

**ИЗВЕШТАЈ  
О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ**

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. <i>Датум и орган који је именовao комисију:</i> На основу предлога Катедре за машине алатке, технолошке процесе, флексибилне технолошке системе и процесе пројектовања, Одлуке Наставно-научног већа Департмана за производно машинство и одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука, решењем 012-199/46-2016 од 31.10.2019. године, именовao је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. <i>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:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>ТАБАКОВИЋ др Слободан</b>, редовни професор, председник, 24.10.2018. год. изабран у звање редовни професор, Факултет техничких наука Нови Сад, УНО: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања;</li><li>2. <b>ТАНОВИЋ др Љубодраг</b>, редовни професор, члан, 15.07.2002. год. изабран у звање редовни професор, Машински факултет Београд, УНО: Производно машинство;</li><li>3. <b>ЖИВАНОВИЋ др Саша</b>, ванредни професор, члан, 22.12.2015. год. изабран у звање ванредни професор, Машински факултет Београд, УНО: Производно машинство;</li><li>4. <b>ЖИВКОВИЋ др Александар</b>, ванредни професор, члан, 15.07.2018. год. изабран у звање ванредни професор, Факултет техничких наука Нови Сад, УНО: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања;</li><li>5. <b>ЗЕЉКОВИЋ др Милан</b>, редовни професор, ментор, 22.03.2007. год. изабран у звање редовни професор, Факултет техничких наука Нови Сад, УНО: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања.</li></ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. <i>Име, име једног родитеља, презиме:</i> <b>Цвијетин, Драган, МЛАЂЕНОВИЋ</b></p> <p>2. <i>Датум рођења, општина, држава:</i> <b>29.11.1986. год., Бијељина, Република Српска, Босна и Херцеговина</b></p> <p>3. <i>Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив :</i> <b>Факултет техничких наука, Производно машинство, Мастер инжењер машинства</b></p> <p>4. <i>Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:</i> <b>2010. год., студијски програм МАШИНСТВО</b></p> <p>5. <i>Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</i> -----</p> <p>6. <i>Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</i></p>

-----  
**III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**ДИНАМИЧКО ПОНАШАЊЕ ОБРАДНИХ СИСТЕМА ЗА МИКРООБРАДУ**

Наслов на енглеском језику:

**DYNAMIC BEHAVIOR OF MICROMACHINING SYSTEMS**

**IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација кандидата **Млађеновић Цвијетина**, мастер инжењера машинства, под насловом "**Динамичко понашање обрадних система за микрообраду**" садржи 188 нумерисаних страница, са 152 графичке илустрације у виду скица и дијаграма, 26 табела са нумеричким подацима и 217 литературних наслова. Испред основног дела текста, у раду су дати: наслов рада, кључна документацијска информација, садржај рада, предговор, списак слика, списак табела и списак коришћених ознака.

Истраживања реализована у оквиру докторске дисертације су приказана кроз дванаест поглавља. У наставку се даје садржај рада са знаком броја страна сваког поглавља.

- Увод (4 стр.)
- Приказ досадашњих истраживања динамичког понашања обрадних система (25 стр.)
- Приказ досадашњих истраживања динамичког понашања микрообрадних система (16 стр.)
- Дефинисање циља и хипотеза истраживања (4 стр.)
- Математичке методе дефинисања карте стабилности обрадних система (22 стр.)
- Експерименталне методе идентификације вибрација машина алатки и њихових елемената (16 стр.)
- Спрезање функција фреквентних одзива машина алатки и њихових елемената (15 стр.)
- Самопобудне вибрације при микроглодању (8 стр.)
- Верификација развијених нумеричких и експерименталних метода за анализу вибрација при макроглодању (42 стр.)
- Експериментална верификација метода анализе вибрација при микроглодању (17 стр.)
- Завршна разматрања (5 стр.)
- Литература (14 стр.)

**V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Наслов** докторске дисертације указује на садржај истраживања и истиче предмет истраживања.

У **првом поглављу**, УВОД, указано је на значај истраживања самопобудних вибрација при процесу обраде глодањем (даљем тексту макроглодање) и микроглодањем. Указано је и на актуелност истраживања анализом већег броја научних радова који се баве проблематиком самопобудних вибрација у периоду од последњих двадесет пет година.

Текст у оквиру овог поглавља је делом резултат сазнања из литературе а делом сопствених погледа на разматрану проблематику.

Кроз **друго поглавље**, ПРИКАЗ ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА ОБРАДНИХ СИСТЕМА, детаљно су приказана досадашња истраживања самопобудних вибрација при макроглодању, док су у **трећем поглављу**, ПРИКАЗ ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА МИКРООБРАДНИХ СИСТЕМА, приказана истраживања самопобудних вибрација при микроглодању. Извршена је анализа утицајних параметара на граничну дубину резања, која представља основни показатељ динамичке стабилности како макро, тако и микрообрадних система.

Материја изложена у оквиру ова два поглавља представља, највећим делом, приказ сазнања из литературе. На основу ових сазнања кандидат је дефинисао предмет и циљ, и поставио хипотезе истраживања.

На основу сазнања приказаних у оквиру другог и трећег поглавља у **четвртом поглављу**, ДЕФИНИСАЊЕ ЦИЉА И ХИПОТЕЗА ИСТРАЖИВАЊА, дефинисани су циљеви и хипотезе истраживања.

Дефинисани циљеви су јасни, а постављене хипотезе су оригиналне.

Математичке методе за дефинисање карте стабилности и предикцију динамичког понашања обрадног система, приказане су у **петом поглављу**, МАТЕМАТИЧКЕ МЕТОДЕ ДЕФИНИСАЊА КАРТЕ СТАБИЛНОСТИ ОБРАДНИХ СИСТЕМА. Приказана су два, у литератури најчешће коришћена, математичка модела за дефинисање карте стабилности при макроглодању, модел средњег угла контакта алата у захвату и модел Фуријеових редова. Такође, приказана је и нумеричка симулација сила резања при процесу обраде глодањем. Полазећи од идеје нумеричке симулације сила резања, у оквиру овог поглавља, развијена је нова математичка метода предикције граничне дубине резања - унапређена нумеричка симулација процеса глодања.

Приказани математички модели представљају, једним делом познате моделе из литературе, а другим оригинални математички метод предикције граничне дубине резања који је развио кандидат.

У оквиру **шестог поглавља**, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ МЕТОДЕ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ВИБРАЦИЈА МАШИНА АЛАТКИ И ЊИХОВИХ ЕЛЕМЕНАТА, приказане су експерименталне методе за идентификацију вибрација машина алатки, односно експериментално одређивање модалних параметара обрадних система као и методе детекције самопобудних вибрација при глодању. У циљу дефинисања граничне дубине резања, приказана је метода фреквентне анализе вибрација, као метода која се, у последње време, често користи у савременим експерименталним истраживањима. Међутим, и математичке и експерименталне методе анализе вибрација при глодању имају одређена ограничења. Полазећи од претходног, развијена је иновативна метода тангенти, базирана на раније коришћеној методи у оквиру Лабораторије за машине алатке Института за производно машинство ФТН у Новом Саду, и примени савремених мерних система. Поред тога, у овом поглављу је експериментално потврђен утицај самопобудних вибрација на квалитет обрађене површине и геометријску тачност обрадка. Указано је да се квалитет обрађене површине, такође, може искористити као експериментални метод идентификације самопобудних вибрација.

Приказане експерименталне методе представљају, мањим делом познате методе из литературе које су верификоване кроз сопствена истраживања, а другим, значајнијим, предложене оригиналне експерименталне методе.

Методологија спрезања математички и експериментално дефинисаних функција фреквентног одзива елемената машине алатке је приказана у **седмом поглављу**, СПРЕЗАЊЕ ФУНКЦИЈА ФРЕКВЕНТНИХ ОДЗИВА МАШИНА АЛАТКИ И ЊИХОВИХ ЕЛЕМЕНАТА. Презентоване су једначине спрезања померајних одзива математички дефинисаних функција фреквентног одзива алата и држача алата, базиране на Ојлеровој теорији греде, са експериментално дефинисаном функцијом фреквентног одзива склопа главног вретена машине алатке.

Као у петом и шестом поглављу и у овом поглављу су, највећим делом, приказана сопствена истраживања.

У оквиру **осмог поглавља**, САМОПОБУДНЕ ВИБРАЦИЈЕ ПРИ МИКРОГЛОДАЊУ, развијен је математички модел сила резања при микроглодању. Предложени модел сила резања, који узима у обзир силу трења између леђне површине алата и обрађене површине, имплементиран је у унапређену нумеричку симулацију процеса глодања чиме је иста прилагођена за дефинисање граничних дубина резања при микроглодању.

Приказани математички модели представљају оригинални допринос кандидата.

Верификација развијених математичких и експерименталних метода за анализу вибрација при макроглодању је приказана у **деветом поглављу**, ВЕРИФИКАЦИЈА РАЗВИЈЕНИХ НУМЕРИЧКИХ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ МЕТОДА ЗА АНАЛИЗУ ВИБРАЦИЈА ПРИ МАКРОГЛОДАЊУ. Спроведен је врло велики број експерименталних испитивања, при којима су одређиване граничне дубине глодања при обради три различита материјала обратка (*Al7075*, *42CrMo4* и *Ti-6Al-4V*) на два обрадна система. На основу ових испитивања извршена је верификација развијене методе за предикцију самопобудних

вибрација - унапређене нумеричке симулације процеса глодања, као и предложене осавремењене експерименталне методе - иновативне методе тангенти.

Надовезујући се на изложено у 5, 6 и 7. поглављу, кандидат је у овом поглављу извршио верификацију развијених математичких модела и експерименталних метода обрадом три врсте материјала обратка, у опсегу уобичајених брзина резања и у области високобрзинске обраде, на два обрадна система. Приказани резултати представљају оригинални допринос аутора. На основу приказаних табеларних резултата, графичких илустрација, може се констатовати да је дискусија резултата јасна и недвосмислена, те не доводи у сумњу приказане резултате и закључке.

У *десетом поглављу*, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ВЕРИФИКАЦИЈА МЕТОДА АНАЛИЗЕ ВИБРАЦИЈА ПРИ МИКРОГЛОДАЊУ, приказана је верификација метода анализе самопобудних вибрација при микроглодању. Применом методологије спрезања померајних одзива, дефинисани су модални параметри обрадног система за микрообраду, потребни за дефинисање граничних дубина резања, тј. карте стабилности, унапређеном нумеричком симулацијом микроглодања. Карта стабилности дефинисана развијеном унапређеном нумеричком симулацијом, је верификована експерименталним испитивањем и поређењем са подацима из литературних извора.

Презентовани експериментални резултати представљају оригинални допринос аутора. И овде се може констатовати, на основу приказаних табеларних резултата и графичких илустрација, да је дискусија резултата јасна и недвосмислена, те не доводи у сумњу приказане резултате и закључке.

У *једанаестом поглављу*, ЗАВРШНА РАЗМАТРАЊА, дата су закључна разматрања, критички осврт на остварене резултате, и правци будућих истраживања. У оквиру овог поглавља кандидат је сумирао резултате до којих је дошао током истраживања, на основу парцијалних резултата појединачних сегмената и изведених истраживања у целини.

У оквиру овог поглавља кандидат је сумирао резултате до којих је дошао током истраживања, и указано на неке од праваца будућих истраживања разматарне проблематике. Приказани закључци и правци будућих истраживања су оригинални.

*Дванаесто поглавље*, ЛИТЕРАТУРА, садржи преглед коришћених 218 литературних наслова, груписаних по абecedном реду. У оквиру прегледа литературе наведена су 153 објављена рада у међународним часописима са рецензијом, 15 докторских дисертација, 4 магистарске/мастер тезе, 14 књига, и 26 радова објављених на научно-стручним конференцијама У самом раду цитирано је око 70% наслова (145). Највећи број цитата је новијег датума, око 75% цитата је из последњих десет година, а око 20% из последњих пет година.

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

У току истраживања везаних за проблематику самопобудних вибрација при обради резањем и израду докторске дисертације, кандидат је објавио 22 рада и то: један рад у истакнутом међународном часопису, 9 радова је саопштено на међународним научним скуповима који су штампани у целини у одговарајућим зборницима, четири рада публикована у научним часописима националног значаја, три рада публикована у научним часописима, четири рада саопштена на скуповима националног значаја и публикована у одговарајућим зборницима, и један патент.

*Радови објављени у истакнутом међународном часопису (M22)*

1. Živković, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**, Tabaković, S., Milojević, Z., Hadžistević, M.: A study of thermal behavior of the machine tool spindle, ISSN: 0354-9836, Thermal Science, Institut za nuklearne nauke "Vinča" Vol. 23, No. 3, 2019, pp. 2117-2130, ISSN: 0354-9836

*Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)*

2. **Mladenović C.**, Zeljković M., Tabaković S., Hadžistević M.: *Application of laser measuring systems for testing the geometric accuracy of machine tools*, 1. Regional Conference - Mechatronics in Practice and Education (MECH-CONF), Subotica: Subotica Tech, College of Applied Sciences, 8-10 Decembar, 2011, pp. 257-263, ISBN 978-86-85409-67-7, UDK: 077.5(082).

3. Košarac, A., **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Živković, A.: *Numerical-Experimental Identification of a Working Unit Module Dynamic Characteristics*, 8<sup>th</sup> International Triennial Conference "Heavy Machinery" – HM, Faculty of Mechanical and Civil Engineering, Kraljevo, Zlatibor, pp. 23-28, 24-26 June 2014, 2014, ISBN 978-86-82631-74-3.
4. Košarac, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**, Živković, A.: *Modal analysis of a horizontal machining center*, 12<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology - DEMI, 29-30<sup>th</sup> May, Banja Luka, Bosnia and Hecegovina, 2015, ISBN 978-99938-39-53-8.
5. Košarac, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**, Živković, A.: *Create SISO state space model of main spindle from ansys model*, 12<sup>th</sup> International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA 2015, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp.37-42, 25-26 Septembar, 2015, ISBN 978-86-7892-722-5.
6. Knežev, M., Živković, A., **Mladenović, C.**: *Analysis static and dynamic behavior of hydrodynamic spindle*, 12<sup>th</sup> International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA 2015, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp.43-46, 25-26 Septembar, 2015, ISBN 978-86-7892-722-5.
7. Košarac, A., **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Živković, A.: *State space modeling from FEM model using balanced reduction*, 5<sup>th</sup> International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection – IIZS, Zrenjanin, Serbia, pp. 298-304, 15-16<sup>th</sup> October, 2015, ISBN 978-86-7672-259-4.
8. Knežev, M., Živković, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**: *Numerical and experimental modal analysis of high speed spindle*, 4<sup>th</sup> International Scientific Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" – COMETA, Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, pp.83-88, 2018, ISBN 978-99976-719-4-3.
9. **Mladenović, C.**, Košarac, A., Zeljković, M., Knežev, M.: *Experimental Definition Of Machining Systems Stability Lobe Diagram*, 13<sup>th</sup> International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA 2018, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp.95-98, 2018, ISBN 978-86-7892-722-5.
10. Košarac, A., Šikuljak, L., Obradović, Č., **Mladenović, C.**, Zeljković, M.: *Cutting parameters influence on surface roughness in AL 7075 milling*, 19<sup>th</sup> International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066273.

*Радови у часописима националног значаја (M52)*

11. **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Košarac, A., Živković, A.: *Definition of Machining Systems Stability Lobe Diagram Using Analytical Models*, Journal of Production Engineering, Vol.18, No.1, (2015), University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp. 47-50, ISSN 1821-4932.
12. Košarac, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**, Živković, A.: *Create SISO state space model of main spindle from ansys model*, Journal of Production Engineering, Vol.18, No.2, (2015), University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, pp. 55-59, ISSN 1821-4932.
13. Knežev, M., Živković, A., **Mladenović, C.**: *Analysis static and dynamic behavior of hydrodynamic spindle*, Journal of Production Engineering, Vol.19, No.1, (2016), University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Production Engineering, Novi Sad, Serbia, ISSN 1821-4932.
14. Košarac, A., **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Šikuljak, L.: *Comparison of different mathematical models for prediction of self-excited vibrations occurrence in milling process*, International Journal of Electrical Engineering and Computing, University of East Sarajevo, Faculty of Electrical Engineering, East Sarajevo, Bosnia and Hercegovina, Vol.3, No.2, pp.54-60, 2019., ISSN: 2566-3682.

*Радови у научном часопису (M53)*

15. Кошарац, А., Зельковић, М., **Млађеновић, Ц.**: *Идентификација самоизаваних вибрација при обради стругањем применом савремене дијагностичке опреме, ИМК-14 - Истраживање и развој,*

Институт ИМК "14. октобар", Крушевац, Србија, Вол. 19, Но. 4, стр. 105-111, 2013, УДК: 621, ИСРН: 0354-6829.

16. Košarac, A., Zeljković, M., **Mladenović, C.**, Živković, A., Prodanović, S.: *State space modeling from FEM model using balanced reduction*, Acta Technica Corviniensis, Faculty of Engineering – Hunedoara, University POLITEHNICA Timisoara, Vol. 9, No. 2, pp. 23-27, 2016, ISSN 2067-3809
17. Košarac, A., **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Šikuljak, L.: *Experimental method for defining the stability lobe diagram in milling Č4732 (42CRMO4) steel*, Acta Technica Corviniensis, Faculty of Engineering Hunedoara, University POLITEHNICA Timișoara, Romania, No. 2, pp.31-34, 2019., ISSN: 2067-3809.

*Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)*

18. Кошарац, А., **Млађеновић, Ц.**, Живковић, А.: *Експериментално - аналитички метод за дефинисање карте стабилности при обради стругањем*, 13. Међународни научно-стручни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Електротехнички факултет-Источно Сарајево, Босна и Херцеговина, Вол. 13, стр. 589-594, 19-21 Март, 2014, ИСБН 978-99938-624-8-2.
19. Кошарац, А., Зељковић, М., **Млађеновић, Ц.**, Живковић, А.: *Одређивање фреквенцијских карактеристика склопа главног вретена машине алатке примјеном Ојлер – Бернулијево теорије греда и позиционог спрезања*, 15. Међународни научно-стручни симпозијум ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА, Електротехнички факултет-Источно Сарајево, Босна и Херцеговина, Вол. 15, 2016, ИСБН 978-99938-624-8-2.
20. **Млађеновић, Ц.**, Кошарац, А., Зељковић, М., Кнежев, М., Живковић, А.: *Аналитичко-експериментално дефинисање карте стабилности обрадних система*, 37. Саветовање производног машинства Србије – СПМС, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, Србија, стр. 316-321, 2018, ИСБН 978-86-7083-893-2.
21. Košarac, A., **Mladenović, C.**, Zeljković, M., Šikuljak, L., Šalipurević, M.: *Prediction of self-excited vibrations occurrence during aluminium alloy AL 7075 milling*, 18<sup>th</sup> International Symposium INFOTEN-JAHORINA, 20-22 Mart 2019, Jahorina, Bosna i Hercegovina, str. 318-322, ISBN: 978-15386-70-74-3.

*Реализовани патент, сој, сорта или раса, архитектонско, грађевинско или урбанистичко ауторско дело (M92)*

22. Табаковић, С., Зељковић, М., **Млађеновић, Ц.**, Гатало, Р.: *Уређај за манипулацију радним предметима или алатима код машина алатки и индустријских манипулатора*, Завод за интелектуалну својину Републике Србије, Гласник интелектуалне својине, Вол. 2, 2012, Број патента РС20121243.

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

На основу свеобухватне и врло детаљне анализе досадашњих истраживања самопобудних вибрација при макро и микроглодању, у раду су постављене следеће хипотезе:

- Динамичко понашање микрообрадних система, као и код макрообрадних система, са становишта самопобудних вибрација је директно условљено променљивом силом резања. Услед променљивог интензитета силе резања, и при макро и при микроглодању долази до принудних вибрација алата, које у случају да се сопствена фреквенција неке компоненте обрадног система (најчешће је то алат са држачем, ређе обрадак) поклопи са фреквенцијом настанка струготине, прелазе у самопобудне, доводећи до динамичке нестабилности обрадног система. Да би се између макро и микроглодања могле повићи паралеле, при микроглодању се разматра само случај када је дебљина струготине већа од радијуса резне ивице алата, јер се тада специфични отпор резања може сматрати релативно константним а промена силе резања је линеарна.
- При микроглодању, утицај силе трења између леђне површине алата и обрађене површине је знатно израженији него при макроглодању, те га је неопходно узети у обзир при дефинисању модела силе резања и самопобудних вибрација.
- Граничну дубину резања, а тиме и границу стабилности система при макроглодању, ефикасно је

могуће дефинисати експерименталним испитивањима, анализом снимљених сигнала вибрација у временском домену, применом методе тангенти и/или анализом храпавости обрађене површине.

- При микроглодању, као и при макроглодању, самопобудне вибрације могу бити идентификоване на бази мерења померања елемената механичке структуре обрадног система, резонантне фреквенције структуре обрадног система и процеса резања, и на бази храпавости обрађене површине.

Имајући у виду резултате изложене у раду, може се констатовати да је кандидат у потпуности потврдио постављене хипотезе. Дефинисани нумерички модел за предикцију самопобудних вибрација при глодању даје незнатно тачније вредности граничне дубине резања, у односу на познате моделе из литературе. Потврђено је да се развијена унапређена нумеричка симулација процеса глодања може користити и за дефинисање карте стабилности код обрадних система са више главних модова осциловања у дефинисаној области бројева обртаја. Поређењем више експерименталних метода за дефинисање граничне дубине резања, потврђена је хипотеза број три и верификована осавремењена, предложена иновативна метода тангенти. На више примера, верификован је утицај самопобудних вибрација на храпавост обрађене површине и тачност обратка, чиме је кандидат индиректно показао да се храпавост може користити као метода за дефинисање граничне дубине резања. Полазећи од хипотезе број један, о могућности постојања паралеле између обраде глодањем и микроглодањем за случај дубине резања веће од радијуса резне ивице алата, развијен је нумерички модел за предикцију граничне дубине резања при микроглодању. Развијени модел се базира на силама глодања код којих није занемарено трење између леђне површине алата и обрађене површине. Наведени модел је индиректно верификован експерименталним одређивањем граничне дубине резања, чиме је потврђена хипотеза број два.

Експериментална испитивања су усмерена, поред верификације математичких модела, и на поређење експерименталних метода за одређивање граничних дубина резања. Експериментално испитивање је, са становишта обрадљивости, обухватило три различите групе материјала. Групу конструкционих челика при обраду уобичејеним брзинама резања, где је у области мањих брзина потврђен утицај пригушења процеса резања, што доприноси повећању граничне дубине резања. Из групе тешкообрадљивих материјала, обрађивана је супер легура титанијума Ti-6Al-4V (биокомпатабилна легура) у области средњих и великих брзина обраде на обрадном систему са два мода осциловања у дефинисаној области брзина резања (бројева обртаја главног вретена). На овај начин, верификована је применљивост развијене математичке методе и у случају више главних модова осциловања обрадног система. Трећи материјал је врло распрострањена легура алуминијума у авио индустрији, индустрији рачунара, итд., која је обрађивана великим брзинама резања (високобрзинска обрада). Поређењем различитих експерименталних метода, потврђена је применљивост осавремењене експерименталне методе - иновативне методе тангенти. Експериментална испитивања при микроглодању су изведена на легири алуминијума, а један од разлога је њена примена у индустрији рачунара за делове малих и микро димензија.

Резултати у дисертацији задовољавају опште и посебне критеријуме вредновања научног рада.

Кандидат је у решавању научног проблема користио познате и признате научне методе анализе и синтезе, математичког моделовања и експерименталног испитивања.

Детаљна анализа постојећег стања у области динамичког понашања обрадних система при обради глодањем и микроглодањем, нуди нове перспективе за сагледавање и унапређивање ове још увек врло актуелне области, посебно у области микрорезања.

О непосредним доприносима ове дисертације шира научна јавност је упозната кроз двадесет два рада који су уско везани за ову проблематику, а објављени су у иностраним часописима, или саопштени на скуповима међународног и националног значаја.

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

Резултати истраживања су јасно и прегледно приказани и исправно протумачени применом признатих научних метода, те не остављају сумњу у научни и стручни допринос наведене дисертације.

Текст докторске дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци ФТН-а. Са Извештајем о подударности упознати су чланови Комисије.

Комисија констатује да начин на који су резултати приказани и тумачени у оквиру ове докторске дисертације, у потпуности одговара постављеним проблемима истраживања.

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

### ***1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме***

Комисија констатује да је докторска дисертација израђена у складу са образложењем и циљевима истраживања које је кандидат дефинисао у оквиру пријаве теме.

Кандидат је у току израде дисертације, као и на основу резултата приказаних у раду, показао да влада методама рачунарске симулације и експерименталног истраживања. Такође се може констатовати да кандидат врло добро влада организацијом и извођењем експерименталних испитивања применом савремене мерне опреме, тумачењем и анализом добијених резултата, као и исправним доношењем закључака.

Подаци из литературе, којима се кандидат служио, су критички одабрани и уверљиви, а тумачење резултата јасно и коректно презентовано. Резултати сопствених истраживања су прегледно приказани у виду графичких илустрација и нумеричких интерпретација.

### ***2. Да ли дисертација садржи све битне елементе***

Докторска дисертација садржи све битне елементе. У оквиру дисертације су дефинисани предмет и циљ истраживања, полазне претпоставке (хипотезе) и методе истраживања. Изнете полазне претпоставке су логичне, а спроведено истраживање и анализе добијених резултата самостални и оригинални. Добијени резултати имају и практичну инжењерску примену у пројектовању, а посебно при експлоатацији машина алатки и обрадних система.

### ***3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци***

Дисертација садржи све битне елементе за сагледавање разматраних проблема који су обрађивани. Добијени резултати представљају научни допринос у области развоја и експлоатације машина алатки и обрадних система, као и машинском инжењерству уопште.

Кандидат је поставио оригиналне математичке моделе и развио програмска решења за предикцију настанка самопобудних вибрација при процесу обраде глодањем и микроглодањем. Извршио је свестрану верификацију нумеричких модела, с једне стране, у сегментима где постоје подаци у литератури; поређењем са резултатима других аутора, а са друге стране поређењем са сопственим експерименталним испитивањима. Развијена програмска решења је експериментално верификовано, при обради глодањем, на три карактеристичне врсте материјала и два обрадна центра различитих динамичких карактеристика. Потврдио је да се развијена унапређена нумеричка симулација процеса глодања може користити и за дефинисање карте стабилности код обрадних система са више главних модова осциловања у дефинисаној области бројева обртаја. Такође је показано да се развијеном нумеричком методом добијају тачније карте стабилности у односу на познате моделе из литературе. Развијени математички модел за микроглодање важи у области дубина резања већих од радијуса резне ивице алата и исти је свестрано верификован, поређењем са резултатима других аутора, и експерименталним испитивањем на једном карактеристичном материјалу за израду делова микро и малих димензија и једном обрадном систему.

### ***4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања***

У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултат истраживања

## **X ПРЕДЛОГ:**



На основу укупне оцене дисертације, Комисија *позитивно оцењује поднету докторску дисертацију* кандидата **МЛАЂЕНОВИЋ ЦВИЈЕТИНА**, мастер инжењера машинства, под називом **"ДИНАМИЧКО ПОНАШАЊЕ ОБРАДНИХ СИСТЕМА ЗА МИКРООБРАДУ"** и предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Новом Саду и Сенату Универзитета у Новом Саду *да поднету докторску дисертацију и овај извештај прихвати и одобри њену одбрану.*

#### ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. **Др Слободан Табаковић, редовни професор**, ужа научна област: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања, Факултет техничких наука, Нови Сад
2. **Др Љубодраг Тановић, редовни професор**, ужа научна област: Производно машинство, Машински факултет, Београд
3. **Др Саша Живановић, ванредни професор**, ужа научна област: Производно машинство, Машински факултет, Београд
4. **Др Александар Живковић, ванредни професор**, ужа научна област: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања, Факултет техничких наука, Нови Сад
5. **Др Милан Зељковић, редовни професор**, ужа научна област: Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања, Факултет техничких наука, Нови Сад

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.