

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1872/4

(Број захтева)

01.11.2018. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ЉУБИША (СИМЕОН) ПЕТРОВ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ЉУБИША (СИМЕОН) ПЕТРОВ** уписан на Докторске студије 2011. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА СПМ ТЕХНИКОМ И ЊЕНО УНАПРЕЂЕЊЕ ПРИМЕНОМ АНАЛИЗЕ УТИЦАЈА ДЕФЕКТА СОНДИ

Универзитет је дана 23.04.2018. год. својим актом под бр. 61206-2410/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА СПМ ТЕХНИКОМ И ЊЕНО УНАПРЕЂЕЊЕ ПРИМЕНОМ АНАЛИЗЕ УТИЦАЈА ДЕФЕКТА СОНДИКомисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ЉУБИШЕ (СИМЕОН) ПЕТРОВА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 23.08.2018. године, одлуком факултета под бр. 1872/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Лидија Матија</u>	Ред. проф.	Биомедицинско инжењерство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Александра Васић- Миловановић</u>	Ред. проф.	Техничка физика	Машински факултет Београд
3. <u>Др Александар Седмак</u>	Ред. проф.	Технологија мат.- Маш.матер и заваривање	Машински факултет Београд
4. <u>Др Горан Лазовић</u>	Ванр. проф.	Информационе технологије у машинству	Машински факултет Београд
5. <u>Др Драгомир Стаменковић</u>	Доцент	Биомедицинско инжењерство	Факултет за специјалну едукацију и рехабилитацију Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 01.11.2018. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф.др Радивоје Митровић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1872/4
Датум: 01.11.2018. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Лидија Матија, ред. проф., ментор, др Александра Васић-Миловановић, ред. проф., др Александар Седмак, ред. проф., др Горан Лазовић, ванр. проф. и др Драгомир Стаменковић, доц., Факултет за специјалну едукацију и рехабилитацију, Универзитет у Београду о оцени докторске дисертације „Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“ студента докторских студија **Љубише Петрова, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 01.11.2018. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА СПМ ТЕХНИКОМ И ЊЕНО УНАПРЕЂЕЊЕ ПРИМЕНОМ АНАЛИЗЕ УТИЦАЈА ДЕФЕКТА СОНДИ“** студента **ЉУБИШЕ ПЕТРОВА, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Љубише Петрова**, мастер инжењера машинства, студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1872/2 од 23.08.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, студента докторских студија Катедре за Биомедицинско инжењерство на Машинском факултету Универзитета у Београду под насловом

„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“

Након 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

Кандидат Љубиша Петров, мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2011/12. године.

По захтеву студента докторских студија Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, број 424/1 од 14.02.2018. године, предлога ред. проф. др Лидије Матије, ментора и сагласности бр. 764/2 да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 764/3 од 29.03.2018. којом се прихвата тема докторске дисертације под називом **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“**, именује се ментор ванр. проф. др Лидија Матија и именује се Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

1. др Лидија Матија, ментор, редовни професор Машинског факултета у Београду
2. др Александра Васић-Миловановић, редовни професор Машинског факултета у Београду
3. др Александар Седмак, редовни професор Машинског факултета у Београду
4. др Горан Лазовић, ванредни професор Машинског факултета у Београду
5. др Драгомир Стаменковић, доцент Факултета за специјалну едукацију и рехабилитацију у Београду

На основу извештаја Комисије бр. 764/1 од 27.03.2018. и одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду под бројем 764/3 од 29.03.2018. године да се прихвата предлог о испуњености услова кандидата и о научној заснованости теме докторске дисертације докторанда Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду које је на седници одржаној 23.04.2018 донело Одлуку бр. 61206-2410/2-13 да се кандидату Љубиши С. Петров, мастер инжењеру машинства, даје сагласност на предлог теме докторске дисертације под називом **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“** под менторством ред. проф. др Лидије Матије. Закључком број 1872/1 од 23.08.2018. године, у вези са захтевом докторанда Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, да му се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду са седнице од 23.04.2018. године, одобрава се рад на теми докторске дисертације **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“**, студента докторских студија Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, а за ментора се именује др Лидија Матија, редовни професор Машинског факултета у Београду.

