

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Филипа Пантелића.

Одлуком бр. 5041/13-3 од 20.6.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Филипа Пантелића под насловом

### **“Анализа корелације између механичких и акустичких особина контрабаса“**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Филип Пантелић је пријавио тему за израду докторске дисертације 30.11.2016. године. Комисија за студије трећег степена је на својој седници дана 6.12.2016. године разматрала поднету пријаву теме докторске дисертације и свој предлог о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање. Наставно-научно веће је на својој седници дана 21.12.2016. године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме ове докторске дисертације. Наставно-научно веће на седници одржаној дана 14.2.2017. године усвојило је поднети извештај Комисије. Веће научних области техничких наука својом одлуком број 61206-873/2-17 од 27.2.2017. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом: “Анализа корелације између механичких и акустичких особина контрабаса“.

Кандидат је дана 1.6.2017. године предао урађену докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена на својој седници одржаној дана 6.6.2017. године потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. На основу тога Наставно-научно веће Факултета својом одлуком број 5041/13-3 од 20.6.2017. године именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у сасатаву који је наведен на крају овог извештаја.

#### 1.2. Научна област дисертације

Ова докторска дисертација припада области Техничких наука – Електротехника, ужа научна област Техничка акустика. За ментора је одређен др Миомир Мијић, редовни професор. Он је

изабран у звање редовног професора за област Техничке акустике и сви његови публиковани радови који га квалификују за ментора су из те области.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Филип Пантелић је рођен 20.12.1978. године у Београду. На Електротехничком факултету у Београду завршио је основне студије, смер Нуклеарна и медицинска техника, и мастер студије на смеру Аудио и видео технологије. На Филолошко-уметничком факултету у Крагујевцу дипломирао је на одсеку за контрабас. Као наставник у средњим и основним музичким школама радио је од 2002. године где је предавао контрабас, као и предмете Аудио-визуелна техника, Физика и Информатика. Од 2016. до данас ради на Високој школи електротехнике и рачунарства као асистент на предметима Електроакустика, Аудиоелектроника, Акустички дизајн просторија и Примењена акустика.

Од 2013. године Филип Пантелић је студент докторских студија на модулу Телекомуникације, Електротехничког факултета у Београду. Његово подручје истраживачког рада обухвата музичку акустику, акустику просторија и звучне појаве у чврстим телима. Током дипломских и докторских студија објавио је укупно 19 радова, све из наведених области. Добитник је награда за најбољи рад у Секцији за акустику на 58. и 59. конференцији ЕТРАН-а 2014. и 2015. године.

Током 2015. године, у оквиру пројекта билатералне сарадње Србије и Словеније боравио је на Машинском факултету у Љубљани. У њиховој лабораторији за акустику бавио се испитивањем вибрација на гудалу контрабаса. Из ове сарадње публиковано је неколико радова у домаћим и страним часописима и конференцијама.

Филип Пантелић је активно учествовао у COST акцији FP1302 Wood Musick. У оквиру те акције похађао је обуку из дендрохронологије на Биотехничком факултету Универзитета у Љубљани. У оквиру исте COST акције боравио је у Единбургу на Napier универзитету, где је у центру Wood Science and Technology учествовао у испитивању утицаја дуготрајних вибрација на карактеристике дрвета. Резултати ове сарадње приказани су 2016. године на годишњој конференцији Wood Musick у Барселони, као и на конференцији ETRAN-а исте године.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Филипа Пантелића је написана на 142 стране. На почетку се налазе насловна страна и кратак резиме на српском и енглеском језику, као и садржај. Сам текст рада састоји се од осам поглавља, а на крају се налази преглед коришћене литературе. Поглавља су организована у следећем редоследу: 1 Увод, 2 Акустика контрабаса, 3 Анализа материјала за израду инструмената, 4 Методе за анализу звука и вибрација контрабаса, 5 Анализа акустичких карактеристика контрабаса применом методе коначних елемената, 6 Карактеристике гудала контрабаса, 7 Анализа физичких карактеристика дрвета, и на крају 8 Закључак. На самом крају дисертације, као додатак, налазе се обавезни прилози: биографија и неопходне изјаве аутора.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Материја изложена у докторској дисертацији може се логички поделити на два дела. Први, уводни део састоји се од три поглавља у којима је изложена релевантна теорија неопходна за

разумевање приказа самосталног рада кандидата и добијених резултата. То су у тези поглавља 2, 3 и 4. У њима је приказан рад контрабаса као извора звука, затим опште карактеристике материјала који се користе за његову израду и дискусија метода које се могу примењивати за анализу акустичких карактеристика контрабаса. Други део дисертације садржи приказ самосталног рада кандидата и састоји се такође од три поглавља, и то су поглавља 5, 6 и 7. На крају се налази закључак као резиме постигнутих резултата.

У првом од три уводна поглавља рада (поглавље 2) описан је контрабас као музички инструмент и као физички извор звука. Приказани су његови делови и механичка конструкција, механизам зрачења звука и физичке појаве које томе доминантно доприносе. Детаљније су приказани сопствени модови тела контрабаса и њихова класификација, као и улога акустички најважнијих делова: отвора на предњој плочи и кобилице. У овом поглављу је дефинисан појам улазне адмитансе као основне физичке величине којом се објективно описује понашање инструмента. Приказана је класификација сопствених модова тела инструмента помоћу улазне адмитансе. На крају овог поглавља описан је механизам физичког утицаја гудала на жице и његове особине које утичу на квалитет израченог звука. У том смислу је детаљније описан утицај позиције гудала на звук инструмента.

У другом од три уводна поглавља (поглавље 3) приказане су основне физичке величине релевантне за описивање и квантификовање карактеристика материјала који се користе за израду контрабаса. Приказана је стандардна метода изложена у литератури за прорачун модула еластичности узорка дрвета на основу акустичке резонанце, као и поступак прорачуна сопствених модова греде инструмента. У наставку поглавља приказане су основне механичке карактеристике дрвета од кога се израђују инструменти и њихов утицај на просторни распоред модова у појединим деловима тела инструмента.

Најзад, треће од три уводна поглавља (поглавље 4) садржи детаљан приказ метода за анализу звука и вибрација контрабаса. Приказ је обухватио две методе које су коришћене у експерименталном истраживачком раду приказаном у тези. То су метода снимања зрачења звука у веома блиском пољу и нумеричко моделовање. За методу блиског поља описани су услови који владају у непосредној близини зрачеће површине, брзина и притисак, и границе зоне у којој се може сматрати да су задовољени услови врло блиског поља. Као додатак опису методе блиског поља детаљније је приказано понашање плоче при вибрацијама и њено зрачење звука у простор. У приказу нумеричког моделовања за анализу рада контрабаса детаљније су приказани *metoda konačnih razlika (Finite Difference Method)* и метода коначних елемената (*Finite Element Method - ФЕМ*).

Пето поглавље садржи резултате експерименталног истраживања акустичких карактеристика контрабаса помоћу методе коначних елемената. За потребе истраживања направљен је нумерички модел тела контрабаса на коме је ФЕМ методом анализирано неколико различити аспеката његовог понашања при звучној побуди. Прво је анализирана фреквенцијска зависност зрачења главне плоче инструмента, а затим су на основу тога анализирани промене које се евентуално могу постићи варирањем физичких димензија појединих делова инструмента и димензија његовог тела у целини. У раду је детаљно размотрен могући ефекат интервенција на бас греди као значајном елементу у механичком склопу контрабаса.

У шестом поглављу су приказани резултати анализе гудала као неизоставног дела инструмента. Размотрене су врсте гудала које се користе и њихови ефекти на тон инструмента. Анализом вибрација тела гудала омогућена је визуелизација његових модова, а посебно утицај напетости струна на њих. Рад је такође обухватио ширу анализу ефекта вибрација тела гудала на музичара који свира, доказујући да он на тај начин добија додатне информације о генерисаном тону чиме се при музицирању успоставља тактилна повратна спрега. На крају

овог поглавља приказани су резултати анализе промена у спектралном садржају произведеног тона са променама релативног положаја гудала у односу на кобилицу.

На крају другог дела рада, у седмом поглављу, приказани су резултати експерименталне анализе физичких карактеристика дрвета од кога се праве поједини делови тела контрабаса. Најзначајнији део овог поглавља садржи резултате анализе дуготрајног деловања вибрација на физичка својства дрвета. У оквиру тога анализиран је и утицај примењене методологије мерења на добијене резултате. Анализиран је утицај врсте побуде, начин регистравања одзива и утицај примењеног механичког побуђивача на резултате добијене методом мерења у блиском пољу. С обзиром да су све анализе вршене на посебно направљеним узорцима дрвета који се фиксирају у припремљеном побудном систему, тестиране су промене сопствених модова које настају при променама граничних услова на крајевима узорка. Најзад, у овом поглављу је детаљно објашњена критична фреквенција дрвета и у вези с тим утицај димензија инструмента на зрачење звука.

