

**ИЗВЕШТАЈО ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

**-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена**

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| <b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>  |
|---|
| <p>1. Датум и орган који је именовео комисију:</p> <p>На основу предлога Катедре за процесе обраде скидањем материјала, Одлуке Наставно-научног већа Департмана за производно машинство и одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, а у складу са чланом 77, став 1 Статута Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука, решењем 012-72/33-2011 од 07.07.2016. године, именовео је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p>   |
| <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Др Марин Гостимировић, редовни професор</b>, 29.12.2011., Факултет техничких наука, Нови Сад, УО: Процеси обраде скидањем материјала; <b>председник</b></li><li>2. <b>Др Драган Шешлија, редовни професор</b>, 04.10.2007., Факултет техничких наука, Нови Сад, УО: Мехатроника, роботика и аутоматизација и интегрални системи; <b>члан</b></li><li>3. <b>Др Богдан Недић, редовни професор</b>, 15.09.2009., Факултет инжењерских наука, Крагујевац, УО: Производно машинство; <b>члан</b></li><li>4. <b>Др Миленко Секулић, ванредни професор</b>, 15.10.2012., Факултет техничких наука, Нови Сад, УО: Процеси обраде скидањем материјала; <b>члан</b></li><li>5. <b>Др Павел Ковач, редовни професор</b>, 21.05.1998., Факултет техничких наука, Нови Сад, УО: Процеси обраде скидањем материјала; <b>ментор</b></li></ol> |
| <b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>  |
| <p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p><b>АНЂЕЛИЈА (МИЋУН) МИТРОВИЋ</b></p>  |
| <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p><b>21.11.1970. год., Чачак, Република Србија</b></p>  |
| <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив:</p> <p><b>Машински факултет у Београду, Хидроенергетика, Дипломирани машински инжењер<br/>Факултет техничких наука у Чачку, Техника и информатика, Професор технике и информатике</b></p>  |

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

-

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

**Факултет техничких наука у Чачку, „Имплементација виртуелног окружења у MOODLE LMS за колаборативно учење 3D моделирања“, Информационе технологије, 24.09.2010. год.**

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

**Информационе технологије**

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Моделирање процеса обраде резањем**

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Предмет истраживања ове докторске дисертације односи се на моделирање процеса обраде резањем преко температуре резања при обради глодањем применом методе коначних елемената (МКЕ). Истраживања су урађена етапно.

У првој фази су спроведена експериментална мерења температуре у зони резања при обради глодањем са вретенастим глодалима од тврдог метала и брзорезног челика. Снимање температуре резања током експеримента спроведено је посредством термовизијске камере.

У другој фази, након детаљног приказа структуре трофакторног плана експеримента другог реда, засебно су разрађени модели без међусобног утицаја и модели са међусобним утицајем параметара обраде на температуру у зони резања при обради вретенастим глодањем.

У трећој фази спроведена је почетна симулација топлотних појава при процесу обраде резањем, кориштењем одабраних програмских пакета ANSYS и AdvantEdge. На основу креираних симулација, уочени су одређени проблеми и ограничења у ANSYS-у, која отежавају и скоро онемогућавају поуздану анализу температуре у зони резања при процесу обраде глодањем. За разлику од ANSYS-а, програмски пакет AdvantEdge омогућио је свестрану анализу температуре у зони резања при обради вретенастим глодалима. Из тих разлога добијени резултати у ANSYS-у се одбацују и у даљем раду се анализирају резултати добијени у AdvantEdge-у.

У четвртој фази, према трофакторном плану експеримента, креиране су симулације процеса обраде глодањем у програмском пакету AdvantEdge. Анализирани су утицаји елемента режима обраде на температуру резања при процесу обраде вретенастим глодалом.

У последњој фази извршена је анализа резултата истраживања добијених експериментом, трофакторним планом и симулацијама у AdvantEdge-у. Анализа показује да симулације креиране у AdvantEdge-у, иако дају нешто већу средњу процентуалну грешку у односу на трофакторни модел, могу да се користе за брзо и поуздано предвиђање температуре у зони резања при обради глодањем.

У том контексту, реализована експериментална и симулациона истраживања представљају посебан научни допринос ове дисертације у области моделирања процеса обраде резањем.

Докторска дисертација написана је на српском језику ћириличним писмом. Основни текст дисертације садржи 10 поглавља на 112 страна, и то:

1. Увод
2. Истраживање процеса обраде метала резањем кроз анализу топлотних појава
3. Метода коначних елемената
4. Моделирање процеса обраде применом вишефакторног плана експеримента

5. Експериментална испитивања
6. Симулација топлотних појава при глодању у програмском пакету ANSYS
7. Симулација топлотних појава при глодању у програмском пакету AdvantEdge
8. Анализа резултата
9. Закључак
10. Литература

Испред основног текста налазе се још наслов рада, кључна документацијска информација, захвалност и садржај који су посебно нумерисани.

Текст дисертације садржи 106 слика (овим бројем су обухваћене шеме, слике, дијаграми), 19 табела и 102 литературне референце.

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

### **1. Увод**

У уводном поглављу укратко су представљени предмет и циљеви истраживања, полазне хипотезе, методологија истраживања и очекивани резултати.

Комисија сматра да је у уводном делу кандидат јасно дефинисао проблематику и значај истраживања, како са научног тако и са практичног становишта.

### **2. Истраживање процеса обраде метала резањем кроз анализу топлотних појава**

У овом поглављу дате су теоријске основе генерисања и дистрибуције топоте при обради резањем. Анализирано је температурско поље зоне резања и улазни параметри који утичу на температуру резања. Посебно су издвојена и анализирана три основна улазна параметра у процесу обраде метала резањем. тј. брзина резања, помак и дубина резања. Такође, на систематизован начин је дат преглед досадашњих истраживања техника и метода мерења температуре резања.

Комисија сматра да је на адекватан начин извршена анализа топлотних појава при обради резањем и тиме постављени неопходни теоријски аспекти за успешну реализацију истраживања дефинисаних докторском дисертацијом.

### **3. Метода коначних елемената**

На почетку трећег поглавља полази се од теоријских основа методе коначних елемената (МКЕ) и могуће примене ове методе у обради метала резањем. Након тога описани су конститутивни модели радног материјала, дефинисани гранични услови симулације и постављени критеријуми за одвијање процеса обраде резањем. Затим је објашњено дефинисање мреже коначних елемената и утицај који крупноћа и тип мреже могу имати на тачност резултата симулације. У наставку поглавља, с обзиром на то да је веома важан правилан избор програмских пакета за симулацију процеса обраде резањем методом коначних елемената, приказане су могућности које пружају програмски пакети ANSYS и Third Wave AdvantEdge. На крају поглавља дат је преглед и критички осврт на досадашња истраживања процеса обраде метала резањем, методом коначних елемената.

Комисија сматра да је кандидат на прегледан и систематичан начин приказао могућности примене методе коначних елемената, посебно у подручју топлотних појава у процесу обраде метала резањем.

### **4. Моделирање процеса обраде применом вишефакторног плана експеримента**

У овом поглављу је на врло детаљан и систематичан начин дат теоријски приказ моделирања процеса обраде резањем применом трофакторног плана експеримента другог реда, кориштењем модела без међусобног утицаја и модела са међусобним утицајем.

Комисија сматра да су обухваћени и разјашњени сви неопходни теоретски аспекти за успешно моделирања процеса обраде применом трофакторног плана експеримента.

## **5. Експериментална испитивања**

Поступак експерименталних истраживања је детаљно приказан у петом поглављу. У овом поглављу прво су дати услови при експерименталном испитивању температуре у зони резања при обради глодањем и то у погледу материјала обратка, машине алатке, алата и режима обраде. У наставку је приказана методологија вишефакторног плана експеримента. За улазне независне параметре изабрани су: брзина резања, помак по зубу и дубина резања. Вредности ових параметара су вариране на основу препорука произвођача алата, односно с обзиром на ограничења машине алатке. Следи детаљан приказ методе мерења температуре резања термовизијском камером. На крају поглавља приказани су табеларно систематизовани резултати експерименталних истраживања.

Комисија сматра да је кандидат у овом поглављу прегледно дао приказ услова, методологије, процедуре и резултата мерења температуре резања при вретенастом глодању.

## **6. Симулација топлотних појава при глодању у програмском пакету ANSYS**

У овом поглављу приказана је методологија за креирање симулације процеса обраде резањем при вретенастом глодању помоћу методе коначних елемената у програмском пакету ANSYS. Дат је детаљан приказ сваког од корака методологије у наведеном програмском пакету, као и приказ симулације вретенастог глодања са изабраним режимом обраде. На основу креираних симулација уочени су значајна проблеми за поуздану анализу температуре у зони резања, чиме се у даљем раду добијени резултати у ANSYS-у не анализирају.

Комисија сматра да је кандидат у овом поглављу свестрано приказао и анализирао поступак креирања симулације вретенастог глодања са изабраним режимом обраде у програмском пакету ANSYS.

## **7. Симулација топлотних појава при глодању у програмском пакету AdvantEdge**

У овом поглављу приказана је методологија за креирање симулације процеса обраде резањем при вретенастом глодању помоћу методе коначних елемената у програмском пакету AdvantEdge. Дат је детаљан приказ методологије, као и приказ симулације вретенастог глодања са изабраним режимом обраде. Спроведене симулације у AdvantEdge-у су указале на могућност поуздане анализе температуре у зони резања при обради вретенастим глодалима.

Комисија сматра да је кандидат у овом поглављу нарочито квалитетно сагледао и приказао поступак креирања симулације вретенастог глодања са изабраним режимом обраде у програмском пакету AdvantEdge.

## **8. Анализа резултата**

У овом поглављу приказани су резултати анализе утицаја елемената режима обраде на температуру резања при обради вретенастим глодалом. Анализирани су резултати истраживања добијени експериментом, трофакторним моделом другог реда и симулацијама методом коначних елемената у програмском пакету AdvantEdge-у. Резултати анализе су приказани у виду дијаграма који су конципирани тако да дају вредности температура резања при различитим режимима обраде. Упоредни прикази анализираних резултата су представљени и образложени на јасан и прецизан начин.

Комисија закључује да су степен организације, квалитет приказа и описа анализе резултата истраживања на високом нивоу.

## **9. Закључак**

У овом поглављу дати су кључни закључци изведени на основу спроведених резултата истраживања, тј. њихове анализе и дискусије. На крају поглавља дати су предлози за будућа истраживања, као што су превазилажења одређених недостатака при симулацији процеса у поменутих програмским пакетима, затим могућности имплементације ове методе моделирања процеса у различитим врстама обраде резањем, испитивање већег броја излазних перформанси итд. Тиме се поставља добра основа за дефинисање даљих

праваца истраживања у посматраној научној области.

На основу наведених закључака комисија констатује да су конципирани циљеви докторске дисертације у потпуности остварени.

#### 10. Литература

У овом поглављу дат је списак кориштене литературе која садржи 102 референце. Високи проценат приказане и коришћене литературе је из последње деценије. Иако је проучавана проблематика актуелна последњих година, релативно је мали број објављених резултата истраживања који се односе на конкретно моделирање процеса обраде вретенастим глодалом и одређивање температуре у зони резања. Тиме, дата докторска дисертација потврђује да је тема дисертације обрадила научно актуелну област.

#### VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. **Mitrović, A.**, Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B.: Modelovanje i simulacija procesa obrade glodanjem, JUPITER konferencija 2016, Mašinski fakultet, Beograd, 2016.
2. **Mitrović, A.**, Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B.: Analiza toplotnih pojava pri obradi glodanjem metodom konačnih elemenata, Tehnika i praksa, broj 15, str. 147-152, ISSN 2217-2130, VSTSS, Čačak, 2016.
3. **Mitrović, A.**, Kovač, P., Kulundžić, N., Savković, B.: 3D finite element simulation of milling, Journal of Production Engineering, No. 19/1, pp. 31-34, ISSN 1821-4932, Novi Sad, 2016.

#### VII ЗАКЉУЧЦИ, ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу спроведених истраживања у овој докторској дисертацији изведени су следећи закључци:

1. На основу резултата симулације обраде глодањем вретенастим глодалом, методом коначних елемената у програмском пакету ANSYS, уочени су проблеми и ограничења при процесу умрежавања обратка, као и код самог моделирања геометрије глодала. Превише густа мрежа битно утиче на повећање времена обраде симулације и може трајати данима, па чак и да се услед системских грешака уопште и не заврши. За добре резултате симулације, потребно је имати јаче рачунарске ресурсе од РС рачунара. Коришћењем радне станице знатно се може скратити време за обраду симулације, али се без употребе супер рачунара не може говорити о релевантности резултата.
2. На основу резултата симулације процеса обраде вретенастим глодањем у програмском пакету AdvantEdge, у односу на ANSYS, уочен је низ предности. Програм AdvantEdge је наменски оптимизован за обраду метала резањем и поседује моделе обратка и алата, уз могућност дефинисања одговарајуће резне геометрије алата. Дефинисање прецизне геометрије алата омогућава добијање поузданих резултата. Такође, програм AdvantEdge поседује велику библиотеку материјала алата и обратка који се користе у обради резањем. Постоји могућност адаптивног умрежавања што повећава тачност резултата. За разлику од програма ANSYS, време потребно за обраду симулација у програму AdvantEdge је значајно краће, и није неопходно поседовање супер рачунара.

Након креирања симулација, захваљујући потпрограму Tecplot, у програму AdvantEdge, могу се директно анализирати утицаји елемента режима обраде на температуру резања. Поред предности AdvantEdge-а у односу на ANSYS, битно је напоменути да постоји недостатак у томе што AdvantEdge пружа мање могућности подешавања од стране корисника.

3. На основу анализе резултата температуре у зони резања при обради глодањем, а који су добијени експериментом, трофакторним моделом другог реда и симулацијама креираним у AdvantEdge-у, може се извести неколико кључних закључака. Најмању средњу процентуалну грешку даје модел добијен на основу трофакторног плана без међусобних утицаја, док нешто лошију вредност даје модел добијен на основу трофакторног плана са међусобним утицајем фактора. Анализа показује да симулације креиране у AdvantEdge-у, иако дају већу средњу процентуалну грешку у односу на оба трофакторна модела, са сигурношћу се могу да користе за предвиђање и управљање температуре у зони резања при обради глодањем.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу прегледа и анализе докторске дисертације Комисија констатује да су спроведена истраживања приказана на прегледан, адекватан и систематичан начин. Тумачење резултата је у складу са савременим научним сазнањима, аргументовано и значајно проширује постојећа сазнања из проучаване области.

У складу са наведеним, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања

|           |  |
|-----------|--|
| <b>IX</b> | <b>КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b><br>Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:  |
| 1.        | Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме<br><b>ДА - Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме</b>   |
| 2.        | Да ли дисертација садржи све битне елементе<br><b>ДА - Дисертација садржи све битне елементе научног рада.</b>   |
| 3.        | По чему је дисертација оригиналан допринос науци<br><b>Докторска дисертација даје оригинални научни допринос у области моделирања процеса обраде резањем, посебно код поступка глодања са вретенастим глодалом при одређивању температуре у зони резања путем експерименталних истраживања и реализованих симулација у програмском пакету AdvantEdge. Значајно проширује постојећа сазнања из ове области и својим резултатима прати светске научне трендове у изучаваној области.</b> |
| 4.        | Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања<br><b>Нису уочени недостаци дисертације који би утицали на резултате истраживања</b>  |
| <b>X</b>  | <b>ПРЕДЛОГ:</b>  |
|           | На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:   |
|           | <b>Да се докторска дисертација прихвати и кандидату одобри одбрана.</b>  |

#### ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
Др Марин Гостимировић, редовни професор,  
Факултет техничких наука – Нови Сад, председник

\_\_\_\_\_  
Др Драган Шешлија, редовни професор,  
Факултет техничких наука – Нови Сад, члан

\_\_\_\_\_  
Др Богдан Недић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука – Крагујевац, члан

\_\_\_\_\_  
Др Миленко Секулић, ванредни професор,  
Факултет техничких наука – Нови Сад, члан

\_\_\_\_\_  
Др Павел Ковач, редовни професор,  
Факултет техничких наука – Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.