На основу обавештења ред. проф. др Лидије Матије, ментора, да је кандидат Љубиша Петров, мастер инжењер машинства, завршио докторску дисертацију под називом **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“**, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 1872/2 од 23.08.2018. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Лидија Матија (ментор), редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду
- др Александра Васић-Миловановић, редовни професор Машинског факултета у Београду
- др Александар Седмак, редовни професор Машинског факултета у Београду
- др Горан Лазовић, ванредни професор Машинског факултета у Београду
- др Драгомир Стаменковић, доцент Факултета за специјалну едукацију и рехабилитацију у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Љубише Петрова под насловом **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“** припада области техничких наука - машинство, ужа научна област биомедицинско инжењерство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Изработом докторске дисертације руководила је др Лидија Матија, редовни професор Катедре за биомедицинско инжењерство, Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Љубиша С. Петров је рођен у Врању 22. 04. 1968. године. Завршио је 14. београдску гимназију са одличним успехом. Дипломирао је на Машинском факултету Универзитета у Београдског на Катедри за аутоматско управљање – модул за Биомедицинско инжењерство. Мастер рад је радио на тему: *“Контемплативан и практичан приступ примени наноскенинг проб микроскопије у биомедицинском инжењерству”* са оценом 10 (десет), чиме стиче звање *Мастер инжењер машинства*. Просечна оцена током академских студија је износила 8,01 (осам и 1/100).

Школске 2011/2012. године Љубиша Петров уписује докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, на Модулу за биомедицинско инжењерство. Од јануара 2011. године Љубиша Петров је запослен у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду као истраживач приправник, да би одлуком бр. 2206/2 Истраживачко-стручног већа Машинског факултета са седнице одржане 13.11.2014. године добио је истраживачко звање истраживач сарадник. Аутор и коаутор је више научних радова из области нанотехнологија, биомедицинског инжењерства и организације рада, презентованих на домаћим и међународним конференцијама и публикованих у научним часописима. Осим научно-истраживачке делатности радио је и у привреди као руководиоца производње и руководиоца пројекта усмереног на истраживање, развој сертификацију и производњу савремених уређаја за дијагностику биофизичких стања коже.

Радно искуство

- 1997.-2004. Сарадник – Центар за молекуларне машине, Машински факултет Универзитета у Београду.
- 2004.-2005. Руководилац производње – Предузеће за производњу и сервис медицинских апарата и уређаја “Medical System”, Земун.
- 2005.-2008. Сарадник - Центар за молекуларне машине, Машински факултет Универзитета у Београду.
- 2008.-2012. Менаџер пројекта - Телескин д.о.о., Београд
- 2011.- Истраживач – Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду

У периоду од 2011. године до данас, као сарадник у настави, учествовао је у извођењу више предмета на Основним и Мастер академским студијама на Машинском факултету Универзитета у Београду, раније на модулу за Биомедицинско инжењерство при Катедри за Аутоматско управљање, а сада на Катедри за биомедицинско инжењерство:

- Основе биомедицинског инжењерства
- Основе клиничког инжењерства

- Увод у нанотехнологије
- Нанотехнологије
- Клиничко инжењерство
- Наномедицинско инжењерство
- Информационе технологије у медицини

Учествује у раду у NanoLab-a, лабораторије Модула за биомедицинско инжењерство, где је обучен за рад на Scanning Probe Microscopy – SPM, UV/Vis, NIR и FTIR спектрометрима, као и уређају за депозицију материјала хемијским напаривањем (Chemical vapour deposition, CVD).

Учешће на пројектима финансираним од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој:

Пројекат ИИИ 41006 – *„Развој нових метода и техника за рану дијагностику канцера грлића материце, дебелог црева, усне дупље и меланома на бази дигиталне слике и ексцитационо емисионих спектра у видљивом и инфрацрвеном домену“*, Министарство за науку и технолошки развој.

Говори, чита и пише енглески и руски језик.

Ожењен је, отац двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Љубише Петров, мастер инжењера машинства, под насловом **„Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди“** изложена је на 157 страна, садржи 82 слике, 39 табела, 31 једначина и списак литературе са 138 наслова. Дисертација поред садржаја, скраћеница и номенклатуре и биографије, садржи следећих шест поглавља:

1. Увод
2. Уочавање проблема и циљеви истраживања
3. Материјали
4. Методе и технике
5. Резултати и дискусија
6. Закључак
7. Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу *Увод* изнесени су основни подаци о нанотехнологији, нанотехнолошким истраживањима и областима од значаја. Учињена је и увод ка основним технологијама и уређајима неопходном у овој сфери науке: микроскопија тунеловањем електрона (*Scanning Tunneling Microscopy –STM*), микроскопија атомским силама (*Atomic Force Microscope – АФМ*) и пратећа опрема – сонде за скенирање.

