

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)

1346/5

(Број захтева)

21.10.2015. 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:

ГОРАН (МОМИР) МЛАДЕНОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ГОРАН (МОМИР) МЛАДЕНОВИЋ** **уписан на Докторске студије 2008. године.**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Подноео је захтев за израду докторске дисертације:

ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ

Универзитет је дана 27.05.2013. год. својим актом под бр. 61206-2398/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ГОРАНА (МОМИР) МЛАДЕНОВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 09.07.2015. године, одлуком факултета под бр. 1346/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Љубодраг Тановић</u>	Ред.проф	Производно машинство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Драган Милутиновић</u>	Ред.проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
3. <u>Др Радован Пузовић</u>	Ван.проф.	Производно машинство	Машински факултет Београд
4. <u>Др Милош Главоњић</u>	Ред.проф.	Производно машинство	Машински фак. Београд, пензионер
5. <u>Др Милан Зељковић</u>	Ред.проф.	Производно машинство	Универзитет у Новом Саду ФТН

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 24.09.2015. 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: 1346/4
Датум: 21.10.2015. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и реферата Комисије у саставу: проф. др Љубодраг Тановић, ментор, проф. др Драган Милутиновић, проф. др Радован Пузовић, др Милош Главоњић, ред. проф. МФ у пензији и проф. др Милан Зељковић, ФТН, Нови Сад, о оцени докторске дисертације „Оптимизација путање алата при обради скулпторских површина глодањем“ докторанда Горана Младеновића, дипл. инж. маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 24.09.2015. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ“** докторанда **ГОРАНА МЛАДЕНОВИЋА**, дипл. 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, докторанду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Предмет: **Реферат о урађеној докторској дисертацији
кандидата Горана Младеновића, дипл.инж.маш.**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 1346/2 од 09.07.2015.г. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Горана Младеновића, дипл.инж.маш., под насловом:

„ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ”

После прегледа достављене Дисертације, других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је пријавио тему докторске дисертације под називом: „ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ” и за ментора је предложио проф. др Љубодрага Тановића. На основу пријаве кандидата, ННВ МФБгд. је одлуком бр. 748/2 од 04.04.2013.г. прихватило предлог и именovalo Комисију за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу: др Љубодраг Тановић, ред. проф. (ментор), др Драган Милутиновић, ред. проф., др Милош Главоњић, ред. проф., др Павао Бојанић, ред. проф. у пензији, др Милан Зељковић, ред. проф. На основу извештаја Комисије и одлуке ННВ МФБгд. поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду (захтев бр. 748/4 од 09.05.2013.г.) које је на седници одржаној 27.05.2013.г. донело одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Горана Младеновића, дипл. инж. маш. (одлука бр. 61206-2398/2-13 од 27.05.2013.г.), а на основу чега је 28.05.2013.г. Декан Машинског факултета у Београду донео закључак бр. 1198/1 о одобравању рада на предметној дисертацији под менторством проф. др Љубодрага Тановића.

На основу извештаја проф. др Љубодрага Тановића, ментора, да је докторанд Горан Младеновић завршио докторску дисертацију под називом „ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ”, као и предлога Катедре за производно машинство, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку број 1346/2 од 09.07.2015.г. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Љубодраг Тановић, ред. проф., др

Драган Милутиновић, ред. проф., др Радован Пузовић, ванредни професор, др Милош Главоњић, ред. проф., у пензији, др Милан Зељковић, ред. проф.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ“ припада области техничких наука (машинство) и ужој научној области Производно машинство. Израдом докторске дисертације руководио је др Љубодраг Тановић, редовни професор на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Горан Младеновић, дипл. инж. маш. је рођен у Зајечару, 19. априла 1983. године где је завршио основну „Љуба Нешић“ и средњу школу „Гимназија Зајечар“. Машински факултет у Београду уписао је школске 2002/2003. године. Дипломирао је 9. јула 2008. године на смеру за Производно машинство са просечном оценом 8,61 (осам и 61/100). Дипломски рад је урадио из предмета Производни системи (ментор: проф. др Павао Бојанић) и исти одбранио са оценом 10. На другој години студија је учествовао на машинијади као такмичар у знању из предмета „Отпорност материјала“ где је освојио прво место. Школске 2006/2007 је изабран за најбољег студента на петој години студија са просеком 10.00 (десет и 100/100) и свим положеним испитима.

Докторске студије на Машинском факултету у Београду је уписао школске 2008/2009 године. По решењу бр. 1749/1 од 18.09.2014.г. одобрен му је продужетак рока за завршетак докторских студија за два семестра.

1. октобра 2008. године је засновао радни однос на Машинском факултету Универзитета у Београду као сарадник на пројекту „Развој технологија вишеосне обраде сложених алата за потребе домаће индустрије“, а од 3. септембра 2009. до данас ради на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду као асистент на предметима CAD/CAM системи, Компјутерска графика, Технологија машинске обраде, Производни информациони системи, Нове технологије, Алати и прибори и Алати за обликовање лима. Као асистент је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор већег броја радова на домаћим и међународним скуповима и часописима. Коаутор је једног Техничког решења, једног помоћног уџбеника и већег броја инсталација намењених унапређењу наставе и актуелним истраживањима.

Организатор је и предавач сталне школе иновације знања Машинског факултета за обуку студената за коришћење софтверског пакета Autodesk INVENTOR.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Горана Младеновића, дипл.инж.маш., под називом „ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ“ изложена је на 172 странице и садржи 132 једначине, 104 слике и дијаграмских приказа, 5 табела и 114 коришћених референтних литературних извора. Докторску дисертацију чине следећих осам поглавља и списак литературе:

1. Увод
2. Преглед стања истраживања у области обраде скулпторских површина глодањем
3. Анализа комерцијалних CAD/CAM система са становишта обраде скулпторских површина глодањем
4. Параметарско описивање кривих линија и површина
5. Концепт система
6. Развој софтверског решења
7. Експериментална верификација развијене апликације

8. Закључак
9. Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу текста докторске дисертације дате су основне информације о потреби и значају обраде делова са скулпторским површинама. Уз опис полазишта одакле се кренуло са истраживањем дат је и списак полазних хипотеза као и основни циљеви и доприноси предметне дисертације, а набројане су и границе истраживања. Наводи се да је развојем метода вишекритеријумске оптимизације путање алата омогућено добијање производа за краће укупно време обраде у односу на обраду без оптимизације, а све у циљу смањења цене производње.

У другом поглављу је дат систематизовани преглед стања истраживања у области обраде скулпторских површина глодањем на нумерички управљаним машинама алаткама (НУМА) и опис праваца истраживања у области оптимизације путање алата. Детаљно је дата дефиниција скулпторских површина и развијене методе генерисања путање алата за обраду глодањем лоптастим глодалом на 3-осним НУМА и то: изопараметарски, изоравански и изохрапави. Посебан осврт је дат настанку колизија алата и обратка приликом обраде и развијеним процедурама за избегавање истих. Аналитичко одређивање попречног и уздужног корака је такође приказано у овом поглављу. У погледу описа метода за оптимизацију путање алата дат је детаљан опис тренутно актуелних метода, са посебним освртом на методу обраде варирањем брзине помоћног кретања као и вишекритеријумски метод оптимизације путање алата који подразумева дефинисање тежинских фактора за сваки од критеријума оптимизације.

У трећем поглављу је дата анализа могућности аутору доступних комерцијалних CAD/CAM система са становишта обраде скулпторских површина глодањем. Обухваћена је анализа могућности пројектовања технологије обраде глодањем на примеру једног издатка применом типских захвата софтвера Creo/Parametric, SolidCAM и InventorCAM. Посебан осврт је дат на анализу укупног времена обраде за различите стратегије обраде и коришћене софтвере. Анализом су уједно уочени недостаци којима аутор жели да укаже на могући простор за побољшања и квалитетнија решења.

У четвртном поглављу је дат систематизовани преглед метода за параметарски опис кривих линија и површина. Истраживањима је обухваћена конструкција Bezier, B сплајн и NURBS кривих линија и површина које су у употреби у комерцијалним CAD системима. Фергунсонов криволинијски сегмент је такође разматран. Основни диференцијални рачун над параметарски описаним површинама је приказан до нивоа одређивања вектора тангенте и нормалне у тачки на површини. За потребе одређивања попречног и уздужног корака је приказан и диференцијални рачун за добијање аналитичких образаца за израчунавање радијуса кривине у тачки.

У петом поглављу је дат опис концепта система који представља CAD/CAM решење за аутоматско/интерактивно пројектовање технологије обраде делова са скулпторским површинама глодањем лоптастим глодалом на 3-осним НУМА. Дефинисани су могући улази у систем са становишта екстензије фајлова CAD модела издатка и припремка, захтеваног квалитета обраде скулпторске површине и скупа фактора укључења/искључења критеријума оптимизације (попречног корака, уздужног корака и брзине помоћног кретања) као и самих вредности оптимизационих параметара. Систем се састоји од пет модула за које је дат детаљан опис развијених процедура за генерисање и оптимизацију путање алата. Модули који чине систем су: процесор за геометрију, модул за симулацију процеса обраде, модул за предобраду, модул за генерисање путање алата и модул за интерактивно пројектовање технологије обраде.

Процесор за геометрију у себи има уграђене процедуре за одређивање: запремине учитаног CAD модела, формирање упрошћеног CAD модела, анализу могућности задовољења технолошких захтева за обраду дела, одређивање координата тачака на путањи алата, одређивање дубине и ширине глодања дуж путање алата, генерисање офсетоване површине и извршење геометријских трансформација над CAD моделом издатка. Израчунавање запремине CAD модела припремка и издатка се своди на појединачно израчунавање запремине полиедра који сваки од елемената триангулације

формира са равни $z=0$. Користећи правила двоструког интеграљења над свим елементима триангулације систем одређује укупну запремину материјала припремка и издатка. Формирање упрошћеног CAD модела подразумева конвертовање улазног описа у опис облика z -мапе, где су припремак и израдак представљени дводимензионом матрицом, одређеном својим габаритима, а вредности поља матрице представљају координате пресека праве и троугла којим је апроксимирана скулпторска површина. У анализи могућности задовољења технолошких захтева за обраду дела, кључно је одредити минимални радијус кривине на свакој путањи алата и на основу тога вршити избор адекватног алата из базе података о алатима. До резултата се долази кроз одређивање скупа тачака пресека равни вођења алата и скулпторске површине, а затим формирањем интерполационог сплајна кроз добијене тачке пресека.

Одређивање координата положаја алата на водећој равни се врши на основу развијеног модела формирања храпавости када је CAD модел представљен у STL формату. При одређивању попречног корака мора се познавати претходна путања и испунити захтев да крива која представља врхове неравнина буде заједничка за оба суседна пролаза. Ово подразумева да мора бити позната површина изохрапавости, рубна крива као и пресек обвојне површине алата и површине изохрапавости.

Анализа дубине и ширине глодања подразумева обраду са контролисаним интензитетом силе глодања. Да би се израчунала ширина и дубина глодања у сваком тренутку потребно је одредити пројекцију захваћеног материјала на раван управну на правац брзине помоћног кретања. У општем случају се добија једна или више затворених контура. Уколико је обрада са константним попречним кораком формира се двострука матрица, а у супротном случају тродимензионална матрица где се вредности у трећој димензији односе на сваку вредност ширине глодања која се јавља при промени попречног корака. Генерисање офсетоване површине се врши на основу вектора положаја тачке на скулпторској површини, радијуса лоптастог дела глодала и вектора нормале на скулпторској површини у датој тачки.

У оквиру модула за симулацију процеса обраде је описан формиран механистички модел за предикцију компонената силе глодања и према њему процедура за одређивање корака за сваку тачку локације алата, а у зависности од дубине и ширине глодања у тој тачки. Предикција силе глодања подразумева поделу лоптастог глодала на дискове коначне дебљине. Запремина материјала у захвату се одређује на основу дубине и ширине глодања са ограничењем да је пројекција захваћеног материјала на раван управну на правац брзине помоћног кретања једна затворена контура. Тренутна дебљина захваћене струготине одређује се за сваки диск, и сечиво на њему, на основу угаоног положаја сваког сечива, Укупна вредност силе глодања се израчунава на основу тренутних вредности тангенцијалних, радијалних и аксијалних компоненти силе.

Модул за предобраду садржи опис три могућа начина тј. процедуре за генерисање путање алата за процес предобrade и то: глодачком главом, чеоним вретенастим глодалом и лоптастим глодалом из више пролаза. У опису модула за генерисање путање алата је дат приказ развијених стратегија обраде и процедуре генерисања и повезивања сегмената путање алата. Модул за интерактивно пројектовање технологије обраде је развијен за потребе мануелног (ручног) пројектовања технологије обраде за НУМА. Потпору аутоматског пројектовања технологије обраде чини база података о расположивим алатима, материјалима и карактеристикама изабране НУМА чији је опис дат такође у овом поглављу.

У шестом поглављу је укратко представљена развијена апликација за процес off-line генерисања и оптимизације путање алата на основу учитаних фајлова CAD модела издатка и припремка генерисаних у неком од комерцијалних CAD/CAM система. Апликација је развијена употребом GUIDE окружења софтвера Matlab, а према процедурама датим у петом поглављу. Због обимности рада у овом поглављу су приказани само неки дијаграми тока процедура које су уграђене у развијену апликацију. Дат је и опис екранских приказа са становишта упутства за употребу апликације где се од корисника не захтева експертни ниво познавања рада у CAM системима било које врсте. Приказана је процедура добијања управљачких кодова за НУМА како за процес аутоматског тако и интерактивног мода рада апликације за све могуће случајеве који су

обухваћени истраживањем, а у зависности од анализе геометрије изратка/припремка и комбинације материјала и геометрије алата и материјала припремка.

У седмом поглављу је дата експериментална верификација развијене апликације. За изабрану комбинацију геометрије алата и материјала обрада прво је описана процедура за одређивање скупа коефицијената резања према механистичком методу, која је подразумевала обраду више епрувета са три различита алата, а према плану експеримента. У наставку је дат опис експеримента изведених обрада делова према управљачким кодовима добијених развијеном апликацијом. Обрада је извршена према једном или вишекритеријумском методу оптимизације путање алата. За сваки од израђених делова је извршена метролошка анализа на нумерички управљаној мерној машини (НУММ) чиме је добијена мапа девијације одакле је верификовано да је извршена обрада у захтеваном квалитету. На крају је дато поређење стратегија обраде комерцијалних CAM система и развијене апликације.

У закључку (осмо поглавље) је истакнуто да развој овакве апликације за процес off-line генерисања и оптимизације путање алата ствара реалне претпоставке за њену практичну примену. Користећи могућности Matlab софтвера могуће је формирати „standalone“ апликацију која омогућује коришћење исте на рачунарима који немају инсталисан Matlab софтвер чиме се не захтевају додатна улагања од будућих корисника апликације. На крају овог поглавља је указано на даље правце истраживања.

На крају је наведена литература која је коришћена током спроведених истраживања и рада на реализацији докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Ова дисертација је део дугогодишњег програма истраживања Катедре за производно машинство Машинског факултета у Београду, у области обраде делова са скулпторским површинама, везаних за пројекте из програма технолошког развоја. Ова истраживања су била усмерена на допринос напорима да се модерним CAM системом направи један карак ка идеалу интелигентне машине алатке, која ће на основу CAD модела припремка и изратка сама одредити технолошки поступак и генерисати путању алата. Ова тема је данас врло актуелна у многим истраживачким центрима развијених земаља. Главне теме истраживања се односе на развој метода и софтверског решења за оптимизацију путање алата при обради скулпторских површина, на 3-осним НУМА лоптастим глодалом, и обухваћене су у овој дисертацији кроз: развој геометријског процесора, развој модела са симулацију процеса обраде, развој модела за предикацију силе глодања, развој модела за оптимизацију путање алата и развој модела за генерисање путање алата. Добијени резултати ових истраживања су оригинални, објављени су у међународним часописима и на међународним и домаћим конференцијама.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради дисертације је коришћена литература чији је списак дат у поглављу 9. Делом су то цитиране референце, а делом библиографија радова који су кандидату били доступни за време израде дисертације. Анализом списка коришћене литературе може се закључити да је кандидат користио већину релевантне литературе из области тематике своје дисертације. Бројност литературних извора говори о актуелности истраживања у области CAM система а кандидат је кроз објављивање резултата свог рада, самостално и као коаутор, имао прилике да упозна стручну и научну јавност са резултатима својих истраживања и да се током израде дисертације позиционира према актуелним истраживачким резултатима у свету. Подаци и једначине које су преузете из објављених радова су исправно цитирани.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање је засновано на уобичајеним методима анализе, синтезе, савремених нумеричких и експерименталних метода истовремено, који се користе у моделирању, развоју и експерименталној верификацији софтверских решења као и методе геометријске анализе описа тела у CAD системима. Обзиром на проблематику оптимизације кандидат је користио и механистички модел одређивања силе глодања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и широку практичну примену. Главни резултат ове дисертације је метод оптимизације путање алата при обради скулпторских површина глодањем, а као непосредни излаз је NC програм за машину алатку. Развијено софтверско решење и његова верификација на обрадном центру, у лабораторији Катедре за производно машинство, показује предност развијене методологије у односу на методе примењене у комерцијалним CAM системима. Имајући у виду да развијени софтвер може, преко STEP стандарда, да преузме опис скулпторских површина издатка и припремка из било којег комерцијалног CAD система, говори о могућности врло широке примене развијених метода за оптимизацију путање алата при обради глодањем.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је по завршетку студија постао члан пројектног тима Катедре за производно машинство који је био ангажован на реализацији домаћих пројеката из програма Технолошког развоја. Ту је стекао потребна знања и вештине које су му омогућиле да се самостално упусти у истраживачи подухват везан за проблем обраде скулпторских површина. Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама те да поседује потребна стручна, теоријска и практична знања потребна за самостални научни рад што је показао реализацијом планираног истраживања од иницијалне идеје до завршетка докторске дисертације. Кандидат је показао такође и способност да организује сарадњу са другим истраживачима и истраживачким центрима што се нарочито огледа у извођењу делова истраживања дисертације на Универзитету у Ливерпулу, Велика Британија. Све ово га квалификује за даљи успешан самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Полазне основе за дефинисање садржаја и циљева ове дисертације су били резултати претходних вишегодишњих истраживања у области обраде скулпторских површина глодањем са лоптастим глодалом. Генерисан програм за NC машину алатку не дозвољава промену путање алата и дубине резања дуж уздужног кретања нити промену попречног корака којим је одређена наредна узастопна путања алата, у току процеса обраде. Резултати истраживања у оквиру ове дисертације су показали да је могуће извршити предикцију промена свих параметара који утичу на процес резања и да се изврши оптимизација путање алата према изабраним критеријумима.

Остварени научни доприноси настали као резултат истраживања у оквиру предметне докторске дисертације обухватају:

- Нови приступ односно метод оптимизације генерисања путање алата при обради скулпторских површина глодањем.
- Модел тренутног пресека струготине у обради вишесечним алатом.

- Метод за предикцију храпавости обрађене површине.
- Примењене и развијене нумеричко-експерименталне методе одређивања параметара обрадљивости за предикцију силе глодања при обради скулпторских површина.
- Развијену методологију интерног, компјутерског представљања CAD модела изратка и припремка ради ефикаснијег одвијања математичких прорачуна при одређивању путање алата при обради глодањем.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Развијена методологија оптимизације путање алата при обради скулпторских површина глодањем базира на упоредној анализи геометрије изратка и припремка и предикцији свих параметара обраде ради одређивања тренутног положаја алата у односу на израдак. На основу интерног, компјутерског CAD модела машинског дела, развијена методологија води ка генерисању оптималне путање алата при обради скулпторске површине. Ма како била сложена крива по којој ће се кретати алат, при генерисању NC програма, она мора бити математички описана. Уз сазнање да крива лежи на површини обратка, на основу критеријума оптимизације, морају се бирати тачке контакта алата и површине обратка. На основу нормала на скулпторској површини у тачкама контакта алата и површине обратка и сагласно геометрији алата, потребно је прорачунати положај алата водећи рачуна да не дође до колизије алата и неке површине на изратку. Експериментални резултати показују да су успешно савладане све препреке у решавању врло комплексног проблема генерисања оптималне путање алата при обради скулпторских површина ради израде NC програма за машину алатку.

4.3. Верификација научних доприноса

Докторанд Горан Младеновић је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор 28 радова на домаћим и међународним скуповима и часописима. Коаутор је једног Техничког решења, једног помоћног уџбеника и већег броја инсталација намењених унапређењу наставе и актуелним истраживањима.

Научни допринос докторске дисертације је верификован у следећим радовима објављеним у референтним међународним и домаћим научним часописима и на престижним конференцијама у земљи и иностранству:

M22 Научни рад у истакнутом међународном часопису

- [1] Mladenovic. G., Bojanic P., Tanovic Lj., Klimenko S., **Experimental Investigation of Microcutting Mechanisms in Oxide Ceramic CM332 Grinding**, Journal of Manufacturing Science and Engineering–Transactions Of The Asme, Vol.137 No.3, pp. 034502-034502-5, 2015, doi: 10.1115/1.4029564 (**IF=1.022**) (ISSN 1087-1357)

M24 Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком

- [1] Mladenovic, G., Tanovic LJ., Ehmann K.F., **Tool Path Generation for Milling of Free Form Surfaces With Feedrate Scheduling**, FME Transactions, Vol.43, No.1, pp. 9-15, 2015. (ISSN 1451-2092)

M33 Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини

- [1] Mladenovic, G., Tanovic Lj., Pjevic M., **Machining Error Determination For 3-Axis Milling Of Free Form Surfaces**, The 8th International Working Conference, Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches, Proceedings, ISBN 978-86-7083-

858-1, pp.215-220, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 1st – 5th June, 2015.

- [2] Mladenović G., Tanović Lj., Popović M., **Optimizacija putanje alata pri obradi slobodnih površina glodanjem**, 12. Međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering "KODIP 2014", Zbornik radova, ISBN 978-9940-527-35-8, pp. 239-245, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, Budva, 18 - 21 Juna, 2014.
- [3] Popović M., Tanović Lj., Mladenović G., **Eksperimenti ortogonalnog struganja u funkciji predikcije sila rezanja**, 12. Međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering "KODIP 2014", Zbornik radova, ISBN 978-9940-527-35-8, pp. 247-253, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, Budva, 18 - 21 Juna, 2014.
- [4] Mladenović, G., Tanović, Lj., Puzović, R., Popović, M., **Analysis Of Machining Strategies Using Commercial CAD/CAM Software**, 35th International Conference On Production Engineering 2013, Proceedings, ISBN 978-86-82631-69-9, pp.307-310, University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo, Kopaonik, 25 - 28 September, 2013.
- [5] Tanović Lj., Bojanić B., Popović M., Mladenović G., **Mehanički mikroobradni procesi**, 10. Međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering "KODIP 2012", Zbornik radova, ISBN 978-9940-527-24-2, pp. 47-53, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica, Budva, 26 - 29 Juna, 2012.
- [6] Tanovic Lj., Bojanic P., Puzovic R., Popovic M., Mladenovic G., **Analysis of Stone Micro-cutting Mechanism Using the Example of Granite and Marble Grinding**, 34th International Conference of Production Engineering 2011, Proceedings ISBN 978-86-6055-019-6, p.41–44, University of Nis, Faculty of Mechanical, Nis, 28 - 30 September, 2011.

M63 Radovi saopштteni na skupovima nacionalnog značaja, štampani u celini

- [1] Mladenović, G., Tanović, Lj., Pjević, M., **Obrada složenih površina glodanjem – poređenje strategija obrade**, 39. JUPITER konferencija, 26. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-838-3 , str. 2.19-2.24, Mašinski fakultet, Beograd, oktobar 2014.
- [2] Pjević, M., Mladenović, G., Puzović R., Tanović, Lj., **Primena CAD/CAM sistema u projektovanju u izradi profilnih kružnih strugarskih noževa**, 39. JUPITER konferencija, 26. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-838-3, str. 2.31-2.36, Mašinski fakultet, Beograd, oktobar 2014.
- [3] Tanović LJ., Bojanić P., Puzović R., Popović M., Mladenović G., **Primena CAD/CAM/CAE programskog paketa pri projektovanju i izradi alata za livenje pod pritiskom delova od polimera**, 37. JUPITER konferencija, 24. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-724-9, str. 2.22-2.29, Mašinski fakultet, Beograd, maj 2011.
- [4] Bojanić, P., Mladenović, G., **Analiza problema pri generisanju putanje alata pri obradi skulptorskih površina**, 37. JUPITER konferencija, 24. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-724-9, str. 2.57-2.62, Mašinski fakultet, Beograd, maj 2011.
- [5] Mladenović, G., **Analiza strategija obrade korišćenjem komercijalnih CAD/CAM softvera**, 37. JUPITER konferencija, 24. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-724-9, str. 2.63-2.68, Mašinski fakultet, Beograd, maj 2011.
- [6] Bojanić, P., Mladenović, G., **Generisanje putanje alata po kriterijumu izo-hrapavosti pri obradi skulptorskih površina na 3-osnim CNC mašinama**, 36. JUPITER Konferencija, 23. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-696-9, str.2.22–2.28, Mašinski fakultet Beograd, maj, 2010.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ“ кандидата Горана Младеновића, дипл. инж. маш., представља оригиналан научно-истраживачки рад високог ранга у области производног машинства у коме је аутор дао значајан допринос развоју метода за оптимизацију путање алата при обради скулпторских површина глодањем. Комисија такође сматра да је кандидат кроз дисертацију показао висок ниво стручног и теоријског знања које ће му омогућити успешан будући самостални научно-истраживачки рад.

На основу прегледа и оцене докторске дисертације кандидата

Горана Младеновића, дипл.инж.маш.

са темом

Оптимизација путање алата при обради скулпторских површина глодањем,

Комисија за оцену и одбрану закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима и позитивној пракси у научно-истраживачком раду, као и то да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета у Београду.

Сходно члану 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета у Београду Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упуту реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

Са поштовањем,

Чланови Комисије:

У Београду, 7.09.2015. године

Др Љубодраг Тановић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Драган Милутиновић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Радован Пузовић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Милош Главоњић, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду - Машински факултет

Др Милан Зељковић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1346/4
Датум: 21.10.2015. године
Београд, Краљице Марије бр. 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, Наставно-научно веће на седници одржаној 24.09.2015. године, донело је

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ОПТИМИЗАЦИЈА ПУТАЊЕ АЛАТА ПРИ ОБРАДИ СКУЛПТОРСКИХ ПОВРШИНА ГЛОДАЊЕМ“** студента **ГОРАНА МЛАДЕНОВИЋА**, дипл. инж. маш..

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

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 61206-2398/2-13, од 27.05.2013. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

- [1] Mladenovic. G., Bojanic P., Tanovic Lj., Klimenko S., Experimental Investigation of Microcutting Mechanisms in Oxide Ceramic CM332 Grinding, Journal of Manufacturing Science and Engineering–Transactions Of The Asme, Vol.137 No.3, pp. 034502-034502-5, 2015, doi: 10.1115/1.4029564 (IF=1.022) (ISSN 1087-1357)

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за производно машинство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић