

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Бр. 01-1/2287

13.08.2019 год.
КРАГУЈЕВАЦ

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА**

Предмет: Извештај Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж.

Одлуком Већа за Техничко - технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број **IV-04-579/15** од **10.07.2019.** године, а на предлог Наставно научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број **01-1/2348-7** од **4.07.2019.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. под насловом:

**ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У
УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ
ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ**

На основу увида у приложену докторску дисертацију, Извештаја о подобности кандидата и теме за докторску дисертацију, одлуке Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број **IV-04-350/6** од **16.05.2018.** године којом је дата сагласност на Извештај Комисије за оцену подобности кандидата и научне заснованости теме и одлуке Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр. **01-1/1238-9** од **19.04.2018.** године којом је одобрена израда докторске дисертације, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. под насловом **"ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ"** представља резултат самосталног научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области производног машинства и представља значајан допринос истраживања у области модерних производних технологија, а посебно области праћења, управљања и симулација процеса обраде метала резањем на основу топлотних појава у зони резања. Имајући у виду широк спектар истраживачких области и добијених резултата, може се рећи да ова дисертација има значајан научни допринос на националном нивоу, при чему одређени број елемената, приступа и резултата има не само општи научни значај, већ је практично примењив у индустрији.

Производња делова помоћу CNC машина алатки данас је незаменљива у савременим производним системима и последица је потребе да се скрати време припреме и обраде и остваре квалитет и функционални и естетски захтеви. Производи постају све сложенији и њихова толеранција облика и положаја све ужа, а ефикасност и прецизност процеса производње постаје све битнија. Истраживање у области CNC обраде стругањем, у условима обраде делова сложене геометрије, када алат велики број пута улази и излази из захвата са предметом обраде, представља нови изазов за истраживаче. Значај докторске дисертације, као и допринос науци у области обрадних система се огледа у:

- развоју нумеричког модела и примени методе коначних елемената за изучавање и симулацију процеса обраде стругањем са аспекта температуре резања,
- значајним резултатима експерименталних истраживања у условима континуалне и дисконтинуалне обраде.

Квалитет израде дела је условљен хабањем и постојаношћу алата, тачношћу остварених димензија услед статичких, динамичких и термичких оптерећења елемената обрадног процеса, тачношћу машине, и др. Температура у зони резања, условљена параметрима режима обраде, је веома важан показатељ процеса обраде резањем и може се користити као критеријум оптимизације процеса. Висока температура и велики специфични притисци у уској зони резања имају за последицу пад тврдоће алатног материјала, што доводи до хабања и отказа резног алата. Савремени обрадни системи подразумевају CNC обраду са променљивим параметрима обраде, при чему алат пролази кроз период грејања и хлађења у току прекидног резања. Због тога је познавање и предвиђање расподеле температуре на алату у условима прекидног резања од изузетног значаја.

Докторска дисертација „Истраживање температурног поља у резном алату у условима континуалног и дисконтинуалног резања при обради стругањем“ садржи аналитичко-експериментална истраживања и развој нумеричког модела у условима континуалног и дисконтинуалног резања, са циљем да се одреди расподела температуре на грудној површини резног алата.

Постављени циљ дисертације да се учине помаци у правцу развоја нумеричких модела за прорачун и симулације температуре у условима дисконтинуалног резања (стругање уздужних и попречних жљебова) без примене средстава за хлађење и подмазивање кандидат је у потпуности остварио. Добијени резултати примене развијеног нумеричког модела и симулације температуре резања су потврђени експерименталним истраживањима при којима је вршено мерење применом термовизијског система. Тиме се стварају услови за развој модела за оптимизацију параметара обраде са аспекта температуре резања и проширење могућности примене развијеног нумеричког модела на остале врсте обраде резањем (глодање, рендисање, провлачење, озубљење и др.).

Резултати и закључци ове дисертације су створили услове за многа даља истраживања у области обрадних процеса и унапређење постојећих решења.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. под насловом **"ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ"** представља резултат оригиналног научног

рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области производног машинства, а посебно области обраде метала резањем, савремених *CNC* обрадних система, примене термовизије за праћење и управљање обрадним процесима, примене методе коначних елемената за прорачуне и симулације у обради резањем и др.

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања и резултата научних и стручних радова истраживача у свету који се односе на област ове докторске дисертације и систематизовао сврстао их релевантним областима.

Кандидат је реализовао експериментална истраживања уз примену савремене производне и мерне опреме и савремених софтвера из области мерења температуре резања применом термовизијских система и статистичке обраде резултата мерења. Успостављене корелативне зависности омогућују употпуњавање базе података о обрадним системима са информацијама о температури резања у условима прекидног резања, која представљала основу за даљи развој експертског система из области обрадних система.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру ове дисертације огледа се, између осталог, у следећим елементима:

- кандидат је развио сопствени модел истраживања у области мерења температуре резања применом термовизијских система. Применом савременог софтвера (*FLIR Research IR Max.*) и термовизијске камере прво се снима оригинални видео запис процеса обраде на рачунар. Након тога се врши анализа снимка уз уношење релевантних података за област у којој се одређује температура резања (кофицијент емисије за површину материјала где се мери температура и др.). Мерно место, површина може бити на струготини, предмету обраде, резној плочици, носачу плочице и др. Најмања област (место) мерења са коришћеном термовизијском камером је била величине једног пиксела (0.046 x 0.046 мм).
- кандидат је извршио анализу резултата експерименталних истраживања и применом софтвера за статистичку обраду података формирао регресионе зависности температуре резања од услова обраде стругањем (брзина резања, корак и дубина) при континуалној и дисконтинуалној обради. Добијене зависности су експоненцијалне криве са високим степеном корелације.
- кандидат је развио нумерички модел за анализу и симулацију термалних процеса у обради стругањем помоћу методе коначних елемената у програмском пакету *Third Wave AdvantEdge*. Описао је методологију за креирање нумеричког модела за симулацију при чему је коришћен **Johnson-Cook** конститутивни нумерички модел за описивање термо-механичких карактеристика предмета обраде у процесу резања. За све услове експерименталних испитивања извршио је симулације за континуалну и дисконтинуалну обраду. Резултати симулација температуре резања су потврђени експерименталним испитивањима. Кандидат је симулацијама показао да је температура резања при обраду предмета са уздужним жљебовима, када је резни алат веома кратко време у захвату, значајно мања у односу на континуалну обраду и обраду предмета са попречним жљебовима.
- симулација и верификација нумеричког модела експерименталних истраживања, посебно у области прекидног резања са веома кратким захватом алата са предметом обраде представљају значајан допринос истраживањима о обради резањем и отвара ново поље за даља истраживања.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одговарајућој научној области

Мирослав Лучић, дипл. маш. инж. је рођен 03. јула 1955. године у Чачку, где и данас живи. Ожењен је, има двоје деце. Средњу техничку школу је завршио у Чачку са одличним успехом. Школске 1974/1975. уписао је се као редован студент Машински факултет у Крагујевцу. Дипломирао је 1979. године са просечном оценом 8,43 и оценом 10 на дипломском испиту. Исте године је засновао стални радни однос у предузећу „Фабрика резног алата“ у Чачку где је радио до 1985. год. када је прешао у „Технички ремонтни завод“ – Чачак.

У Фабрици резног алата у Чачку је радио на многим пословима у технологији производње резних алата као главни технолог алата, водећи технолог израде у Техничком сектору и водећи технолог за производњу и регенерацију у Развоју. Био је начелник одсека технологије производње и регенерације, руководиоца Техничке припреме погона за одржавање и енергетску подршку, уједно и заменик начелника погона и начелник Сектора производње.

У Техничком ремонтном заводу у Чачку је радио на пословима одржавања и ремонта моторизованих средстава и био је вођа стручног тима на освајању „прототипа великих мотора по *SAMICSOVOM* систему“ (израда прототипа је била по пројекту Машинског факултета у Крагујевцу, који је тада подржан од Министарства за образовање и науку Републике Србије). За освојен прототип овог мотора је посебно награђен.

Од 2009. год. ради како стручни сарадник, а од 2013. год. као асистент на „Високој школи техничких струковних студија“ у Чачку на предметима:

- Техничко цртање,
- Компјутерска графика,
- Управљање квалитетом и
- Машине и технолошки процеси.

Био је један је од чланова издавачког савета стручно информативног часописа „АЛАТНИЧАР“, чије излажење је било од 1986. године од стране Друштва алатничара Чачак.

Коаутор је скрипте **Збирка задатака из компјутерске графике** чији је издавач Висока школа техничких струковних студија – Чачак, коју користе студенти ове школе.

Докторске академске студије је уписао школске 2012/2013 године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 9,67.

б. Објављени радови кандидата

Мирослав Лучић, дипл. маш. инж., као аутор или коаутор, је објавио укупно једанаест радова на домаћим научно – стручним скуповима и у научно – стручним часописима.

Рад у међународном часопису (категорија M22):

1. Baralić J., Dučić N., Mitrović A., Kovač P., **Lučić M.**, (2019); Modeling and optimization of temperature in end milling operations, Thermal Science, ISSN: 0354-9836, On-line first, Issue 00, Pages: 1-12, DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI190328244B>

2. Nikolić R., **Lučić M.**, Nedić B., Radovanović, M., (2019) Calculation of temperature fields during lathe machining with thermoelectric cooling by using the finite element method, *Thermal science*, ISSN: 0354-9836, Vol. 23, No. 3B, pp. 1889-1899, DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI170518197N>

Рад у часопису националног значаја (категорија M52):

1. S. Veinović, R. Pešić, R. Pavlović, Petrović M., **Lučić M.**, Petković D., (1995); Mogućnosti razvoja i usavršavanja domaće familije dizel motora srednje snage, *Savremena poljoprivredna tehnika, Cont. Agr. Eng.* Vol. 21, No 1-2, p. 23-29, Novi Sad, ISSN 0350-2953

Рад у домаћем часопису (категорија M53):

1. **Lučić M.**, Nikolić R., Nedić B., Nikšić P., (2017); Matematički model za proračun temperaturnog polja u alatu primenom metode konačnih elemenata pri obradi na strugu u uslovima termoelektričnog hlađenja: *Tehnika i praksa, broj 17, VŠTSS, Čačak*, pp. 69÷79, ISSN 2217-2130

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у целини (категорија M33):

1. **Lučić M.**, Nedić B., Vlastelica I., Petrović Savić S., (2018); Eksperimentalno merenje i numerička analiza temperaturnog polja u zoni rezanja u uslovima kontinualne i diskontinualne obrade struganjem; *37th International Conference on Production Engineering of Serbia - ICPE-S 2018*, 25.-26.10.2019., Kragujevac, pp. 188-198, ISBN 978-86-6335-057-1

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (категорија M63):

1. **Lučić M.**, Nikšić P., Nedić B., Vujović D., (2017); Jedan od modela u funkciji izvesnih pretpostavki i graničnih uslova pri termalnim simulacijama u obradi struganjem: *XIV međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering, KODIP 2017*, Budva, pp. 65÷73, ISBN 978-9940-527-51-8
2. **Lučić M.**, Nikolić R., Nedić B., Nikšić P., (2017); Osnove termoelektričnog hlađenja sa određenim modelom temperaturnog polja pri termalnim simulacijama u obradi struganjem: *XIV međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering, KODIP 2017*, Budva, pp. 73÷81, ISBN 978-9940-527-51-8
3. Erić D., **Lučić M.**, (1987); Rezultati ispitivanja i primene reznih alata presvučenih prevlakom TiN; *21. Savetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije; Internacionalno savetovanje o novim proizvodnim sistemima i tehnologiji AMST '87*, AM.12.1-6, Opatija, Jugoslavija. [M63]
4. Vujović D., Nikšić P., **Lučić M.**, (2017); Upravljanje rizikom u procesu zavarivanja MIG/MAG postupkom: *XIV međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering, KODIP 2017*, Budva, pp. 101÷111, ISBN 978-9940-527-51-8 [M63]
5. Perović M., Vujović D., Nikšić P., **Lučić M.**, (2013); Procesni pritup zaštite životne sredine na primeru organizacije koja se bavi livenjem: *XV Naučno stručni skup Sistem kvaliteta uslov za uspešno poslovanje i konkurentnost*, Kruševac, pp. 51÷59; ISBN 978-86-909341-7-1 [M63]
6. Vujović D., Nikšić P., **Lučić M.**, (2015); Upravljanje rizikom – primenom standarda ISO 31000 na stanicama koja se bave snabdevanjem motornih vozila TNG-om; *42. National Quality Conference*, Kragujevac, pp. A259-A266, ISBN 978-86-6335-016-8 [M63]

7. Vujović D., Nikšić P., **Lučić M.**, (2015); Mere optimizacije i upravljanja rizikom od udesa: *XIII Međunarodna konferencija Održavanje i proizvodni inženjering KODIP-2015*, Budva, pp. 269÷282, ISBN 978-9940-669-01-0 [M63]
8. Ašonja A., Mikić D., Petrović D., **Lučić M.**, (2016); Uticaj dijagnostike stanja na pouzdanost ležajeva industrijskih mašina; 40. Majski skup održavalaca Srbije – Konferencija „Buka, vibracije i proaktivno održavanje mašina“, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Vrnjačka Banja 26.-27.05.2017, pp. 1-9, ISBN 978-86-83701-47-6, [M63]
9. Mikić D., Ašonja A., Desnica E., Petrović D., **Lučić M.**, (2017); Primena metode tehničke dijagnostike za dinamička ispitivanja pouzdanosti kotrljajućih ležajeva kod industrijskih mašina; *XVII – Konferencija „Proaktivno održavanje mašina“*, 10.-11.11.2017., Vrnjačka Banja, pp. 1-11, ISBN 978-86-83701-49-0 [M63]

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. под насловом **"ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ"** одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Већа за техничко - технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 139 страна. У раду је приказана 121 графичка илустрација, 29 табела и 119 библиографских податка. Излагање је сврстано у 10 поглавља (којима претходе: резиме на српском и енглеском језику, списак слика, списак табела и садржај), при чему су литературни подаци посебно дати на крају дисертације:

1. Увод
2. Основе процеса обраде резањем
3. Топлотне појаве у зони резања
4. Нумеричко моделирање у обради резањем
5. Преглед досадашњих истраживања температурних поља и температура у зони резања методом коначних елемената
6. Аналитичко експериментална истраживања
7. Резултати експерименталних испитивања
8. Термална анализа у зони резања применом методе коначних елемената
9. Анализа резултата
10. Закључак

Литература

У уводном поглављу дате су основне информације о предмету и циљу истраживања у докторској дисертацији, полазним претпоставкама, очекиваним резултатима и научном доприносу, методама које су примењене у истраживањима и кратак опис појединих поглавља дисертације.

Друго поглавље садржи карактеристике и теоријска разматрања основа процеса обраде резањем. У овом поглављу су дефинисани су принципи резања, механизам настанка струготине, образовање наслага на резном клину алата и отпори резања при уздужној обради стругањем. Ова теоријска разматрања су заснована на најновијим сазнањима из ове области и садрже делом резултате истраживања новијег датума.

У трећем поглављу су анализиране су топлотне појаве у зони резања. Дате су теоријске основе за објашњење генерисања и дистрибуције топлоте, расподеле температуре на површини алата и објашњени теоријски модели прорачуна коефицијента дистрибуције топлоте. Објашњена је аналитичко-експериментална метода за прорачун количине топлоте на месту контакта алат - струготина при чему је прорачун вршен за дистрибуцију топлоте у алат.

Приказани модел за одређивање коефицијента дистрибуције топлоте је коришћен у наредним поглављима за прорачун и симулацију расподеле топлоте на резном алату у нумеричким моделима заснованим на примени методе коначних елемената.

У четвртном поглављу разматране су теоријске основе нумеричког моделирања у обради резањем. Описана је метода коначних елемената и гранични услови за прорачуне и симулације у обради резањем засновани на примени Лагранжеову, Ојлерову и произвољну Лагранж-Ојлерову формулације који повезују мрежу коначних елемената и материјал предмета обраде. Затим су приказане могућности појединих софтвера за симулације у обради метала резањем, с обзиром да правилан избор софтвера подразумева познавање предности и недостатака једних у односу на друге. Поглавље садржи објашњење различитих математичких модела за дефинисање напона, односно еласто-пластичних деформација предмета обраде у току процеса обраде резањем. На крају су дати математички модели трења у симулацијама процеса обраде резањем.

Пето поглавље садржи преглед и анализу досадашњих истраживања температурних поља и температура у зони резања методом коначних елемената. Истраживање утицаја појединих улазних параметара процеса резања на температуре на грудној површини алата током обраде стругањем је био циљ њихових истраживања. Приказани карактеристични радови и њихова анализа показују да сви аутори врше нумеричке прорачуне расподеле температуре у зони резања применом методе коначних елемената и експериментална истраживања у циљу провере успостављеног нумеричког модела. Истраживања су вршена у условима континуалне обраде стругањем. За нумеричке прорачуне и методу коначних елемената су коришћени различити софтвери: *Abaqus*, *Ansys*, *AdvantEdge*, *MSC Marc*, *Deform-2D*, *Forge-2D*, *PAK-T* и др. Радови се односе на у одговарајућем програмском пакету, где су резултати симулација поређени са експерименталним мерењима. У овом поглављу су описани коауторски радови у којима су истраживане могућности примене термоелектричног хлађења резног алата и топлотне појаве у зони резања при обради глодањем. Експериментална мерења су вршена термовизијском камером. На крају овог поглавља је приказан део прелиминарних истраживања кандидата у којем је вршена симулација просеца обраде резањем и поређење два конститутивна материјална модела (*Power Law* и *Johnson-Cook*) и софтвер *Third Wave AdvantEdge* за континуалну и дисконтинуалну обраду стругањем. Анализирана је промена максималне температуре резања и расподела температуре у контактної зони резања.

Поступак експерименталних истраживања са циљем одређивања аналитичких зависности параметара резања је приказан у шестом поглављу. У овом поглављу су

описани услови извођења експеримента: предмет обраде, резни алат, машина алатка, услови обраде са режимима према плану експеримента, мерна опрема за мерење температуре у зони резања и софтвери коришћени за извођење експерименталних истраживања и анализу резултата мерења. Експериментална истраживања су изведена на побољшаном конструкционом челику повећане тврдоће у условима континуалне и дисконтинуалне обраде. Предмет обраде је претходно обрађен са уздужним жљебовима (обрада са прекидним резањем и ударним оптерећењима резног клина алата, као код обраде ожљебљеног вратила) и на предмету обраде са попречним жљебовима (обрада са повременим прекидима резања). За улазне независне параметре изабрани су: брзина резања, корак и дубина резања. У поглављу је описан вишефакторни план експеримента, математички модел зависности температуре резања од параметара услова обраде и трофакторни ортогонални план експеримента првог реда, који је примењен при експерименталним истраживањима у дисертацији.

Резултати мерења температуре резања применом термовизијске камере уз одговарајућу софтверску подршку (софтвер *FLIR Research IR Max*) за снимање видео записа процеса обраде и касније анализе видео снимка, а према плану експеримента приказани су у седмом поглављу. Анализом видео снимка одређене су температуре на грудној површини алата на тачно одређеној површини (у приближно посматраној тачки). За континуалну обраду одређена је максимална температура. За обраду предмета са попречним жљебовима одређене су минимална и максимална температура а за обраду дела са уздужним жљебовима средња температура. Добијени резултати су приказани на графицима промене температуре у току времена за све услове испитивања. Резултати мерења су искоришћени за одређивање регресионих зависности температуре резања од параметара услова обраде. Добијени експоненцијални изрази зависности температуре резања и услова обраде имају високе коефицијенте корелације (преко 0.97). У овом поглављу су у табли и на дијаграмима приказане зависности услова обраде (брзине резања, корака и дубине) и анализирани температуре резања.

У осмом поглављу је приказан развијени нумерички модел за анализу и симулацију термалних процеса у обради стругањем помоћу методе коначних елемената у програмском пакету *Third Wave AdvantEdge*. Описана је методологија за креирање нумеричког модела за симулацију која садржи: дефинисање симулационог модела процеса обраде, дефинисање материјала алата и предмета обраде, дефинисање параметара за симулацију, рачунарска обрада симулације и приказ и анализу резултата симулације. За симулације у *AdvantEdge* програму је коришћен **Johnson-Cook** конститутивни нумерички модел који се односи на термо-механичке карактеристике предмета обраде у процесу резања. Извршена је анализа вредности константи и експонената у **Johnson-Cook** моделу коришћених у радовима од стране многих истраживача и изабране су вредности коришћене за симулације у овој дисертацији. Дати су потребни подаци о физичко механичким карактеристикама резних плочица са и без превлаке. За дефинисање граничних услова симулације коришћен је 2Д модел са мрежом коначних елемената и *Lagranžov* модел. Детаљно је описан начин коришћења софтвера *AdvantEdge* (дефинисање геометрија предмета обраде и алата, дефинисање мреже коначних елемената, избор материјала предмета обраде и материјала алата, избор конститутивног нумеричког модела и унос параметара процеса обраде). За све испитиване услове обраде извршена је симулација за континуалну обраду и дисконтинуалну обраду предмета са попречним и уздужним жљебовима. Резултати нумеричких прорачуна температура на грудној површини алата за различите услове обраде су приказани у облику дијаграма промене температуре резања у зависности од пређеног пута резне ивице. Поред дијаграма резултати симулација су приказани и

изотермалном расподелом температуре у резном алату. Резултати симулације и одређивања температуре резања за исте услове експерименталних испитивања су приказане у табели, а промена температуре резања дуж грудне површине алата за услове континуалне и дисконтинуалне обраде на одговарајућим дијаграмима. Резултати симулација су приказани и моделима изотермалне расподеле температуре у алату и струготини за изабране услове обраде. Ове симулације су показале да је температура резања при обраду предмета са уздужним жљебовима, када је резни алат веома кратко време у захвату, значајно мања у односу на континуалну обраду и обраду предмета са попречним жљебовима.

Анализом резултата истраживања у деветом поглављу је извршено поређење нумеричких вредности температура резања добијених симулацијом са експериментално измереним температурама за исте услове обраде. Резултати поређења су представљени у табели и на графицима. Показано је велико поклапање добијених вредности резултата симулације процеса обраде и резултата експерименталних мерења температуре резања.

У десетом поглављу дати су закључци докторске дисертације на основу спроведених резултата истраживања, њихове анализе и дискусије. У закључцима је приказан посебан осврт на нумеричке симулационе моделе дисконтинуалне обраде и могућности имплементирања ове методе моделирања процеса у различитим поступцима обраде резањем. На крају закључака дати су предлози за будућа истраживања, као што су експериментална испитивања мерењем сила (отпора) резања, хабања алата, квалитета обрађене површине, тачности обраде и др. за различите услове обраде, као и даљи развој нумеричког модела за симулације не само у области температуре резања већ и формирања струготине, еласто-пластичних деформација, сила резања итд.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Мирослав Лучић, дипл. маш. инж. је у оквиру докторске дисертације извршио систематизацију и анализу постојећих знања у области технологије обраде стругањем, обавио експериментална испитивања применом термовизијских система за мерење у обради резањем, извршио моделирања процеса обраде резањем користећи софтвере за нумеричке прорачуне и симулацију и др. Кандидат је остварио значајне научне резултате од којих се наводе најзначајнији:

- дефинисао и успешно применио нову методу за одређивање температуре на резном алату при континуалној и дисконтинуалној обради резањем применом термовизијских система,
- успоставио математички модел за дефинисање утицаја параметара услова обраде на температуру на резном алату,
- дефинисао утицај континуалног и дисконтинуалног резања и параметара режима обраде (брзине, корака и дубине резања) на температуру резања,
- развио и применио нумерички модел за прорачуне и симулацију температурних поља на резном алату применом методе коначних елемената у условима континуалног и дисконтинуалног резања,
- створио услове за развој модела за оптимизацију параметара обраде са аспекта температуре резања,
- створио услове за практичну примене симулација температурних поља на

резном алату и тиме омогућио проширење области научних истраживања имајући у виду комплексност процеса обраде у реалним производним условима.

Сагледавајући проблем истраживања и достављену докторску дисертацију може се закључити да су полазне хипотезе потврђене:

- експерименталним испитивањима процеса обраде стругањем у условима континуалног и дисконтинуалног резања добијени су поуздане математичке моделе за описивање температура резања у функцији параметара резања (брзине, посмака и дубине) са високим коефицијентом корелације,
- развијен је поуздан модел за прорачун и симулацију температурних поља у зони резања применом методе коначних елемената, односно на површини резног алата у условима континуалног и дисконтинуалног резања,
- симулација температурних поља у зони резања је успешно реализована применом програмских пакета *Third Wave AdvatEdge*,
- показано је да се применом математичког модела зависности излазних карактеристика процеса обраде у функцији параметара резања и развијеног модела за симулацију процеса резања могу успешно предвидети температуре у зони резања,
- развијени модел за симулацију температуре резања је верификован експерименталним испитивањима у условима континуалне и дисконтинуалне обраде стругањем и као такав представља добру основу за развој модела за оптимизацију избора режима обраде.

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

У научно-теоријском смислу докторска дисертација кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. под насловом **"ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ"** даје низ значајних резултата који су изузетно корисни у теорији и пракси. Очигледно је да постоји мали број резултата истраживања у области прекидног резања и резања са променљивом дубином које је све присутније код ЦНЦ обраде стругањем и да добијени резултати представљају оригинални допринос истраживачкој области.

Кроз научно-истраживачки рад на овој дисертацији кандидат даје одговоре на многа теоријска питања и решења проблема експерименталних испитивања и отвара низ нових праваца истраживања у области производног машинства а посебно обрадних система, примене термовизије и нумеричких симулација температуре резања. Примењивост ових резултата у теорији и пракси се може сагледати у успешном тумачењу и предвиђању термофизичких појава у зони контакта грудне површине резног клина алата и струготине, развоју и примени нумеричких модела за симулацију обраде за услове континуалног и дисконтинуалног резања, стварању услова за практичну примену симулација температурних поља у резном алату успешним предвиђањем температура резања, а тиме и очекиваних карактеристика произведеног дела, развоју и примени нове методе за експериментална мерења температура у зони резања, као и стварању услова за примену ове методе мерења температуре резања за мониторинг процеса обраде.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део резултата произашлих из рада на овој дисертације је већ публикован и верификован објављивањем у међународним и националним научним часописима, као и на међународним и националним научно-стручним конференцијама.

Практични аспекти реализованог научно-истраживачког рада и резултати развоја и реализације конкретног решења представљени су домаћој стручној јавности делом кроз реализацију пројекта ТР35034, Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају веома користан материјал за практичну примену, даља истраживања и верификацију резултата, као и за презентацију на научним скуповима и објављивање радова у међународним и домаћим научним часописима, као и наставак истраживања у наведеним областима.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара теми пријављене докторске дисертације, одобрене одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу број 01-1/1238-9 од 19.04.2018. године и одлуком Стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-350/6 од 16.05.2018. године.

Докторска дисертације је резултат оригиналног научног рада у широј области производног машинства, а посебно области обраде метала резањем, термодинамике процеса резања, интелигентних САМ система, примене методе коначних елемената за симулације и нумеричке прорачуне, управљања обрадним процесима применом анализе топлотних појава у зони резања и представља значајан научни и стручни допринос у оквиру поменутих области.

Разматрана научна тема је веома актуелна због значаја који имају убрзани развој савремених *CNC* обрадних система, примена термовизијских система у метрологији и примена нумеричких модела за прорачуне и симулације у обради резањем, а добијени резултати представљају научни допринос у области развоја интелигентних *САМ* система. Презентирани модели у дисертацији обухватају аналитички модел зависности температуре резања од параметара резања (брзине резања, корака и дубине) за континуалну и дисконтинуалну обраду и нумерички модел за прорачуне и симулацију температуре резања и представља оригиналан и јединствен модел коме предстоји даљи развој и имплементација у интелигентне индустријске обрадне системе.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама. Кандидат је показао да влада методологијом научно истраживачког рада и поседује способност аналитичког приступа истраживања релевантних публикованих научних радова.

Део резултата ове дисертације кандидат је верификовао публиковањем радова на домаћим и међународним конференцијама и међународним часописима.

На основу свега изложеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације једногласно је закључила да докторска дисертација, под насловом:

**ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕМПЕРАТУРНОГ ПОЉА НА РЕЗНОМ АЛАТУ У
УСЛОВИМА КОНТИНУАЛНОГ И ДИСКОНТИНУАЛНОГ РЕЗАЊА ПРИ
ОБРАДИ СТРУГАЊЕМ**

кандидата Мирослава Лучића, дипл. маш. инж. по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава стручне, научне и законске критеријуме за израду докторске дисертације, па са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, да у потпуности прихвати овај Извештај о писаном делу докторске дисертације и да кандидата позове на јавну усмену одбрану.

У Крагујевцу, Нишу и Чачку

јул, 2019.

КОМИСИЈА:



др Милан Ерић, редовни професор, председник Комисије
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Производно машинство



др Мирослав Радовановић, редовни професор
Машински факултет, Универзитет у Нишу
Ужа научна област: Производни системи и технологије



др Слободан Митровић, редовни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Производно машинство



др Јелена Баралић, доцент
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у
Крагујевцу
Ужа научна област: Производне технологије



др Сузана Перовић Савић, доцент
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Производно машинство