На крају, у закључку сумирани су остварени доприноси рада, могућности њихове примене у пракси израде нових инструмената и оцени стања постојећих. Такође су наговештене могућности за будућа истраживања у циљу ширења знања од значаја за производњу квалитетних инструмената.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Рад на овој докторској дисертацији иницирале су две чињенице. Прва је да су у музичкој акустици сви жичани, а пре свега гудачки инструменти широко обрађивани, али је контрабас при томе остао на маргинама интересовања истраживача. Због тога је у релевантној литератури, а то значи и у теорији музичке акустике, контрабас до сада био занемарен као тема. Чињеница је да контрабас као музички инструмент зрачи релативно ниске фреквенције, због чега многе познате чињенице о физици рада осталих гудачких инструмената не могу бити директно примењене у тумачењу рада највећег међу њима. Постоји довољно физичких специфичности у његовој конструкцији које нису дискутоване у референтној литератури. Друга чињеница која је иницирала овај рад је увођење у употребу поступак мерења у врло блиском пољу као нове методе за испитивање и карактеризацију функционисања гудачких инструмената и узорака дрвета од којих се инструменти израђују. Експерименталну методу које је примењена карактерише једноставност, доступност и економичност, и заснива се на примени елементарних сензора и рачунара. На те две полазне чињенице заснива се оригиналност и савременост ове тезе.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током рада на дисертацији кандидат је користио обимну литературу из области која је обрађена. Списак референци дат на крају дисертације садржи 94 наслова. У оквиру тог броја налази се врло широк опсег публикација који укључује књиге, часописе, зборнике са домаћих и међународних конференција и техничке извештаје института о извршеним истраживањима. Велики део публикација је новијег датума, мада су укључени и сви најзначајнији историјски, може се рећи референтни наслови да би се употпунила слика о обрађиваној материји. У списку референци налазе се и радови у којима је кандидат аутор или коаутор, а који садрже оригиналне резултате директно произашле из рада на дисертацији.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Област и тема којом се бави дисертација условила је да се она заснива на два основна научна метода: на експерименталном раду у лабораторији и нумеричком моделовању. Експериментални рад је примењен у делу који се бави мерењем на узорцима различитих врста дрвета, на гудалу и на комплетном инструменту. На тај начин су анализирани сопствени модови тела реалних инструмената и гудала. Нумеричко моделовање је примењено за анализу сопствених модова тела контрабаса у околностима када се варирају њихове физичке одлике, пре свега димензије појединих делова инструмента и његовог тела у целини.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати који су приказани у овој докторској дисертацији имају примену у два домена. С једне стране, добијени резултати помажу у разумевању природе виброакустичких процеса при генерисања тона контрабаса, а с друге стварају могућности за измене дизајна класичног контрабаса у циљу промене његових акустичких особина. У тези је акценат стављен на испитивање акустичких особина инструмента и материјала од којих се израђује користећи методе снимања у веома блиском пољу (VNF) и нумеричку симулацију (FEM). Резултати приказани у тези такође омогућавају практичну анализу физичких особина дрвета за израду инструмента користећи једноставне експерименталне методе.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Филип Пантелић је кроз одабир и систематичан преглед актуелне литературе, кроз самостални експериментални рад на анализи рада контрабаса као музичког инструмента, кроз теоријску анализу утицаја физичких параметара његових делова, али и кроз друге сегменте свог експерименталног и теоријског рада показао висок степен самосталности у истраживачком раду. Томе треба додати и чињеницу да је највећи део радова на међународним и националним скуповима самостално презентовао.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У овој докторској тези остварени су следећи доприноси који представљају унапређење постојећег знања у области музичке акустике:

- испитан је утицај саставних елемената резонаторске кутије контрабаса на њен одзив на ниским фреквенцијама, што је показало да се интервенцијама на  $f$ -отворима може утицати на карактеристике инструмента додавањем специјално дизајнираних цеви испод отвора које могу појачати одзив у релевантном фреквенцијском опсегу;
- иако су спектри тонова генерисани различитим гудалима слични по свом садржају, праћењем вибрација које се јављају на штапу гудала при процесу генерисања тона омогућено је детектовање разлика у виброакустичким карактеристикама различитих врста гудала, што даје могућност за проналажење неких објективних параметра који могу помоћи у вредновању и класификацији гудала;
- снимањем одзива гудала у веома блиском пољу забележени су модови његовог осциловања и њихова промена у околностима промена напетости струна, што ову методу чини погодном за бележење неких објективних параметара гудала који се даље такође могу користити за њихову класификацију;

- испитивање утицаја удаљености гудала од кобилице на боју генерисаног тона показало је различите спектре генерисаних сигнала у случају различитих позиција побуде жице при константној брзини гудала и вертикалној сили притиска на жицу;
- снимањем у веома блиском пољу остварена је метода за визуализацију модова осциловања дрвених узорака на механичку побуду, што може бити од значаја при процесу идентификације модова осциловање и поједностављење метода за одређивања механичких карактеристика узорка дрвета које се користи за израду нових инструмената;
- експерименти којима је испитиван утицај дуготрајних вибрација на карактеристике дрвета, који се у случају гудачких инструмената природно јавља у материјалу при њиховој дуготрајној употреби, показали су да дуготрајно излагање вибрацијама није променило карактеристике дрвета, бар када су у питању испитивани узорци који су сечени у лонгитудиналном правцу;
- предложен је поступак прорачуна критичне фреквенције за изотропске и анизотропске материјале на основу ког је прорачуната критична фреквенција предње плоче контрабаса за неке уобичајене врсте дрвета од кога се она израђује;
- испитивања утицаја односа између геометрије инструмента и анизотропности дрвета на зрачење звука у простор показала су да усклађеност ових величина утиче на зрачење, али није фактор од великог значаја.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Набројани научни доприноси значајни су у домену музичке акустике кроз неколико аспеката:

- пружају боље познавање вибрационог одзива тела контрабаса при његовој побуди, што чини основ за евентуалне иновације у производњи ових инструмената и корекције његове конструкције;
- омогућилу су боље разумевање комплексног утицаја гудала на инструмент и његов звук, и показали постојање повратне спреге у генерисању звука преко музичара који га држи у руци;
- разумевање физичких особина дрвета од кога се израђују поједини делови контрабаса, а посебно утицај дуготрајних вибрација, критичне фреквенције предње плоче инструмента као његовог најзначајнијег дела и утицај анизотропности дрвета на зрачење звука.

Несумњив допринос тезе је увођење експерименталне методе мерења зрачења звука у врло блиском пољу која је коришћена за анализе тела контрабаса, гудала и узорака дрвета за њихову израду. То је веома практична метода у новије време уведена у лабораторијску праксу, и која до сада није коришћена у области музичке акустике Њена основна предност је у чињеници да се базира на коришћењу једноставних и јефтиних лабораторијских ресурса. У тези је показано да су добијени резултати поредљиви са оним који се добијају врло комплексном, софистицираном и скупом лабораторијском мерном опремом.

Један део рада на дисертацији био је саставни део активности спроведених у оквиру међународне COST акције, где су на скуповима учесника, што значи пред релевантним истраживачима из европских земаља, били презентирани добијени резултати. Захваљујући томе део истраживачких активности реализован је у иностраним лабораторијама: на Универзитету у Љубљани и *Napier* универзитету у Единбургу, Велика Британија. Детаљни резултати истраживања верификовани су објављивањем у 13 радова у часописима, на међународним и националним скуповима.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације Филипа Пантелића верификовани су у следећим радовима (наведени по М категоријама према Правилнику Министарства просвете и науке Србије):

##### Категорија M21:

- 1 **Filip Pantelić**, Jurij Prezelj, "Hair tension influence on the vibroacoustic properties of the double bass bow", The Journal of Acoustical Society of America, Vol. 136 (2014) EL288-294, <http://dx.doi.org/10.1121/1.4896408>, ISSN 1520-8524 (M21)

##### Категорија M53:

- 1 **Filip Pantelić**, Jurij Prezelj, "Sound generating mechanism of the double bass", TELFOR JOURNAL, 2013, Vol. 5, sveska 2, str. 140-144, ISSN 1821-3251

##### Категорија M33:

- 1 **Filip Pantelić**, Charlotte Desvages, Jurij Prezelj, Dragana Šumarac Pavlović, "Influence of bow-bridge distance on strings timbre", 7th AAAA Congress on Sound and Vibration, 22-23. September 2016, Ljubljana, Slovenia, Proceedings on CD (M33)
2. Dragana Šumarac Pavlović, Srdjan Bojičić, Ivana Ristanović, **Filip Pantelić**, Miodrag Stanojević, *Analysis of energy „Traffic“ in room and its implication on sound insulation and absorption of materials*, Congress of the Alps Adria Acoustics Association, oktobar 2014, Proceedings on CD
3. **Filip Pantelić**, Đorđe Grozdić, Miloš Bjelić, Ivana Ristanović, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, *Analysis of sound field at low frequencies - empty vs. furnished room*, FORUM ACUSTICUM, Krakov, septembar 2014, Broj rada: SS04\_6, ISSN: 2221-3767 (rad po pozivu)

##### Категорија M63:

- 1 **Filip Pantelić**, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Daniel Ridley-Ellis, "Ispitivanje akustičkih osobina drveta i identifikacija modova skeniranjem uzorka u veoma bliskom polju", 60. ETRAN, jun 2016, Zlatibor, Srbija, ISBN 978-86-7466-618-0, AK1.3.1-4 (M63)
2. Dragan Novković, **Filip Pantelić**, Jovan Bratičević, "Uticaj monitoring signala na vokalnu interpretaciju muzičkog sadržaja", 60. ETRAN, jun 2016, Zlatibor, Srbija, ISBN 978-86-7466-618-0, AK2.4.1-4
3. **Filip Pantelić**, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Anja Grumić, "Efektivna apsorpciona moć kao funkcija prostornog položaja apsorbira", Srebrno jezero, 8- 11. juna 2015. godine, ISBN 978-86-80509-71-6
4. **Filip Pantelić**, Jurij Prezelj, "Uticaj vibracija gudala kontrabasa na percepciju zvuka kod muzičara", 57. ETRAN, jun 2013, Zlatibor, Zbornik radova, ISBN 978-86-80509-68-6, AK1.6-1-4
5. **Filip Pantelić**, Jurij Prezelj, "Mehanizam generisanja tona kod kontrabasa", TELFOR, novembar 2012, Beograd, DOI 10.1109/TELFOR.2012.6419448, ISBN 978-1-4673-2983-5, 1272 – 1275
6. **Filip Pantelić**, Jelena Čertić, Draško Mašović, "Uticaj položaja gudala na boju tona kod kontrabasa", 56. ETRAN, jun 2012, Zlatibor, Zbornik radova, ISBN 978-86-80509-67-9, AK1.3-1-4
7. **Filip Pantelić**, Jurij Prezelj, "Vibracije na gudalu kontrabasa", TAKTONS, novembar 2013, Novi Sad, Zbornik radova, ISBN 978-86-7892-555-9
8. Miomir Mijić, Dragana Šumarac Pavlović, Anja Grumić, **Filip Pantelić**, Miloš Bjelić, "Helmholtz resonator in the small room", TAKTONS 2015, Novi Sad, Serbia, 18-21. November

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

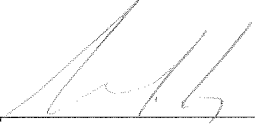
На основу чињеница изложених у овом извештају Комисија је закључила да докторска дисертација Филипа Пантелића под насловом “Анализа корелације између механичких и акустичких особина контрабаса” испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о виоком образовању и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

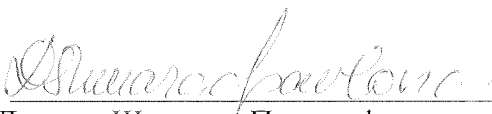
У дисертацији су истраживачки обрађене области анализе и моделовања акустичког одзива тела контрабаса и гудала као функционалне целине која чини инструмент, као и анализа дрвета за њихову израду. Резултати истраживања су дали одговоре на постављене хипотезе и пружили нова знања о неколико аспеката рада овог инструмента. Најважнија су о могућностима модификације инструмента да би се кориговале његове акустичких карактеристика, с обзиром да контрабас ради у опсегу најнижих фреквенција где почињу да делују ограничења услед његових коначних димензија, о понашању дрвета од кога је инструмент направљен при његовој дуготрајној употреби, а допринос тезе је и објашњење комплексног механизма деловања физичких карактеристика гудала на зрачење звука при производњи тона. Најзад, допринос тезе је и у томе што је коришћена оригинална метода мерења у врло блиском пољу која до сада није примењивана у области музичке акустике за анализу рада музичких инструмената.

На основу свега изложеног Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под називом “Анализа корелације између механичких и акустичких особина контрабаса” кандидата Филипа Пантелића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

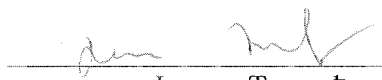
У Београду, 1.08.2017. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
др Миомир Мијић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Драгана Шумарац Павловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
мр Јелена Матић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Шумарски факултет

  
др Јелена Тертић, доцент,  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет