

Образац 2.

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)

103/3
(Број захтева)

22.02.2016.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:

МИХАЈЛА (ДРАГУТИН) ПОПОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **МИХАЈЛО (ДРАГУТИН) ПОПОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА

Универзитет је дана 26.12.2011.. год. својим актом под бр. 06-8780/20-11 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **МИХАЈЛА (ДРАГУТИН) ПОПОВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 24.12.2015. године, одлуком факултета под бр. 2654/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Љубодраг Тановић	Ред. проф.	Производно маш.	Машински факултет Београд
2. Др Драган Милутиновић	Ред. проф.	Производно маш.	Машински факултет Београд
3. Др Радован Пузовић	Ванр. проф.	Производно маш.	Машински факултет Београд
4. Др Милош Главоњић	Ред. проф. у пензији	Производно маш.	Машински факултет Београд
5. Др Милан Зељковић	Ред. проф.	Производно маш. – Машине алатке, ФТС И и АПП	ФТН Нови Сад

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 21.01.2016. 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: 103/2
Датум: 21.01.2016. 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: др Љубодраг Тановић, ред.проф., ментор, др Драган Милутиновић, ред.проф., др Радован Пузовић, ванр.проф., др Милош Главоњић, ред.проф. М.Ф. у пензији и др Милан Зељковић, ред.проф., ФТН Нови Сад, о оцени докторске дисертације „Истраживање утицаја резног сечива у процесу урезивања навоја“ докторанда мр Михајла Поповића, дипл. инж. маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 21.01.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“** докторанда мр **МИХАЈЛА ПОПОВИЋА**, 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
мр Михајла Поповића, дипл. маш. инж.**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 2654/2 од 24.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Михајла Поповића, дипл. маш. инж. под насловом:

**„ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ
УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“**

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 насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“ и за ментора предложио проф. др Љубодрага Тановића. На основу пријаве за израду докторске дисертације мр Михајла Поповића, дипл. маш. инж. број 2761/1 од 02.11.2011. године, сагласности Катедре за производно машинство број 2761/2 од 11.11.2011. године и одлуке Наставно-научног већа (ННВ) Машинског факултета Универзитета у Београду број 2761/3 од 17.11.2011. године именована је Комисија за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу: др Љубодраг Тановић, ред. проф., ментор, МФ Београд, др Милош Главоњић, ред. проф., МФ Београд, др Павао Бојанић, ред. проф., МФ Београд, др Радован Пузовић, ванр. проф., МФ Београд и др Миодраг Лазић, ред. проф., ФИН Крагујевац.

На основу извештаја Комисије број 2761/4 од 30.11.2011. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 26.12.2011. године донело одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Михајла Поповића, дипл.маш.инж., а на основу чега је Декан Машинског факултета Универзитета у Београду донео Закључак број 108/1 од 12.01.2012. године о одобравању рада на предметној дисертацији под менторством проф. др Љубодрага Тановића.

На основу извештаја проф. др Љубодрага Тановића, ментора, да је кандидат мр Михајло Поповић, дипл.маш.инж. завршио докторску дисертацију под насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“, као и предлога Катедре за производно машинство, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку број 2654/2 од 24.12.2015. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Љубодраг Тановић, ред. проф., ментор, др Драган Милутиновић, ред. проф., др Радован Пузовић, ванр. проф., др Милош Главоњић, ред. проф. у пензији и др Милан Зељковић, ред. проф.

Кандидат мр Михајло Поповић, дипл.маш.инж. је на Машинском факултету Универзитета у Београду 15.11.2001. године одбранио магистарски рад под насловом „Прилог развоју метода пројектовања и оптимизације носећих структура преса за фазонско савијање лимова“.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“ 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

Михајло Поповић је рођен у Београду, 21.02.1969. Основну школу „Карађорђе“ у Београду завршио са постигнутим одличним успехом и као добитник дипломе „Јован Микић - Спартак“. Математичко-техничку средњу школу „25. мај“ (IV београдску гимназију) завршио одличним успехом и матурирао 1987. године.

Дипломирао је у фебруару 1996. године на Машинском факултету Универзитета у Београду, смер Производно машинство са просечном оценом 8.25. Дипломски рад је урадио из предмета Алати и прибори (ментор: проф. др Миленко Јовичић) и исти одбранио са оценом 10. Магистарску тезу (ментор: проф. др Милисав Калајџић) под називом „Прилог развоју метода пројектовања и оптимизације носећих структура преса за фазонско савијање лимова“, одбранио у октобру 2001.

По дипломирању, ради у фирмама ИМТ и ГРМЕЧ из Београда. Од октобра 1996. године ради на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду као асистент приправник за предмете катедре за производно машинство, затим као асистент, па сарадник. Био је ангажован на извођењу вежби на предметима: Технологија машиноградње, Технологија машинске обраде, Алати и прибори, Алати за обраду лима, Нове технологије, Пројектовање обрадних система, Машине алатке, Производни системи, Кибернетика, Рачунарски интегрисана технологија, Компјутерска графика.

Аутор и коаутор два рада у истакнутим међународним часописима и већег броја радова, на научно-стручним скуповима, који су проистекли кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката из области производног машинства. Учествовао у изради приручника за предмет Технологија машинске обраде, где се појављује као коаутор, а који се користи у настави на више предмета катедре. Коаутор једног техничког решења и више инсталација намењених унапређењу наставе и актуелним истраживањима.

Користи већи број компјутерских апликација (MS Windows i Linux OS, MS Office, Open Office, AutoCad, Inventor, Pro/Engineer, Pro/Mechanica, Fortran, Visual Basic). Тренутно је ангажован као сарадник на Катедри за производно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду. Живи у Београду са супругом Биљаном и сином Николом.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Михајла Поповића, дипл.маш.инж. под насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“ има следећих девет поглавља укључујући и списак литературе:

1. Уводна разматрања,
2. Преглед стања истраживања процеса урезивања навоја,
3. Теоријске основе процеса обраде резањем,
4. Базни елементи процеса урезивања навоја,
5. Експериментална идентификација процеса ортогоналног резања,
6. Развој модела за предикцију сила резања,
7. Експериментална верификација модела за предикцију сила резања при урезивању навоја,
8. Закључна разматрања и предлог будућих истраживања и
9. Литература.

Докторска дисертација је изложена на 198 страница и садржи 125 слика и дијаграмских приказа, 9 табела, 120 коришћена референтна литературна извора и прилог.

У дисертацији су представљена истраживања која се односе на домен технологије машинске обраде скидањем струготине, првенствено у металопрерађивачкој индустрији, и то на технологију урезивања навоја. Развијен је систем за предикцију сила и момента урезивања навоја кроз виртуелни процес обраде, чија је суштина да се процес пре своје физичке реализације у реалном оквиру, симулира кроз рачунарску симулацију, и на тај начин пружи увид у ефекте процеса обраде.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дисертације најављени су предмет и циљеви истраживања у оквиру дисертације који се односе на развој поузданог аналитичког и симулационог модела за анализу и предикцију сила и момента резања који се јављају у процесу урезивања навоја. Презентоване су полазне хипотезе као и основни циљеви и доприноси предметне дисертације и услови у којима су применљиви. За анализу и предикцију сила у процесу обраде при задатим условима, основу представља макромеханички модел сила резања на елементарним праволинијским деловима сложеног сечива, насталим дискретизацијом резног дела урезника. Експериментални резултати процеса ортогоналног резања су примењени на сваки елементарни сегмент сечива урезника, односно трансформација ортогоналног на косо резање.

Кроз друго поглавље је дат историјски осврт на процес обраде метала резањем и преглед стања истраживања са освртом на процес урезивања навоја на основу литературних извора.

У литератури је присутан мали број објављених научних радова на ову тему, и они обухватају два истраживачка правца: примену аналитичког приступа (макромеханички) и примену нумеричких метода. Завидне резултате у овој области су постигле научно-истраживачке институције у Аустралији, САД, Канади, Немачкој и кроз концепт „обједињене-опште механике резања“. Наша школа развила је и поставила концепт идентификације сила у процесу урезивања навоја, оцену тачности мера, облика и квалитета обрађене површине.

Напоменуто је да у анализираним радовима који се баве предикцијом сила и момента, аутори износе одговарајуће претпоставке којима поједностављују постављене моделе, а које се односе на улогу помоћних сечива, дискретизацију сечива, геометрију урезника и утицај ефективне брзине.

У трећем поглављу су дате теоријске основе процеса обраде метала резањем које се односе на геометрију алата и њихов опис у просторним координатним системима, дефинисање механике обраде при ортогоналном и косом резању и постављање аналитичких модела за поступак предикције сила и момента резања. Описан је усвојени модел, по коме поред компоненте силе резања која је најутицајнија за механизам настанка струготине, постоје и компоненте које су у одређеним условима доминантне, нарочито при малим дубинама резања, реда величине заобљења сечива. У раду су ове компоненте означене као ивичне компоненте силе које су последица великих контактних притисака уз само главно сечиво, ка леђној површи резног клина. Усвојен је модел силе у коме су силе резања линеарно пропорционалне пресеку резаног слоја, док су ивичне силе пропорционалне дужини сечива чији су коефицијенти одређени екстраполацијом експерименталних резултата ортогоналног резања за нулту дебљину резаног слоја.

Модели који узимају у обзир ивичне силе нису детаљније разматрани у домаћој уџбеничкој литератури, мада су описивани и публиковани у истраживачким радовима.

Четврто поглавље се односи на обрадни систем урезивања навоја у којем су дати основи појмови, приказана подела алата и стандарди, описани урезници, поступци њихових избора и механика урезивања. Тежиште у овом поглављу се односи на утицај помоћних сечива, с обзиром на њихову дужину у односу на дужину главног сечива. Овај однос расте са повећањем нападног угла у корист помоћних сечива, тако да је при $\kappa=10^\circ$ однос 1, а при $\kappa=20^\circ$ изнад 1.5, што значи да је збир дужина помоћних сечива већи од дужине главног сечива. Прво помоћно сечиво започиње обраду и има улогу главног сечива и то са нападним углом који је преко три пута већи него код главног сечива, док и друго, супротно оријентисано равноправно учествује у обради пуним профилем с обзиром на велики корак обраде какав се не јавља у другим обрадама. Због свега је закључено да је оправдано укључивање утицаја ових сечива у постављени модел, поготово што им се геометријски елементи доста разликују.

У поглављу пет, према усвојеном хибридном тј. приступу јединствене механике процеса резања, извршена је експериментална идентификација процеса ортогоналног резања. Ортогонално резање се трансформише општим моделом за трансформацију у косо резање. Коришћена је оригинална поставка експеримента уз коришћење двокомпонентног динамометра. Инсталацији је придодат сензор позиције главног вретена који је искоришћен за верификовање постојања ивичних сила које су одређене екстраполацијом експерименталних резултата за нулту дебљину резаног слоја. Учињен је напор за убрзање обраде података кроз формирање табеле за аутоматизацију прорачуна. Поред најчешће коришћених метода за одређивање фактора сабијања струготине, предложене су методе (фотографска и микроскопска). У циљу скраћења потребног времена за обраду експерименталних података и потпуну аутоматизацију направљен је осврт на примену методе коначних елемената као алтернативи извођењу експеримената у реалном окружењу.

У оквиру поглавља шест предложен је и развијен алгоритам за предикцију тренутних вредности компонената сила и момента, кроз симулацију радног хода алата при урезивању навоја урезником са правим жлебовима и при изабраним условима обраде. У односу на постојеће, развијени модел је унапређен и обухвата утицај помоћних сечива која имају другачију геометрију у кинематичком координатном систему.

Модел за предикцију разматра главна и помоћна сечива на резном - конусном делу урезника као скуп елементарних сечива која имају своју дужину, површину деловања и геометрију и изводе косо резање. Укупна вредност сила и момента у произвољном положају урезника добија се сумарним дејством сваког од елементарних сечива на бази трансформације ортогоналног у косо резање.

Модел захтева детаљну анализу геометрије урезника која је извршена аналитички и кроз параметарски модел у оквиру CAD пакета користећи екстерну базу података. Геометрија резног алата је детаљно дефинисана у геометријском систему који укључује сет геометријских параметара који дефинишу апсолутне и релативне позиције свих

елемената у обрадном систему. За везу дефинисаних координатних система, који се односе на алат и машину алатку, дефинисане су матрице трансформације према конвенцији за опис и представљање из компјутерске графике. На основу постављеног аналитичког модела, матрица трансформација и дефинисаног алгорита у Matlab окружењу реализовани су програми који воде ка предикцији сила и момента урезивања. Ови програми су развијени за тип урезника са правим жлебовима и омогућавају дефинисање геометрије сечива и њихову дискретизацију, графичку верификацију дискретизованих сечива и на крају резултате предикције који се односе на зависности аксијалне и бочне силе и момента урезивања. Бочне силе су присутне у равни управној на осу урезника и нису уравнотежене због прекидних сечива различите дужине по жлебовима урезника што је нарочито изражено код урезника са три жлеба.

Приказани су примери предикције за урезнике М8 и М10, као и урезник М10 са кога су брушењем уклоњени зуби на калибришућем делу и коме су остављена само 6 па 3 зуба на резном делу. На овај начин су искључени утицаји трења на калибришућим зубима. Извршена је анализа осетљивости модела на распоред сечива и величину изабраног инкремента поделе сечива.

У седмом поглављу су приказане две развијене експерименталне инсталације за мерење сила и момента урезивања, које су коришћене за верификацију сила и момента при урезивању навоја. Пројектовани су помоћни прибори којима је извршена надоградња мерног система, мерном опремом за мерење линеарног помераја алата у односу на главно вретено машине алатке. На тај начин је омогућено регистровање грешке у остваривању корака навоја. Коришћењем бесконтактног давача омогућена је идентификација тренутка промене смера главног вретена на крају радног хода урезника.

Експерименти су извођени са истом комбинацијом материјала алата и обратка као и експерименти ортогоналног резања.

Верификација развијеног модела је показала усаглашеност експериментално добијених вредности са вредностима добијених предикцијом за аксијалну силу и момент, чиме је и верификован научни допринос постављеног концепта дискретизације сечива и трансформације ортогоналног на косо резање у процесу урезивања навоја.

У закључку (осмо поглавље) је дат осврт на резултате истраживања описане у дисертацији, по појединим поглављима. Такође је назначена могућа примена остварених резултата.

У закључку су наведени и очекивани правци даљих истраживања, који се односе на формирање базе података коефицијената резања за комбинације материјала алат-обрадак и услова обраде, односно за предикцију сила резања код урезивања навоја у производним условима. Такође је потребно наставити и развој мерно-аквизиционих система, а с тим у вези потребно је размотрити коришћење све присутних нумеричких метода симулације, као што је метод коначних елемената.

Даље унапређење модела би представљало укључивање поремећајних фактора насталих услед грешака које се могу јавити у процесу урезивања а представљају мимоилажење оса, ексцентритет алата или лом зуба и проширење модела за предикцију сила и момента урезивања навоја на друге типове урезника, са другачијом геометријом, међу којима су урезници са косом резном ивицом и са завојним жлебовима.

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

У прилогу су обједињени експериментални резултати истраживања процеса ортогоналног резања, као и програмски листинг према алгоритму модела за предикцију сила резања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Имајући у виду реалне проблеме који прате производно окружење, пословни успех и постојећу домаћу индустрију алата и тренд савремених истраживања, која се односе на развој и унапређење технологија и конструкција урезника, може се закључити да дисертација „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“ кандидата мр Михајла Поповића, дипл.маш.инж. представља поуздан и ефикасан начин за предвиђање сила и момента резања при урезивању навоја.

Дисертација представља једну савремену интерпретацију обраде урезивањем у оквиру виртуелног обрадног система. За потребе комплетирања те интерпретације било је потребно одабрати метод за идентификацију сила резања и применити га у самостално развијеној процедури за предикцију сила у обради урезивањем задатим режимом обраде.

Савременост дисертације се огледа у изради, примени и верификацији процедура за предикцију обраде урезивања у виртуелном обрадном систему.

Оригиналност дисертације се огледа у самостално одабраним и имплементираним методима за предикцију сила у обради урезивањем. За потребе предикције сила вршени су самостално планирани експерименти ортогоналног резања за идентификацију специфичних сила (који су у дисертацији сврстани у групу хибридних метода), као параметара одабраног линеарног модела сила у обради урезивања навоја. За идентификацију параметара ових модела коришћене су осредњене вредности измерених сила у централних 50% зоне обраде константном дужином и дебљине узорака струготине.

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 предметној дисертацији је коришћена литература чији је списак дат у поглављу 9 са укупно 120 референци. 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 која се односи на класичне и модерне теме у обради резањем. Бројност литературних извора говори о актуелности истраживања у области процеса обраде, 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 изрази које су преузете из објављених радова су исправно цитирани.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање је засновано на методима анализе, синтезе, савремених нумеричких и експерименталних метода, који се користе у моделирању, развоју и експерименталној верификацији софтверских решења као и методе геометријске анализе алата у CAD системима. У дисертацији је примењено више научних метода:

За самосталан развој и верификацију поузданог симулационог модела коришћене су методе предикције вредности сила и момента у обради урезивања навоја које су обухватиле самостални развој и верификацију поузданих симулационих модела, потребних за комплетирање обраде урезивањем у условима виртуелног обрадног система. Главно радно окружење за ову методу је Matlab®.

Друга група примењених метода садржи методе планирања и извођења експеримената (i) ортогоналног резања и (ii) урезивања навоја у којима се идентификују: силе урезивања, момент, релативно кретање алата у односу на главно вретено и пуни обрти алата. Радно окружење за ове методе чине LabVIEW® и Matlab®.

Трећа група примењених метода садржи методе за пројектовање модела алата. Радно окружење за ове методе чини Autodesk Inventor® CAD систем, у којем је на основу технологије израде пројектован параметарски модел урезника из којег се могу преузети

подаци о положају и оријентацији сечива.

Успешна верификација добијених резултата у посматраном окружењу потврђује и адекватност примењених метода за истраживања и симулацију обраде.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и широку практичну примену. Примена развијених модела и алгоритама доприноси постизању следећих техноекономских ефеката: краће време пројектовања нових конструкција урезника и оптималан број операција израде урезника, подизање производности урезивања навоја уз најмање његово хабање, постизање високе тачности мера, облика и квалитета површине навоја а тиме и подизање конкурентности урезника на тржишту. Изведена истраживања су изузетно корисна у решавању проблема механике лома алата и лошег квалитета израђеног навоја и примењива су како за произвођаче алата тако и за кориснике при дефинисању режима обраде са циљем повећања продуктивности. Резултати се односе на предикцију сила и момента у обради урезивањем навоја користећи процедуре за идентификацију специфичних сила резања. Сви резултати у оквиру предметне дисертације су верификовани кроз експериментална истраживања.

3.5. Оцена достигнутих способности Кандидата за самостални научни рад

Кандидат је и пре израде ове дисертације осмислио и конципирао лабораторијску опрему, планирање експеримената и аквизицију експерименталних података и тиме је стекао сасвим довољно искуство за експериментални рад у лабораторијским и индустријским условима. На основу тога је и предложио план истраживања за потребе ове дисертације, а добијени резултати и структура саме дисертације, у којој су ти резултати приказани, квалификују Кандидата за самостални научни рад, али и за планирање и организацију таквог рада.

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким сазнањима и методама, што представља основу за даљи научно истраживачки 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 отвора и рупа урезивањем навоја. У оквиру реализације дисертације било је неопходно извршити обимна теоријска и експериментална истраживања која су довела до очекиваних научних доприноса.

Општи научни допринос ове дисертације је допринос теорији резања, и представља прилог процесу урезивања навоја кроз развој специфичног аналитичког модела сила и момента урезивања и алгоритму који се на том моделу заснива, као основе за развој софтверских модула процеса.

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

- Савремени модел за предикцију сила и момента у обради урезивања навоја.
- Примењене и развијене нумеричко-експерименталне методе за потребе ефикасне идентификације специфичних сила резања за предикцију сила и момента.
- Развијену методологију компјутерског представљања параметарског CAD модела урезника из којег се преузимају подаци о положају и оријентацији сечива.
- Процедуре дефинисања планова експеримената и сами експерименти за потребе верификације сила резања и момента у обради урезивањем

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Проблеми са којима се сусрећемо у процесу урезивања навоја су инхерентно променљиве силе током процеса и могућност лома алата и лош квалитет израђеног навоја. Последице лома алата доводе до формирања непоправљивих неусаглашености на изратку и могу имати драстичне економске ефекте. Предложена истраживања су изузетно корисна јер омогућавају предвиђање лома.

Изведена истраживања дефинишу интеракцију резног сечива урезника са обрађиваним материјалом обухватајући: профил урезника, утицај грудног и леђног угла на силе и момент урезивања навоја и трансформацију ортогоналног у косо резање и пружају дефинисање оптималних конструкција урезника који ће дати најбоље резултате њихове примене у пракси.

Експериментални резултати показују да су успешно преброђене све препреке у решавању врло комплексног проблема који карактеришу процес урезивања навоја.

4.3. Верификација научних доприноса

Мр Михајло Поповић је кроз усавршавање и рад на више научних и стручних пројеката био аутор и коаутор преко тридесет радова на домаћим и међународним скуповима и часописима. Коаутор је једног Техничког решења, једног уџбеника и више 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 (SCI – Web of Science®)

- [1] Tanovic Lj., Bojanic P., **Popovic M.**, Belic Z., Trifkovic S., Mechanisms in Oxide-Carbide Ceramic BOK 60 Grinding, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 58 br. 9-12, str. 985-989, 2012 (IF(2012)= 1.205, ISSN: 0268-3768).

M23 Научни рад у међународном часопису (SCI – Web of Science®)

- [1] **Popović, M.**, Stoić, A., Tanović, Lj., Prediction of tapping forces and torque for 16MnCr5 alloyed steel, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 23, No. 3, to be published towards the end of June 2016, doi10.17559/TV-20150618074143. (IF(2014)= 0.579, ISSN: 1330-3651). Потврда о пријему и категоризацији рада налази се у прилогу овог Извештаја.

M33 Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини

- [1] **Popović, M.**, Tanović, Lj., Tapping procces simulation based on orthogonal cutting tests, II International scientific conference COMETA 2014, Proceedings, pp. 25-32, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Jahorina, B&H, Republic of Srpska, 2-5.12.2014.
- [2] Mladenović G., Tanović Lj., **Popović M.**, Tool parh optimization for machining of free form surfaces, XII International conference Maintenance and production engineering „KODIP - 2014", Proceedings, pp. 239-247, Budva, 18-21.6.2014.
- [3] **Popović M.**, Tanović Lj., Mladenović G., Orthogonal turning experiments for predicting the cutting forces, XII International conference Maintenance and production engineering „KODIP - 2014", Proceedings, pp. 247-253, Budva, 18-21.6.2014.
- [4] **Popović, M.**, Tanović, Lj., Mladenović, G., Geometry analysis of straight fluted taps, 35th International Conference on Production Engineering ICPE 2013, Proceedings, pp.85-88, Kopaonik, 25-28.9.2013.

- [5] 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, pp.307-310, Faculty of Mechanical and Civil Engineering Kraljevo, Kopaonik, September 2013.
- [6] Tanović Lj., Bojanić B., **Popović M.**, Mladenović G., Mechanical micro manufacturing processes, X International Conference Maintenance and Production Engineering „KODIP - 2012“, Proceedings, pp. 47-53, Budva, 2012.
- [7] Танович Л., Боянич П., **Попович М.**, Младенович Г., Специфика микрорезања гранита, VII-а Міжнародна науково-технічна конференція "Процеси механічної обробки, верстати та інструмент", Збірник, с.328–338, Житомир, 05 – 08.10.2011.
- [8] Mladenovic G, **Popovic M.**, Design and optimization for truss constructions using the software package Autodesk Inventor 2011, 7th International Conference HM 2011, pp.29-32, Vrnjacka Banja, 2011
- [9] 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, p.41–45, Faculty of Mechanical, University of Nis, Nis, September 2011.
- [10] Tanovic L., **Popovic M.**, Milutinovic M., Osobennosti processa rezki mramora, 11. međunarodni naučno-tehnički skup: Sovremennije problemji proizvodstva i remona v promislennosti i na transporte, Kiev, Karpati, Ukraina, s.260-264, 2011.

М63 Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини

- [1] **Поповић, М.**, Параметарско моделирање урезника са правим жлебовима, 39. ЈУПИТЕР конференција, 26. симпозијум CAD/CAM, Зборник радова, стр. 2.37-2.40, Универзитет у Београду - Машински факултет, Београд, 2014
- [2] Тановић Љ., Пузовић Р., **Поповић М.**, Бојанић П., Младеновић Г., Примена CAD/CAM/CAE програмског пакета при пројектовању и изради алата за ливење под притиском делова од полимера, 37. ЈУПИТЕР конференција, 24. симпозијум CAD/CAM, Зборник радова, стр. 2.22-2.28, Машински факултет, Београд, мај 2011.

М85 Техничко решење

- [1] Тановић, Љ., Бојанић, П., Пузовић, Р., **Поповић, М.**, Милутиновић, М., Младеновић, Г., Нова метода пројектовања и технологије израде профилних призматичних – тангенцијалних стругарских ножева, Техничко решење, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2010.

Учешће у домаћим научним пројектима

- [1] Пројекат ТР-35022, Развој нове генерације домаћих обрадних система, руководилац проф. др Љубодраг Тановић, 2011-2015
- [2] Пројекат МА14034, Развој технологија вишеосне обраде сложених алата за потребе домаће индустрије, руководилац проф. др Љубодраг Тановић, 2008-2010

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под насловом „ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“ кандидата мр Михајла Поповића, дипл.маш.инж. представља савремен и оригиналан научно-истраживачки рад високог ранга у области производног машинства у коме је аутор дао значајан научни допринос развоју модела за предикцију сила и момента процеса урезивања навоја. 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

мр Михајла Поповића, дипл.маш.инж.

са темом

ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА

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.

С поштовањем,

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

У Београду,
18.01.2016. године

To:

Your ref.:

Our ref.: AA-TV-20150618074143

Slavonski Brod, 10-07-2015

Subject: **Acceptance of Article**Article ID: **TV-20150618074143**DOI Number^{*)}: **10.17559/TV-20150618074143**Title: **PREDICTION OF TAPPING FORCES AND TORQUE FOR 16MnCr5 ALLOYED STEEL**Author/s: **Mihajlo Popović, Antun Stoić, Ljubodrag Tanović**

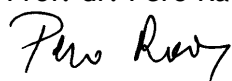
Dear authors!

Your article (mentioned above) has been accepted for publication in the journal Tehnički vjesnik/Technical Gazette (Print: ISSN 1330-3651, Online: ISSN 1848-6339), Vol. 23/No. 3 to be published towards the end of **June 2016**. The article is classified as **preliminary notes**. The Journal indexed in Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal Citation Reports (IF = 0,579 for 2014), Scopus, INSPEC, Compendex, Geo Abstracts etc.

Attached is the Copyright Transfer Agreement with Payment Data. Please read carefully the enclosed Copyright Transfer Agreement with Payment Data and if you agree with the given terms fill in the necessary data, sign the form, keep a copy for yourself and send the original to our address by regular mail (also e-mail a copy to tehnvj@sfsb.hr or send a fax to +385 35 446 446).

When we have received the Copyright Transfer Agreement, your article will be published in the Journal.

Yours sincerely,

Editor-in-Chief:
Prof. dr. Pero Raos

Enclosed documents:

- Copyright Transfer Agreement and Payment Data

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:103/4
Датум: 21.01.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 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), Наставно-научно веће на седници одржаној 21.01.2016. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА РЕЗНОГ СЕЧИВА У ПРОЦЕСУ УРЕЗИВАЊА НАВОЈА“** докторанда мр **МИХАЈЛА ПОПОВИЋА**, дипл. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 06-8780/20-11, од 26.12.2011. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

[1] Tanovic Lj., Bojanic P., **Popovic M.**, Belic Z., Trifkovic S., Mechanisms in Oxide-Carbide Ceramic BOK 60 Grinding, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 58 br. 9-12, str. 985-989, 2012 (IF(2012)= 1.205, ISSN: 0268-3768).

[1] **Popović, M.**, Stoić, A., Tanović, Lj., Prediction of tapping forces and torque for 16MnCr5 alloyed steel, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 23, No. 3, to be published towards the end of June 2016, doi10.17559/TV-20150618074143. (IF(2014)= 0.579,ISSN: 1330-3651).

Потврда о пријему и категоризацији рада налази се у прилогу овог Извештаја.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић