

## ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

## ИЗВЕШТАЈ О 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>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Датум и орган који је именовao комисију 01.12.2016. на основу предлога Катедре за метрологију, квалитет, приборе, алате и еколошко инжењерске аспекте, 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 012-199/36-2015, именовao је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</li> <li>2. Састав комисије са знаком 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: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Др Весна Јокић Спасић, редовни професор</b>, 25.09.2012., Факултет техничких наука – Нови Сад, УО: Електрична мерења и метрологија; <b>председник</b></li> <li>2. <b>Др Бојан Ачко, редовни професор</b>, 10.04.2012., Факултета за стројништво – Марибор, УО: Технолошки мерилни системи ин каковост, <b>члан</b></li> <li>3. <b>Др Игор Будак, ванредни професор</b>, 02.06.2015., Факултет техничких наука – Нови Сад, УО: Метрологија, квалитет, еколошко–инжењерски аспекти, алати и прибори, <b>члан</b></li> <li>4. <b>Др Ђорђе Вукелић, ванредни професор</b>, 21.10.2015., Факултет техничких наука – Нови Сад, УО: Метрологија, квалитет, еколошко–инжењерски аспекти, алати и прибори, <b>члан</b></li> <li>5. <b>Др Миодраг Хаистевић, редовни професор</b>, 22.04.2015., Факултет техничких наука – Нови Сад, УО: Метрологија, квалитет, еколошко–инжењерски аспекти, алати и прибори, <b>ментор</b></li> </ol> </li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: <b>БРАНКО, МИЛЕ, ШТРБАЦ</b></li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: <b>04.08.1983. год., Нови Сад, Република Србија</b></li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив <b>Факултет техничких наука у Новом Саду, Производно машинство, Дипломирани машински инжењер – мастер</b></li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија <b>2009. год., Машинство</b></li> </ol>

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

-

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

-

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

**Процена мерне несигурности при мерењу равности на координатној мерној машини применом Монте Карло симулације**

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

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

Докторска дисертација је изложена у 7 поглавља, на 114 страна. Дисертација садржи 63 слике и 11 табела интегрисаних у основни текст.

Текст дисертације је организован по следећим поглављима:

Поглавље 1: Увод

Поглавље 2: ISO – GPS стандарди

Поглавље 3: Мерна несигурност

Поглавље 4: Процена мерне несигурности при мерењу на КММ

Поглавље 5: Развој нове методологије за процену грешке равности засноване на МЗ методи

Поглавље 6: Развој методологије за процену мерне несигурности при мерењу равности на КММ засноване на Монте Карло симулацији

Поглавље 7: Закључна разматрања и правци будућих истраживања

Литература

Иза насловне стране стоји кључна документацијска информација на српском и енглеском језику, после које следи захвалница, садржај, списак слика, списак табела, поменутих седам поглавља у којима су изложени резултати докторске дисертације и списак наслова коришћене научне и стручне литературе. Такође, у засебном издању, дат је прилог докторске дисертације сачињен од девет поглавља.

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Прво поглавље даје увод у област истраживања, објашњава мотивацију и предмет истраживања, дефинише циљ и хипотезе истраживања спроведеног у оквиру дисертације и даје краћи приказ њене структуре.

Друго поглавље се бави анализом основе новог стандарда за геометријску спецификацију производа (GPS). Објашњава се разлика и наводе предности новог приступа за разумевање геометрије радног предмета у односу на традиционално геометријско димензионисање и толерисање производа. Наводи се основна предност да је у новом стандарду радни предмет праћен кроз цео животни циклус тј. од пројектовања до верификације и уводи појам несигурности као најважнији концепт. Нови стандард је базиран на математичком описивању производа и представља га у облику номиналног, скин и верификационог модела. Сваки модел радног предмета се одликује оператерима и операцијама садржаним у оквиру сваког оператера.

Како је несигурност окарактерисана као најважнији концепт геометријске спецификације производа у трећем поглављу су приказане теоретске основе за процену мерне несигурности било ког извршеног мерења. Објашњава се процена мерне несигурности према упуству за процену несигурности (GUM) и значај несигурности за доношење одлуке о прихватању/одбацивању производа и одржавању метролошке следљивости.

У четвртном поглављу дат је преглед стања у области процене мерне несигурности извршеног мерења на координатним мерним машинама (КММ). Нагласак се ставља на примену Монте Карло симулације у овој области. Дат је преглед стања у области у коме је коришћена Монте Карло симулација за процену мерне несигурности КММ мерења.

Пето поглавље се бави толеранцијом и грешком равности као једном од најприсутнијих толеранција облика на техничкој документацији. Анализиран је начин процене грешке равности на КММ и предложена је нова методологија заснована на методи минималне зоне за процену грешке равности. Нова методологија је названа „ротација кроз једну тачку“ и на основу алгоритма рада модела развијен је истоимени програмски систем у софтверском пакету „Matlab“. Верификација предложене методе је извршена на расположивим подацима из литературних извора у научним часописима као и на подацима добијених из реално спроведеног мерења на КММ.

Шесто поглавље анализира развој модела за процену мерне несигурности применом Монте Карло симулације при мерењу равности на КММ. Уз објашњење појединих корака у моделу детаљно су анализирани експериментални резултати спроведени у складу са предложеним моделом. Вредности проширених мерних несигурности су поређене са вредностима добијеним применом GUM-а и стандарда ISO 15530-3.

Седмо поглавље даје закључке који су изведени на основу рада и истраживања у оквиру ове дисертације, са нагласком на научне доприносе дисертације, као и отварање нових истраживачких питања и праваца истраживања.

На крају је дат списак коришћене литературе, која је савремена и правилно одабрана према захтевима теме која је разматрана у оквиру дисертације.

Највећу вредност докторске дисертације свакако представља оригинални научни допринос спроведеног истраживања, који је представљен и анализиран у оквиру поглавља пет, шест и седам.

**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. Radlovački, V., Hadžistević, M., **Štrbac, B.**, Delić, M., Kamberović, B.: *Evaluating Minimum Zone Flatness Error Using New Method - Bundle of Plains Through One Point*, Precision Engineering: Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, Vol. 43, pp. 554 - 562, 2016. (M21)
2. Potran, M., **Štrbac, B.**, Puškar, T., Hadžistević, M., Hodolič, J., Trifković, B.: *Measurement of Accuracy of Dental Working Casts Using a Coordinate Measuring Machine*, Vojnosanitetski pregled, 73(10), pp. 895-903, 2016. (M23)
3. Hadžistević, M., **Štrbac, B.**, Spasić – Jokić, V., Delić, M., Sekulić, M., Hodolič, J.: *Factors of Estimating Flatness Error as a Surface Requirement of Exploitation*, Metalurgija, Vol. 54(1), pp. 239-242, 2015. (M22)
4. Vrba, I., Palenčar, R., Hadžistević, M., **Štrbac, B.**, Spasić – Jokić, V., Hodolič, J.: *Different Approaches in Uncertainty Evaluation for Measurement of Complex Surfaces Using Coordinate Measuring Machine*, Measurement Science Review, Vol. 15(3), pp. 111-118, 2015. (M23)
5. **Štrbac, B.**, Radlovački, V., Ačko, B., Spasić – Jokić, V., Župunski, Lj., Hadžistević, M.: *The Use of Monte Carlo Simulation in Evaluating the Uncertainty of Flatness Measurement on a CMM*, Journal of Production Engineering, Vol. 19(2), pp. 69-72, 2016. (M52)
6. Ivanišević, I., Milutinović, M., **Štrbac, B.**, Skakun, P.: *Stress State And Spring Back In V – Bending Operations*, Journal for Technology of Plasticity, Vol. 38(2), pp 157-167, 2013. (M51)
7. Vrba, I., Palenčar, R., Hadžistević, M., **Štrbac, B.**, Hodolič, J.: *The Influence of the Sampling Strategy and the Evaluation Method on the Cylindricity Error on a Coordinate Measurement Machine*, Journal of Production Engineering, Vol. 16(2), pp. 53-56, 2013. (M52)
8. Blanuša, V., **Štrbac, B.**, Živković, A., Hadžistević, M.: *Modeling Diagnosis Thermal Source on CNC Machine Tools Using Infrared Thermography*, Journal of Production Engineering, Vol. 16(2), pp. 57-60, 2013. (M52).
9. **Štrbac, B.**, Hodolič, J., Spasić – Jokić, V., Radlovački, V., Hadžistević, M.: *Different Approaches in Uncertainty Estimation for Flatness Measurements Using Coordinate Measuring Machine*, International Working Conference "Total Quality Management - Advanced and Intelligent Approaches" - TQM & AIA, Beograd, 2015., pp. 361-365, ISBN 978-86-7083-858-1. (M33)
10. **Štrbac, B.**, Radlovački, V., Spasić – Jokić, V., Matin, I., Hadžistević, M.: *Estimating Total Uncertainty of Measuring Flatness in Accordance with GPS Standards Using CMM*, International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA, Andrevlje, 2015., pp. 97-100, ISBN 978-86-7892-772-5. (M33)
11. Hadžistević, M., **Štrbac, B.**, Nemedi, I., Hodolič, J.: *The Influence of Surface Roughness on Surface Flatness*, International Working Conference „Total Quality Management – Advanced And Intelligent Approaches“ – TQM & AIA, Beograd, 2013., pp. 545-550, ISBN 978-86-7083-791. (M33)
12. Jotić, G., Hadžistević, M., Pejašinović, Ž., **Štrbac, B.**: *Determination of CMM Uncertainty Using Calibrated Workpieces*, International Scientific Conference "Flexible Technologies" – MMA, Andrevlje, 2015., pp. 87-91, ISBN 978-86-7892-772-5. (M33)

13. **Štrbac, B.**; Hadžistević, M.; Vrba, I.; Radlovački, V.; Hodolić, J: *Analysis of Influencing Factors on Stylus Calibration Of CMM*, 22th DAAAM International Symposium, 2011., Vienna: DAAAM International Viena, November 2011., pp 1665-1666, ISBN 9787-3-901509-83-4. (M33)
14. Potran, M., **Štrbac, B.**, Vicko, K., Puškar, T.: *Dimensional Stability of Addition Silicones- Influence of Setting Time on the Accuracy of Working Casts*, 10. International Conference on Measurement, Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia, May, 2015., pp. 165-168, ISBN 978-80-969672-9-2. (M33)
15. Vicko, K., Potran, M, **Štrbac, B.**, Vukelić, Đ.: *Dimensional Accuracy of Monophasic Impression Technique – Influence of Setting Time on Accuracy of Working Casts*, 9. International Quality Conference, Kragujevac: Faculty of Engineering, June, 2015, pp. 307-310, ISBN 978-86-6335-015-1 (M33)
16. **Štrbac B.**, Spasić Jokić, V., Radlovački V., Hodolić J., Hadžistević M.: *Rezultat merenja sa aspekta ukupne nesigurnosti*, 9. International Scientific Conference "Metrology and Quality in Production Engineering and Environmental Protection" - ETIKUM, Novi Sad, 19-20 Jun, pp. 73-76, ISBN 978-86-7892-712-6, 2015. (M63)
17. **Štrbac, B.**, Župunski, Lj., Radlovački, V., Ačko, B., Spasić – Jokić, V, Hadžistević, M.: *Procena merne nesigurnosti pri merenju ravnosti na KMM primenom Monte Karlo simulacije*, 10. International Scientific Conference "Metrology and Quality in Production Engineering and Environmental Protection" - ETIKUM, Novi Sad, Jun, 2016, pp. 73-76, ISBN 978-86-7892-825-3. (M63)

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Први допринос научног истраживања представља развој нове методологије за процену грешке равности која у потпуности испуњава захтев минималне зоне (MZ) коју ISO стандард препоручује за оцену одступања облика геометријских толеранција. Према постављеном моделу, развијен је програмски систем у Matlab-у. Верификација предложене методологије је укључила поређење резултата грешке равности добијене овом методологијом са другим доступним методама минималне зоне из литературних извора. Такође, вршено је поређење са резултатима грешке равности добијене коришћењем комерцијалног КММ софтвера. Резултати поређења су показали да грешка равности добијена предложеном методом је мања или иста од грешке равности добијене из других MZ метода или КММ софтвера. На крају треба истаћи да се примењена методологија може применити за све мерне системе који раде на принципу координатне метрологије.

Други допринос научног истраживања представља развој модела заснованог на Монте Карло симулацији за процену мерне несигурности при мерењу грешке равности. Предложени модел је изграђен на основу додељивања функција расподеле вероватноћа улазним подацима (x, y, z координате). На овај начин дефинисани улази укључују најугицајније чиниоце несигурности који се односе на геометријске грешке КММ и грешке сензора уз присуство температурног утицаја. У циљу процене утицаја мерних тачака у стратегији узорковања на грешку равности и мерну несигурност, верификација је укључила мерење са различитим бројем тачака. Верификација, у виду поређења резултата добијених проширених мерних несигурности са другим доступним приступима процене мерне несигурности КММ мерења, је показала исправност модела.

Трећи допринос научног истраживања представља утврђивање поља на конкретној КММ у којима је вредност мерне несигурности за мерење грешке равности најмања/највећа. У циљу овог испитивања, постављени модел за оцену мерне несигурности је укључио мерење радног предмета у различитим положајима КММ мерне запремине са тим да варијација по z није разматрана. За радни предмет је узет еталон равности (план паралелно стакло) и на тај начин је извршена калибрација мерног простора за случај мерења равности на КММ у X – Y равни.

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

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

У дисертацији су јасно дефинисани циљеви истраживања. Добијени резултати истраживања су прегледно приказани и системски изложени. Тумачење резултата је високостручно и показује да кандидат влада материјом и поседује висок ниво знања из области. Резултати истраживања потврђују постављене хипотезе истраживања. Коришћена литература указује да су размотрени актуелни ставови у области процене грешке равности и мерне несигурности на координатним мерним системима. На основу ових показатеља комисија даје позитивну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

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

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

Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем и циљевима истраживања које је кандидат навео приликом пријаве теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да, докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Оригинални научни допринос је у дисертацији изложен кроз следеће резултате:

- Развијена је нова методологија за процену грешке равности заснована на принципима аналитичке геометрије. Нова методологија у виду програмског система може да се користи за процену грешке равности извршеног мерења на било ком типу мерног инструмента чији излаз представља скуп координата узоркованих тачака.
- Развијен је модел за процену мерне несигурности при мерењу грешке равности чији улази се заснивају на додељивању одговарајућих функција расподела вероватноће координата узоркованих тачака. Одговарајућа функција расподеле вероватноће се добија експерименталним путем, тј. преко поновљивости узорковане тачке. Такође, у овај модел је уграђена нова методологија за процену грешке равности.
- Варирањем положаја еталона равности у расположивом мерном простору КММ у X-Y равни и применом модела за процену мерне несигурности, извршена је калибрација мерног простора КММ за овај мерни задатак.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Докторска дисертација нема недостатака.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- да се докторска дисертација прихвати под називом „**Процена мерне несигурности при мерењу равности на координатној мерној машини применом Монте Карло симулације**“ прихвати, а кандидату **Бранку Штрпцу** одобри одбрана

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
Др Весна Јокић Спасић, ред. проф. - ПРЕДСЕДНИК

\_\_\_\_\_  
Др Бојан Ачко, ред. проф.

\_\_\_\_\_  
Др Игор Будак, ванр. проф.

\_\_\_\_\_  
Др Ђорђе Вукелић, ванр. проф.

\_\_\_\_\_  
Др Миодраг Хаџистевић, ред. проф. - МЕНТОР