smo želeli da proverimo da li postoje odstupanja tako urađenih merenja i merenja urađenih kod nas u studiju. Razlog je što u procesu edukacije studenata radimo različita praktična merenja upravo u našem studijskom prostoru (škola ne poseduje anehoičnu laboratoriju) i poželjno je da kroz analizu rezultata tih merenja možemo da studentima ukažemo na eventualna odstupanja u odnosu na rezultate prikazane u literaturi.

Merenje smo izvršili mernim instrumentom NTI XL2 (sl.1). To je modularna merna platforma koja poseduje mnoge primenjive module (merač nivoa zvuka, analizator frekvencija, merač vremena reverberacija, THD faktor itd.). Podaci i audio su smešteni na SD karticu, pripremljeni za transfer na kompjuter. XL2 skladišti sve izveštaje u običan tekst format koji se može otvoriti bilo kojim softverom za editovanje teksta (Notepad, Wordpad itd.). Snimač zvuka ugrađen u merni instrument je standardizovan i prilagođen standardima širom sveta (IEC61672, IEC60651, IEC60804, ISO2969:2015, DIN15905-5, DIN45645-2 za nemačko područje, SLV za švajcarsko područje, BS6698, BS5969 za UK, ANSIS1.4:2014, ANSIS1.11:2014 za US, GB/T3785:2010 za kinesko tržište, JISC1509-1:2005 za Japan, itd.).



Sl. 1. Merni uređaj NTI XL2

Korisnički interfejs (sl.2) je fleksibilan i može biti konfigurisan prema zahtevima početnih ili naprednih korisnika.

Merač nivoa zvuka ovog mernog uređaja je veoma kvalitetan za različite audio događaje i monitoring buke u životnoj sredini. Moguće su brojne varijacije mernih parametara u različitim mernim uslovima: aktuelni nivo, L_{min} , L_{max} , L_{eq} mogu biti mereni u kombinaciji sa

frekvencijskim krivama A, C i sa vremenskim impulsima sporim, brzim ili podešenim na neki drugačiji način. Svi rezultati su dostupni simultano.

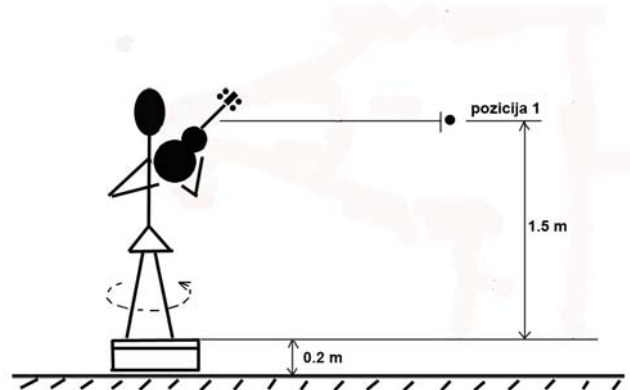


Sl. 2. Fleksibilni korisnički interfejs

XL2 uređaj meri energiju opadanja zvuka u opsegu od 63 Hz do 8 kHz po Schroederovoj metodi u rezoluciji od 1 oktave ili u tercnooktavnom opsegu. Kao test signal se može upotrebiti ili impulsni izvor ili isprekidani roze šum. Merni mikروفon M4260 ima fantomsko napajanje od 48V i elektronsko memorisanje podataka. Automatski senzor XL2 analizatora automatski iščitava te podatke o modelu mikrofona i kalibraciji. Ovo obezbeđuje brže izvođenje postavke merenja i veću pouzdanost samog merenja.

Polarni odziv violine izmerili smo rotacijom postolja i snimanjem dobijenog odziva mernim mikrofonom ugrađenim u NTI uređaj. Brzina rotacije postolja je 50/min. Izabrali smo prenos brzine postolja najadekvatniji za uslove izvedenih merenja. Pobuda je tokom merenja bila prirodna i bilo je neophodno da odsvirani tonovi budu konstantni po nivou. Takođe je vreme sviranja pojedinačnog tona na violini ograničeno dužinom kontaktne površine gudala i žice po kojoj se svira.

Instrumentalistu smo postavili vertikalno na ravan obrtnog postolja (sl.3). Merni mikروفon smo postavili u poziciju 1 na visini f otvora violine (1.5m od nivoa postolja, odnosno 0°), za snimanje karakteristika u horizontalnoj ravni [2]. Mernim mikrofonom smo snimili odziv za sve uglove rotacije od $0^\circ - 360^\circ$, za tonove g , c^1 , g^1 , c^2 , g^2 i c^3 , odnosno za tonove u niskom, srednjem i visokom registru instrumenta. Izabrali smo širinu frekvencijskog opsega tercnooktavnu.

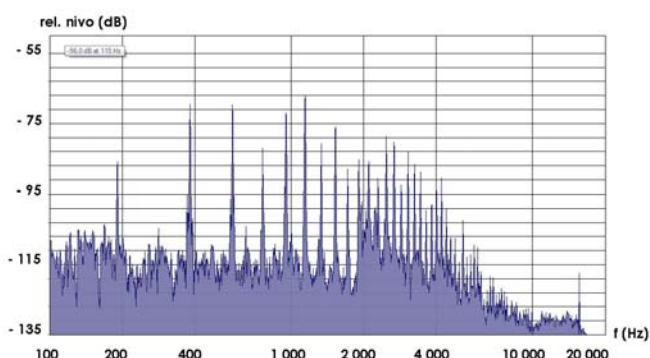


Sl. 3. Prikaz položaja mikrofona u toku merenja karakteristika usmerenosti

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 c¹ 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 C¹ U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c ¹	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 g¹ 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 c² 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 g² u trenucima kada osa mikrofona zaklapa iste uglove sa osom izračenja

TABELA III
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON G¹ U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

g ¹	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 C² U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c ²	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 G² U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

g ²	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 c³ 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 c¹ 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.

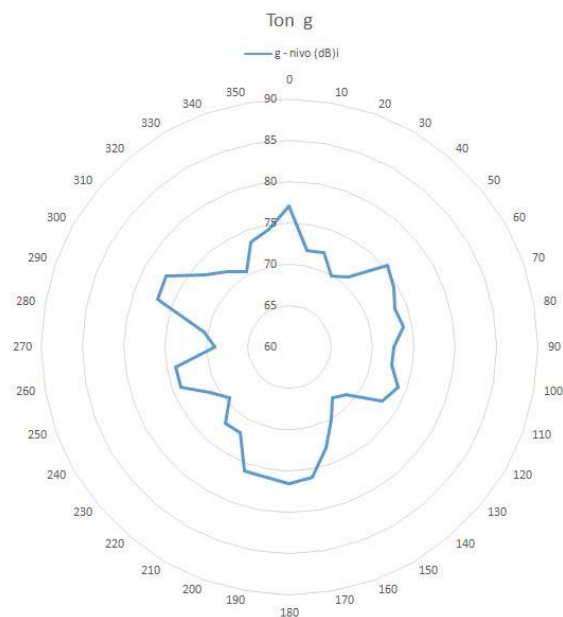
TABELA VI
USMERENOST ZVUKA VIOLINE ZA TON C³ U HORIZONTALNOJ RAVNI [0°]

c ³	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

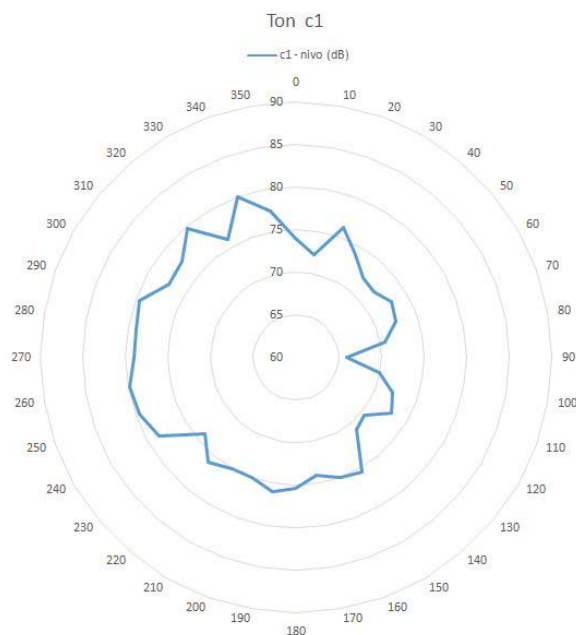
Na sl 7 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton g¹ u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da postoji povećanje nivoa izračenja zvuka u opsegu uglova od 320° do 80° i do 8.0 dB.

Na sl. 8 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton c² 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

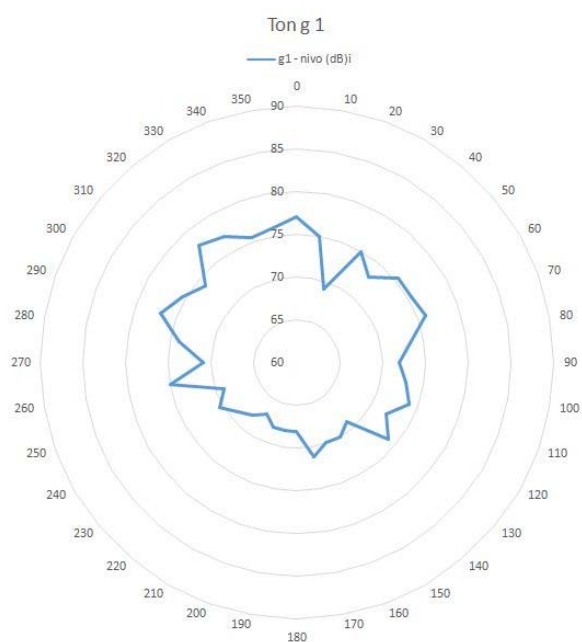


Sl. 6. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton c¹ u horizontalnoj ravni

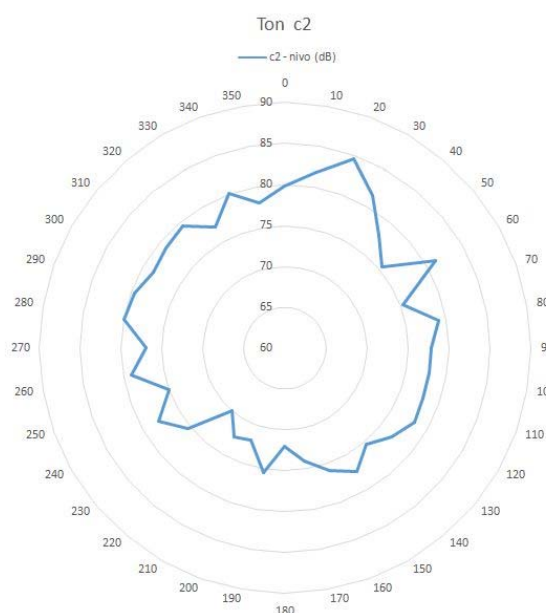
Na sl. 9 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton g² u horizontalnoj ravni. Sa slike se može uočiti da je karakteristika veoma usmerena u području uglova 30° do 34°, 160° do 190°, 250° do 270°, a da postoji izraženiji pad nivoa izračenja zvuka u području uglova od 70° do 140° i 280° do 5° i do 11.4 dB.

Na sl. 10 prikazana je karakteristika usmerenosti violine za ton c³ 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.



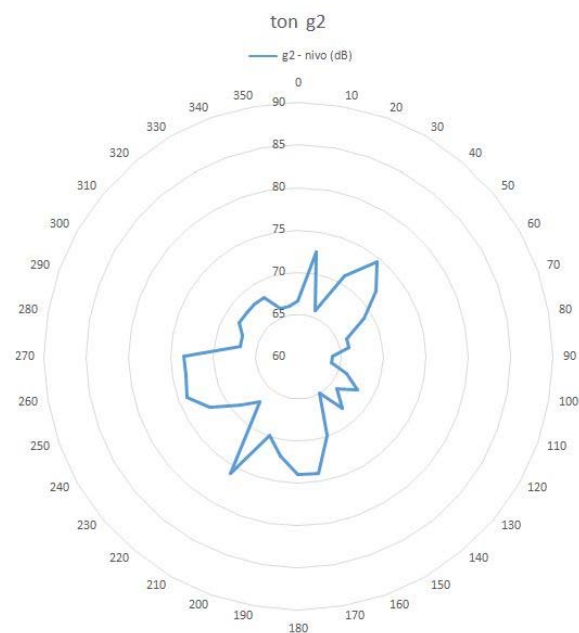
Sl. 7. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton g^1 u horizontalnoj ravni



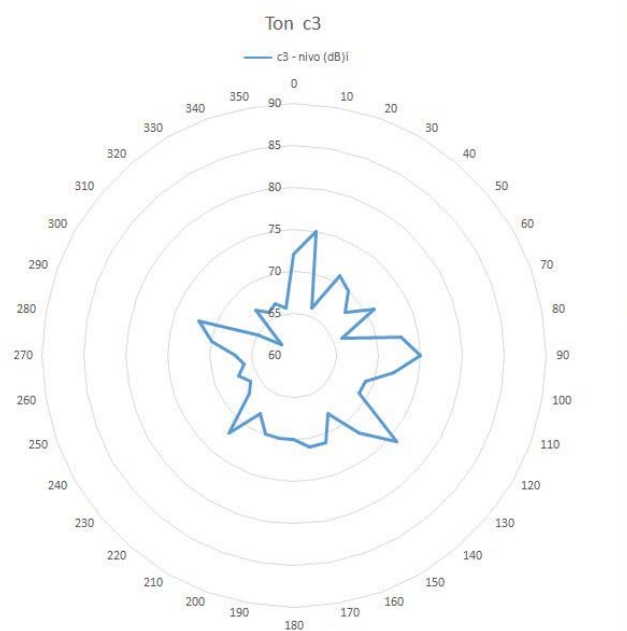
Sl. 8. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton c^2 u horizontalnoj ravni

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.



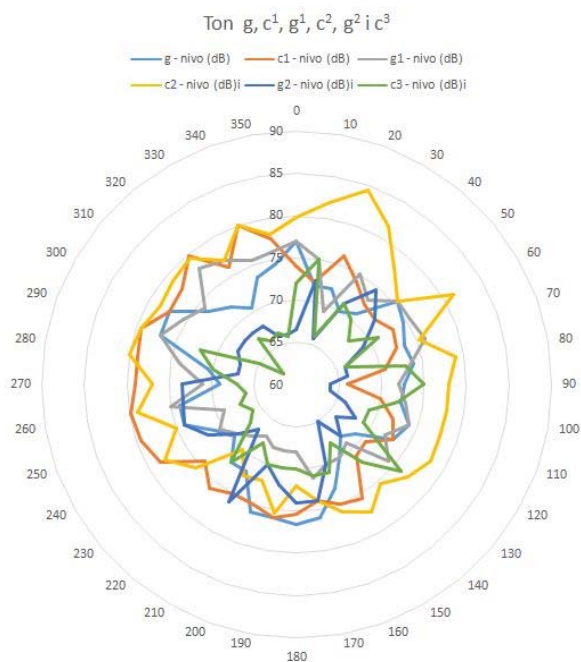
Sl. 9. Prikaz karakteristike usmerenosti violine za ton g^2 u horizontalnoj ravni



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° do 40° , 115° do 125° , 150° do 270° , 295° do 0° .

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