У поглављу *Уочавање проблема и циљеви истраживања*, на основу детаљне анализе релевантне научне литературе дат је преглед достигнућа у разматраној области. Истакнути су проблеми који се јављају приликом скенирања на описаним уређајима и поремећаји који су утичу на квалитет снимака па самим тим и на резултате накнадних анализа. Посебна пажња је посвећена артефактима сонди за скенирање, као основном предмету овог рада. Из перспективе сонди, снимци добијени на *Scanning Probe Microscope* су само апроксимације површина узорака, јер сонде нису савршене. С обзиром да се говори о предметима нанометарских димензија, оне немају ни савшену геометрију ни димензије. Ово се сматра непознатим параметрима које је немогуће контролисати, па самим тим представљају непознату величину за коју морају да се учине покушаји како би се утицај одстранио или бар минимизовао. Питања која су разматрана су: порекло артефаката, њихова класификација, метролошки аспекти проблема, хабање врхова сонди и начин обраде дигиталног сигнала. С обзиром да интеракција између сонде и узорка има велики утицај на тачност и квалитет добијених снимака, а чији је разлог опет нанодимензионалност с једне стране геометрије, а с друге стране свих физичких појава које су уочљиве при раду, било је потребно обратити посебну пажњу на модове којима су снимања извршена и појаве до којих долази између сонди и узорака.

Поглавље *Материјали* има два аспекта: материјали испитиваних узорака и материјали од којих су начињене сонде. Када су у питању узорци, испитивани су с једне стране узорци биолошког порекла: мозак, рожњача, зуб, коса, кост и кожа, а с друге стране су то материјали који имају изражено широку употребну вредност у медицини и биотехнологијама: метали, легуре и полимери. С друге стране, описани су материјали од којих се израђују комерцијалне сонде за снимање узорака: силицијум, силицијум нитрид, алуминијум, хром и злато. Такође су приказане и њихове геометрије и димензије, са посебним освртом на режиме у којима се користе.

У поглављу *Методе и технике*, представљен је уређај на којем су обављена сва снимања – *Scanning Probe Microscope 5200* јапанског произвођача JEOL. Описане су технике и научне основе скенирања тунеловањем електрона и микроскопија атомским силама. Такође су описани и сви модови у којима инструментација ради и који су коришћени приликом истраживања. у овом делу је представљен и софтвер који се користи за управљање уређајем (*WinSPM Scanning*) и анализу снимака (*WinSPM Processing*). У смислу методе за елиминацију артефаката сонде, у овом раду је искоришћен приступ одређивања геометрије врхова код којег није неопходно њено конкретно познавање. Граница врха сонде се израчунава са слике помоћу морфолошких ограничења која су инхерентна у процесу снимања. Аргументи на којима се заснива овакав приступ у великој мери се ослањају на

математичку морфологију. Карактеризација врхова сонди заснована на принципу „слепо“ реконструкције а потом и емулација снимака скенираних површина су извршене у програмском пакету SPIP. Исти софтвер је употребљен и за читање нумеричких и статистичких података са оригиналних и емулираних снимака.

У поглављу *Резултати* презентовани су резултати експерименталних истраживања. Приказани су оригинални снимци добијени скенирањем, обађене слике са делимично или у потпуности уклоњеним утицајем артефаката сонди, врхови сонди којима су извршена снимања у 2Д и 3Д пројекцији и пресеци врхова сонди и радијус закривљења у две равни. Обрађени су и у табелама приказани нумерички подаци од значаја за процену квалитета снимака и елемената узорака и то за оригиналне снимке добијене на уређају и емулиране снимке добијене након примене алгоритама за елиминацију артефаката. Од параметара за процену квалитета постпроцесуираних снимака су одређивани: максимална разлика висина између два врха на снимку, максимална дубина, максимална висина и просечна хрпаваост на целој површини снимка. Ове вредности су приказане на графиконима. У дискусији је показана успешност методе примењене на испитиваним узорцима. Приказана је статистика за све испитиване узорке, и посебно за две групе које се по неким карактеристикама и по резултатима издвајају. Прва група од шест узорака се издваја по квалитету снимака добијених емулацијом после примене алгоритама за елиминацију артефаката сонди. Околности приликом скенирања су омогућиле изванредне резултате засноване на непостојању осталих врста артефаката као и исправном избору сонди. Међутим, постоји и група од три узорка код којих су за поједине параметре добијени слаби резултати у процесу постпроцесуирања. Анализа сонди којима су ови узорци снимани дала је објашњење за овакве резултате: два снимка су направљена сондама чији су врхови екстремно оштећени, односно њихова геометрија драстично одступа од произвођачке спецификације. Код трећег узорка дошло је до нежељеног контакта између сонде и узорка, па је део материјала узорка остао на врху сонде чинећи на овај начин артефакт који није било могуће исправити алгоритмима. Овакви резултати су посебно значајни, јер се њиховим анализирањем долази до почетне тачке у исправљању грешака које су настале или у технолошком процесу производње сонди, или у процесу скенирања. Наиме, уколико се одмах после добијања снимка на којем је примећен утицај артефаката сонде примене наведени алгоритми, и изврши анализа, неупотребљиве сонде ће бити замењене новим, чиме ће се доћи до уштеда и у времену и у материјалним средствима. Накнадном анализом сонди ће се установити извор грешака који је сонду учинио неупотребљивом.

У поглављу *Закључак* дат је приказ главних резултата истраживања добијених у току рада и донет је закључак о нивоу остварених циљева постављених на почетку истраживања као и научном доприносу резултата тих истраживања. Узимајући у обзир реалне геометријске карактеристике сонди, применом математичких алгоритама добијена је емулирана графичка интерпретација оригиналних снимака. Смисао методе је да се, примењујући је на узорцима биолошког порекла односно материјала који се користе у биомедицини, дошло до снимака који би због лошег квалитета били одбачени јер су поремећаји који су се појавили у току снимања били изражени у мери која их чини неупотребљивим за анализу реалног стања испитиваних материјала. Рачун показује да је код 87,9% узорака добијена

чистија и прецизнија слика, а код преосталих 12,1% узорака је послужило као група на којој су објашњени разлози појаве артефаката.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савремене методе за испитивање различитих материјала и њихових стања се константно унапређују и развијају. Технолошки напредак и развој омогућавају синтезу нових материјала и њихову употребу у научним испитивањима. Међутим, одувек постоји проблем контролисаних услова у којима се експерименти изводе. У области нанотехнолошких истраживања то је широк опсег поремећаја који на нанометарском нивоу утичу на припрему експеримената, ток испитивања и тумачење резултата. Ограничења постојећих метода резултују недовољном тачношћу условљеном поремећајима чији су сасвим мали интензитети довољни да у потпуности промене слику о материјалу који се испитује, при чему се као последица јавља велики број одбачених и/или погрешно протумачених резултата. Стога постоји велика потреба за практичну примену истраживачких поступака који штеде време и материјална средства, и омогућавају ефикасније и рационалније тумачење добијених резултата.

У докторској дисертацији је испитана примена методе елиминације утицаја дефеката сонди за примену у микроскопији атомским силама помоћу алгоритма заснованог на математичкој морфологији, теорији скупова и геометрији. Алгоритам је примењен на снимцима биолошких узорака, природних и синтетичких материјала који се користе у медицини и стоматологији. Постпроцесуирање оригиналних снимака на којима су били видљиви утицаји рановрсних поремећаја очекиваних у процесу снимања, а нарочито дефеката сонди дало је одличне резултате враћајући употребну вредност снимцима који би били одбачени због очигледних поремећаја довољно великих да онемогуће истинито тумачење резултата и исправне закључке о испитиваним материјалима. Добијени резултати се, с друге стране, користе и у анализи технолошко – производних процеса сонди за нанотехнолошке уређаје, у циљу постизања што веће тачности и прецизности у геометријском и димензионалном смислу.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе који је дат у посебном одељку докторске дисертације обухвата радове и књиге из области нанотехнологије, теорије и праксе употребе скенирајућих микроскопија, биомедицинског инжењерства, теорије скупова, димензионалне метрологије, квантитативне и квалитативне анализе, технологије производних процеса сонди за употребу у скенирајућој микроскопији, метода реконструкције снимака и математичке морфологије. Анализом списка литературе која је коришћена током израде докторске дисертације може се закључити да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу. Ова литература је кандидату послужила за формирање прегледа и анализу постојећег стања предмета изучавања, уочавање проблема и постављање циљева истраживања дисертације. У дисертацији је коришћено укупно 138 референци које обухватају радове објављене у водећим међународним часописима од почетка нанотехнолошких истраживања до данас.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Експерименталне методе коришћене у оквиру докторске дисертације подразумевале су снимање на уређају за скенирајућу микроскопију (СПМ) који се налази у Нано лабораторији Машинског факултета Универзитета у Београду. Технике које су коришћене су скенирање тунеловањем електрона (STM), микроскопија атомским силама (AFM) и микроскопија магнетних сила (МФМ). За скенирање узорака су коришћене различите сонде за контактни, бесконтактни, „тапинг“ и магнетни режим рада.

Од софтверских алата коришћен је ЈЕОЛ СПМ софтвер за скенирање и процесуирање снимака, СПИП и Гвидион – софтвери за визуелизацију, анализу података добијених из ЈЕОЛ СПМ софтвера, постпроцесуирање добијених снимака и симулацију снимања теоријски идеалним сондама, а за обраду експерименталних података MATLAB и Excel.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу анализе резултата добијених у докторској дисертацији, могуће је вратити у истраживачки процес велики број снимака који су одбацивани због немогућности читања и уочавања поремећаја који не дају реалну слику испитиваног материјала.

На основу резултата добијених у овој докторској дисертацији изведен је и закључак да је после добијања првог добијеног снимка веома сврсисходна употреба алгоритама за процену врха сонде у циљу одређивања њених реалних геометријских карактеристика. На овај начин се правовремено откривају деформације сонди настале у току производног процеса, или похабаност која онемогућује добијање реалних снимака површине узорака када су у питању биолошки узорци.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

За време израде докторске дисертације кандидат је показао смисао и знање неопходно да самостално препозна и решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене истраживачке методе, како експерименталне тако и статистичке, као и да користи расположиву литературу. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на докторској дисертацији потврђене су претпоставке о утицају дефеката сонди за употребу у раличитим режимима скенирајуће микроскопије. Проширена су постојећа знања о испитиваним материјалима, у смислу мерења реалнијих параметара стања површине узорака па самим тим и реалнија процена карактеристика испитиваних материјала, и као таква дисертација представља научни допринос у области биомедицинског инжењерства. Примена наведених алгоритама и софтверских алата на снимке добијене помоћу скенирајуће микроскопије представља нови приступ у испитивањима биолошких узорака. У овој докторској дисертацији користе се резултати

добијени експерименталном анализом релевантно великог броја узорака, и што је нарочито важно напоменути, различитог порекла – биолошког, природног и синтетичког.

Кандидат је истражујући могућности примене алгоритма за елиминацију или смањивања утицаја деформација сонди развио методу за процену снимака стања површине, а потом и поновну анализу снимака у циљу реалније карактеризације испитиваних узорака. Остварени научни допринос докторске дисертације огледа се у следећем:

- остварено је реалније тумачење добијених топографских снимака биолошких узорака и узорака за употребу у медицини и стоматологији и могућност прецизније карактеризације наведених узорака
- остварена је могућност карактеризације врхова сонди и откривање деформација које потичу од грешака у производном процесу, и/или накнадно насталих деформација као што су хабање, и утицај артефаката из спољашње средине
- статистичким прорачунима показано је да је огроман број неупотребљивих снимака могуће постпроцесуирати помоћу примењених алгоритама и вратити им употребну вредност
- смањена је могућности двосмисленог тумачења резултата експеримената изазваних истовременим додиром више тачака врха сонде и површине узорка
- на основу снимака биолошких узорака и узорака материјала за употребу у медицини и стоматологији извршено је одређивање геометрије комерцијалних сонди и симулација снимања исте површине помоћу математичких модела са тачно дефинисаном геометријом, радијусом врха и углом конуса што даје реалнију топографску слику, па самим тим и прецизније дефинисање испитиваног материјала, без чега на нанометарској скали и у атомској резолуцији не може бити речи о прецизном одређивању карактеристика материјала
- на основу резултата истраживања спроведеног у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја, могуће је извршити рационализацију времена у поступцима испитивања материјала, као и материјалних средстава потребних за извођење експеримената

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, може се констатовати да су резултати истраживања у тези значајни и да су примењиви у пракси. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, може се закључити да су пружени одговори на релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

Спроведеним истраживањем установљена је методологија постпроцесуирања снимака добијених помоћу скенирајуће микроскопије, и значајно побољшање њиховог квалитета, чиме се у великој мери доприноси исправном тумачењу резултата.

Метода је оригинално примењена на биолошким узорцима и узорцима за употребу у медицини и стоматологији на основу претходно добијених снимака који нису могли бити коришћени у циљу доношења исправних закључака о сниманим узорцима материјала.

Добијени резултати истраживања у знатној мери смањују време снимања и материјалне трошкове, јер се применом представљене методологије смањује неопходан број дуготрајних експерименталних испитивања који изискују употребу већег броја сонди, без гаранције да ће добијени резултати бити употребљиви.

Изложени резултати су експериментално верификовани и тиме је обезбеђена могућност њихове примењивости.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос кандидата Љубише Петрова, мастер инжењера машинства верификован је следећим радовима:

Радови у међународном часопису, M23

1. Bojovic B., **Petrov Lj.**, Matija L., Koruga Dj., Actual Diamond Engraving of a Fullerene Coated Glass Plate, Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures, Taylor & Francis INC, 530 Walnut Street, STE 850, Philadelphia, PA 19106 USA, 23, 11, pp. 947 - 955, 1536-383X, 10.1080/1536383X.2015.1037954, 2015. IF=0.812
2. Kojic D., Matija L., **Petrov Lj.**, Mitrovic R., Koruga Dj., Surface characterisation of Pb1-XMnXTe alloy by atomic force microscopy and magnetic force mode, Surface Engineering, Maney Publishing, Ste 1C, Josephs Well, Hanover Walk, Leeds LS3 1AB, W Yorks, England, 27, 3, pp. 158 - 163, 0267-0844, 10.1179/174329409X409369, 2011. IF=0.937
3. Nikolic A., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Mihajlovic S., Nanoscale Magnetic Behavior of C60 Thin Films in Earth Magnetic Field under Polarization Light Influences, Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures, Fullerenes, Volume 13, Issue 1, pp. 53-59, 2005., DOI:10.1081/FST-200041948. IF=2.03

Радови саопштени на међународним скуповима штампани у целини (M33)

1. Mileusnic I., Djuricic I., Hut I., Stamenkovic D., **Petrov Lj.**, Bojovic B., Koruga Dj., Characterization Of Nanomaterial-Based Contact Lenses By Atomic Force Microscopy, Contemporary Materials, Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, 3, 2, pp. 177 - 183, ISSN: 1986-8677, 66.017/.018:530.145, 2013.
2. Zunjic A., Muncan J., Matija L., **Petrov Lj.**, Mileusnic I., General Ergonomic Considerations of Design of a Telerobotic System, 6th International Symposium of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, pp. 98 - 101, 978-86-7083-864-2, Srbija, 24. - 25. Sep, 2015"
3. Matija L., Mileusnic I., Muncan J., **Petrov Lj.**, Zunjic A., Occupational hazards in dentistry - application of the Near infrared spectroscopy in diagnostics of fatigue and musculoskeletal

disorders, 6th International Symposium on Industrial Engineering – SIE, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, pp. 82 - 85, 978-86-7083-864-2, /, /, Srbija, 24. - 25. Sep, 2015

4. Hut I., **Petrov Lj.**, Šarac D., Golubovic Z., Matija L., Modeli održavanja medicinske opreme bazirani na metodama procene rizika i prioritizaciji, XXXVIII naučno stručni skup Održavanje mašina i opreme 2013, Upravljanje održavanjem infrastrukture i imovine preduzeća, Mašinski fakultet u Beogradu, nema, nema, pp. 141 - 156, nema, Crna Gora, 24. - 27. Jun, 2013

5. Zunjic A., Matija L., Munca J., Mileusnic I., **Petrov Lj.**, Occupational Hazards in Dentistry – Application of the Near Infrared Spectroscopy in Diagnostic of Fatigue and Musculoskeletal Disorders, 6th International Symposium of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, pp. 82 - 85, 978-86-7083-864-2, Srbija, 24. Sep - 25. Nov, 2015

6. Matija L., Mileusnic I., Muncan J., **Petrov Lj.**, Ergonomic design properties of dentistry equipment, 6th International Symposium on Industrial Engineering – SIE, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, /, /, pp. 90 - 93, 978-86-7083-864-2, /, /, Srbija, 24. - 26. Sep, 2015

7. Kojic D., Matija L., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Characterization of the surfaces before and after the final treatment using Atomic Force Microscopy – AFM and Magnetic Force Microscopy - MFM), 32. Conference on Production Engineering of Serbia with international participation, Faculty of Technical Science, University of the Novi Sad, Department for Production Engineering, Novi Sad, Proceedings, pp. 249-254. ISBN 978-86-7892-131-5, 2008.

8. Kojic D., Matija L., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Mechanical properties of human skin studied by atomic force microscope, Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 25th Meeting, September 24. – 27., 2008., České Budějovice, Czech Republic, Proceedings, pp. 121-122, 2008. (ISBN 978-80-01-04162-8)

9. Matija L., Kojic D., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Mechanical Properties of Surfaces Studied by Atomic Force Microscope, Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, 25th Meeting, September 24. – 27., 2008., pp. 169-170, 2008.

10. Koruga, D., Simic-Krstic, J., Matija, L., **Petrov, Lj.**, Ratkaj, Z., Molecular Nanotechnology: Golden Mean as a Driving Force of Self-Assembly, Electrical and Computer Engineering series, Advances in Simulation, Systems Theory and System Engineering, pp.139-145, WSEAS, 2002.

11. Bojovic B., Kosic B., **Petrov Lj.**, Matija L., Contact lens surface assessment via areal parameters, The 1st International Global Virtual Conference, pp. 534-537. ISBN 978-80-554-0649-7, 2013.

Саопштења на међународним скуповима штампана у изводу (М34)

1. Djuricic I., Koruga Dj., Mileusnic I., **Petrov Lj.**, Bekric D., Identification of the Wind Turbine Blade Structural Damages by Magnetic Force Microscopy, Yucomat 2012 – fourteenth annual conference, YUCOMAT, pp. 84 - 84, -, Crna Gora, 2012.

2. Djuricic I., Mileusnic I., Tomic M., Stamenkovic D., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Characterization of fullerenes based thin film glasses and contact lenses by Atomic Force Microscopy and

Magnetic Force Microscopy, YUCOMAT 2011, Yougoslav Materials Research Society, pp. 169 - 169, /, Crna Gora, 5. - 9. Sep, 2011.

3. Djuricic I., Mileusnic I., Stamenkovic D., **Petrov Lj.**, Matija I., Koruga Dj., Characterization of Nanophotonic Materials for RGP Contact Lenses by Scanning Probe Microscopy, Book of abstracts: V International Scientific Conference „Contemporary Materials 2012“, Akademija nauka i umetnosti Republika Srpske, pp. 98 - 98, /, Republika Srpska, 5. - 7. Jul, 2012.

4. Grga Dj., Koruga Dj., Marjanovic M., **Petrov Lj.**, Sarac D., Hut I., Characterization of microbial morphotypes in dental calculus deposits by nano probe microscopy and opto-magnetic spectroscopy, Fourteenth annual conference of the Materials Research Society of Serbia - YUCOMAT, pp. 106 - 106, Crna Gora, 3. - 7. Sep, 2012

5. Zoric V., Setrajcici J., Matija L., **Petrov Lj.**, Resonance in Determining the Age of Paints, International Conference EuroMed/Cipa, Euromed, Limasol, pp. 1 - 83, 978-56-8112-511-2, Кипар, 2012.

6. Milusnic I., Djuricic I., Stamnekovic D., **Petrov Lj.**, Bojovic B., Hut I., Koruga Dj., Contact Lenses Nanomaterial Characterisation by Atomic Force Microscopy and Magnetic Force Microscopy, IV International Scientific Conference Contemporary Materials 2011, Banja Luka, The Book of Abstracts, 2011.

7. Debeljkovic A., Djuricici I., Koruga Dj., Muncan J., Matija L., Mileusnic I., **Petrov Lj.**, Fullerene thin films characterization by spin magnetometer, Contemporary materials 2013, Banja Luka, Academy of Sciences and Arts of Republic of Srpska, pp. 56 - 56, /, Republika Srpska, 4. - 6. Jul, 2013.

8. Koruga Dj., Hut I., Sarac D., Grga Dj., Marjanovic M., **Petrov Lj.**, Characterisation of microbial morphotypes in dental calculus deposits by nanoprobe microscopy and opto-magnetic microscopy, Fourteenth annual conference of the Materials Research Society of Serbia - YUCOMAT, Yougoslav Materials Research Society, pp. 106 - 106, /, Crna Gora, 3. - 7. Sep, 2012.

9. Bekric D., Mileusnic I., Djuricic I., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Identification of the wind turbine blade structural damages by magnetic force microscopy, Book of abstracts: YUCOOMAT 2012 – fourteenth annual conference, pp. 84, Herceg Novi, Montenegro, 3.-7. September 2012.

10. Hut I., Marjanovic M., Miletic V., **Petrov Lj.**, Djuricic I., Effects of brushing on surface roughness of microhybrid and nanohybrid composite resins, Book of abstracts: V International Scientific Conference „Contemporary Materials 2012“, pp. 102, Banja Luka, Republika Srpska, 5.-7. July 2012.

11. Kojic D., Matija L., **Petrov Lj.**, Koruga Dj., Surface characterization by Atomic Force Microscopy and Magnetic Force Microscopy, YU-COMAT, Herceg Novi, Crna Gora, September 7 – 13, 2008, Book of Abstracts, pp. 77. ISBN 978-86-80321-15-8

12. Kojic D., **Petrov Lj.**, Mitrovic R., Matija L., Steel surface characterisation with different compoition and varyng tool geometry by scanning probe microscopy, YUCOMAT 2009, H. Novi,

Montenegro, August 31- September 4, Book of Abstracts, pp 164, 2009. ISBN 978-86-80321-18-9

13. Kojic D., **Petrov Lj.**, Stamenkovic D., Matija L., Koruga Dj., Magnetic properties of contact lenses: Characterisation by magnetic force microscopy, Book of abstracts, p. 59, ICOM 2009, Herceg Novi, Montenegro, August 27-30, 2009., ISBN 978-86-7306-102-3

14. Mihajlovic J.S., Koruga Dj., Nikolic A., Radojevic B., **Petrov Lj.**, Magnetic Induction of Fullerene C60 and Biomagnetic Effect, 10th Academy of Studenica, Studenica, 2004., ISSN 1450-708

Поглавље у књизи (M42) или рад у тематском зборнику националног значаја (M45)

1. Koruga Dj., Muncan J., Hut, I., Sarac, D., **Petrov, Lj.**, Pregled postojećih metoda i tehnika u biomedicinskoj fotonici, str.221-233, u knjizi Rana dijagnostika kancera epitelnog tkiva, Papić – Obradović M. (ured.), Don Vas, Beograd, 2012, (ISBN 978-86-87471-24-5)

2. Koruga Dj., Muncan J., **Petrov Lj.**, Sarac D., Hut I., Princip rada aparata i uređaja za optomagnetnu spektroskopiju, Rana dijagnostika kancera epitelnog tkiva, Don Vas, pp. 294 - 308, 978-86-87471-24-5, 2012.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе садржаја и резултата истраживања докторске дисертације под називом „**Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди**“ кандидата Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, студента докторских студија, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је кандидат успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања и да докторска дисертација под називом „**Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди**“ представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства, ужа научна област Биомедицинско инжењерство. Кандидат је остварио оригиналне резултате у испитивању примене методе за елиминацију утицаја артефаката сонди у микроскопији атомским силама, примењеној на биолошке узорке и узорке материјала који се употребљавају у медицини и извео вредне закључке о потенцијалу примене методе у истраживачкој научној пракси.

Сагласно томе, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упути га на усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а докторску дисертацију под називом „**Карактеризација материјала СПМ техником и њено унапређење применом анализе утицаја дефеката сонди**“ кандидата Љубише Петрова, мастер инжењера машинства, изложи на увид јавности.

Београд, 19.10.2018. год.

Комисија за оцену и одбрану дисертације:

.....

Др Лидија Матија, редовни професор, (ментор), Универзитет у Београду, Машински факултет

.....

Др Александра Васић-Миловановић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

.....

Др Александар Седмак, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

.....

Др Горан Лазовић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

.....

Др Драгомир Стаменковић, доцент, Универзитет у Београду, Факултета за специјалну едукацију и рехабилитацију

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1872/4
Датум: 01.11.2018. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 01.11.2018. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МАТЕРИЈАЛА СПМ ТЕХНИКОМ И ЊЕНО УНАПРЕЂЕЊЕ ПРИМЕНОМ АНАЛИЗЕ УТИЦАЈА ДЕФЕКТА СОНДИ“** студента **ЉУБИШЕ ПЕТРОВА**, магист. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-2410/2-13, од 23.04.2018. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. Bojovic B., **Petrov Lj.**, Matija L., Koruga Dj., Actual Diamond Engraving of a Fullerene Coated Glass Plate, Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures, Taylor & Francis INC, 530 Walnut Street, STE 850, Philadelphia, PA 19106 USA, 23, 11, pp. 947 - 955, 1536-383X, 10.1080/1536383X.2015.1037954, 2015. IF=0.812
2. Kojic D., Matija L., **Petrov Lj.**, Mitrovic R., Koruga Dj., Surface characterisation of Pb1-XMnXTe alloy by atomic force microscopy and magnetic force mode, Surface Engineering, Maney Publishing, Ste 1C, Josephs Well, Hanover Walk, Leeds LS3 1AB, W Yorks, England, 27, 3, pp. 158 - 163, 0267-0844, 10.1179/174329409X409369, 2011. IF=0.937

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за биомедицинско инжењерство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић