

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА И ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ  
НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

**Предмет:** Извештај комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације и испуњености услова кандидата Сандре Величковић, маг. инж. маш.

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-264/11 од 15.03.2017. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата Сандре Величковић, маг. инж. маш. као и оцену теме докторске дисертације под насловом:

**РАЗВОЈ И ОПТИМИЗАЦИЈА АЛУМИНИЈУМСКИХ НАНОКОМПОЗИТА ЗА  
ИЗРАДУ ТРИБОЛОШКИХ ЕЛЕМЕНАТА**

која припада научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Машинске конструкције и механизација. На основу увида у приложену документацију, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је дао образложен предмет истраживања наводећи актуелност и значај истраживања у области развоја и оптимизације триболошких карактеристика алуминијумских нанокмпозита.

Нанокмпозитни материјали са металном основом представљају изазов за истраживаче последњих неколико година при развоју нових нанокмпозита са бољим механичким и триболошким карактеристикама. Нанокмпозити су композитни материјали који се састоје од основног материјала и ојачавача нано величина који се не растварају један у другом. Алуминијумска легура А356, која представља основу нанокмпозита, има велику примену код многих машинских елемената, као нпр. делова мотора, а самим тим и у аутомобилској и војној индустрији. Комбинацијом алуминијумске легуре и керамичких честица превазилазе се недостаци саме легуре и тиме се побољшавају механичке и триболошке карактеристике нанокмпозита. Примена композита са металном основом последњих година је знатно повећана због комбинације њихових карактеристика као што су однос масе и крутости и чврстоће материјала.

Кандидат је представио актуелна истраживања нанокмпозита и предложио програм истраживања нанокмпозита применом статистичких, експерименталних и нумеричких метода. Истраживања триболошких и механичких карактеристика нанокмпозита се базирају на експерименталним испитивањима на савременој опреми. Обрада експерименталних резултата, оптимизација триболошких карактеристика и одређивање утицајних параметара на карактеристике нанокмпозита су у циљу добијања материјала са добром комбинацијом карактеристика. CAD софтвер се користи за напонско-деформациону анализу машинских елемената израђених од нанокмпозита.

Имајући у виду приказ проблема истраживања нанокompозита, полазне хипотезе и предложене примене развијених нанокompозита, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даље изучавање нанокompозита са алуминијумском основом и могућности њихове примене.

### Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове презентоване на међународним конференцијама може се закључити да је Сандра Величковић радила на истраживању и примени статистичких и оптимизационих метода. Научно-истраживачка активност кандидата припада области машинских конструкција и механизације, а уско је везана за трибологију машинских елемената. Кандидат Сандра Величковић је прво изучавала композитне материјале са основом од алуминијумске легуре А356 са ојачавајућим честицама SiC уз додатак честица графита на микро нивоу, као и примену оптимизационих метода у циљу побољшања триболошких карактеристика композита. Касније се усмерила на изучавању триболошких и механичких карактеристика нанокompозита. Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата за циљ има и могућност примене новонасталог нанокompозита за моделирање и напонско-деформациону анализу различитих машинских елемената у CAD софтверу.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

### Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће:

Композити са алуминијумском основом налазе велику примену код делова аутомобила који су изложени високим температурама и притисцима, а уједно поседују задовољавајућу чврстоћу и крутост. У циљу добијања одговарајуће комбинације механичких и триболошких карактеристика у основу се додају различите врсте, величине као и садржај ојачавајућих честица.

Прегледом и истраживањем литературе микрокомпозита, који су ојачани са једном врстом керамичких честица, уочено је да се побољшавају триболошке карактеристике основног материјала, али се проблем јављао при њиховој обради. Да би се превазишао овај недостатак настали су хибридни композити који у свом саставу садрже две или више ојачавајућих/побољшавајућих честица. Хибридни композити поседују добру комбинацију триболошких и механичких карактеристика, али имају проблем са хомогеношћу и дуктилношћу материјала. Последњих пар година, због претходног поменутог, истраживања су усмерена на композите са ојачавајућим честицама на нано нивоу.

Велики број истраживача се бави изучавањем нанокompозита у циљу унапређења њихових триболошких и механичких карактеристика помоћу различитих поступака добијања, машинских параметара обраде, као и комбинацијом ојачавајућих/побољшавајућих честица. Карактеристике ових материјала зависе од врсте, величине и процентуалног удела ових честица. Код нанокompозита са алуминијумском основом вредност тврдоће и чврстоће се повећава повећањем удела ојачавача до неке одређене вредности, а затим чврстоћа нанокompозита почиње да опада. Ова врста истраживања представља велики изазов за истраживаче што показује и број научних радова и докторских дисертација које се баве развојем и оптимизацијом нанокompозита.

Предмет истраживања је оптимизација триболошких карактеристика алуминијумских нанокompозита у смислу смањења трења и хабања, уједно и праћења механичких карактеристика, као и анализа и дискусија постојећих нанокompозита. Извршиће се

испитивања нанокompозита са основом од алуминијумске легуре A356 са ојачавајућим, нано честицама силицијум-карбида (SiC) и алуминијум-оксида ( $Al_2O_3$ ).

Применом оптимизационих метода за испитивање нанокompозита скраћује се време потребно за реализацију експеримента, смањују се трошкови испитивања као и број експерименталних узорака. Применом одговарајуће матрице, са претходно дефинисаним параметрима, варира се врста, удео и величина ојачавајућих честица у алуминијумској легури, при чему се прате триболошке и механичке карактеристике. Анализом експерименталних резултата проналази се најбоља комбинација параметара, као и параметри који највише утичу на триболошке карактеристике нанокompозита.

Главна предност ових истраживања, поред актуелности оптимизације и развоја нових нанокompозита, јесте примена испитиваних нанокompозита за анализу напонско-деформационог стања машинских елемената моделираних у CAD софтверу, чиме се додатно унапређују досадашња испитивања нанокompозита.

Основне хипотезе предложене дисертације настале су као резултат детаљног проучавања досадашњих истраживања композита (на микро нивоу) и најновијих сазнања из области нанокompозита. Развој и оптимизација триболошких карактеристика нанокompозита са основом од алуминијумске легуре A356 и њихова примена за израду машинских елемената се заснива на следећим хипотезама:

- избор оптимизационе методе за планирање експеримента је адекватан,
- изабрани параметри су од пресудног утицаја на триболошке и механичке карактеристике нанокompозита,
- примењена метода за добијање нанокompозита такође има значајан утицај на карактеристике композита,
- одређивање најутицајнијих параметара на триболошке карактеристике утиче на будућу производњу нанокompозита,
- успостављена зависност између улазних параметара и триболошких карактеристика може се користити за оптимизацију нанокompозита у циљу добијања најбољих карактеристика нанокompозита,
- примена савремене опреме омогућује развој нових нанокompозита и побољшање постојећих,
- ова истраживања ће допринети успешнијем развоју нових нанокompозита и могућности примене код машинских елемената,
- примена нумеричке анализе методом коначних елемената омогућује анализу напона и деформација машинских елемената,
- новонастали композит са A356 основом показује вишеструко боље вредности механичких и триболошких карактеристика него основни материјал.

Основни циљеви истраживања су:

- дефинисање параметара који утичу на карактеристике нанокompозита сагледавањем постојећих и са тенденцијом унапређења истих,
- одређивање основних физичких и механичких карактеристика нанокompозита (густина, тврдоћа и модул еластичности),
- обављање експерименталних триболошких испитивања помоћу разрађеног плана испитивања (величина оптерећења, пређеног пута и брине клизања и врста мазива и подмазивања) на расположивој опреми,
- одређивање утицаја појединих параметара добијања, односно механичких карактеристика на триболошке карактеристике нанокompозита и избор оптималне комбинације параметара/карактеристика,
- анализа похабаних површина и продуката хабања помоћу оптичког и скенирајућег електронског микроскопа,

- примена нанокompозита код различитих машинских елемената моделираних у *CAD* софтверу за анализу напонско-деформационог стања.

Научни циљеви су у складу са актуелним стањем у области нанокompозитних материјала на основу којих је кандидат формулисао хипотезе и предложио научне методе рада на дисертацији.

### Методe истраживања

Методe које ће се користити за реализацију докторске дисертације су статистичке, експерименталне и нумеричке.

Статистичке методe имају за циљ планирање експеримента са избором одговарајуће ортогоналне матрице која омогућава прикупљање неопходних података за утврђивање/ процену параметара, чиме се додатно обезбеђује боља поузданост процене.

Метода планирања експеримента користи се у сврху добијања што више информација о утицајним параметрима на карактеристике нанокompозита уз минималан број експеримената, чиме се смањују ресурси и време испитивања. Овај начин планирања експеримента има велику примену у развоју нових производа или процеса. Анализом експерименталних резултата врши се идентификовање параметара који знатно утичу на карактеристике нанокompозита.

Експериментална триболошка испитивања нанокompозита извршиће се према дефинисаном плану експеримента, а у складу са принципима и процедурама триболошког моделирања на савременој триболошкој опреми. Испитивања ће се обавити првенствено на трибометру уз варијације одређених параметара, на основу постављеног плана експеримента.

За одређивање механичких карактеристика нанокompозита планира се извођење експерименталних испитивања на *CSM Micro Indentation Tester-у (MHT)*.

На основу извршене оптимизације триболошких карактеристика нанокompозита са алуминијумском основом, и добијених механичких карактеристика, могуће је исте применити за нумеричку анализу машинских елемената у *CAD* софтверу.

### Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Теоријска разматрања
3. Технологија добијања и физичко-механичке карактеристике испитиваних материјала
4. План експерименталних испитивања
5. Експериментални део
6. Дискусија и анализа експерименталних резултата
7. Анализа напонско-деформационог стања машинских елемената
8. Закључак и предлог даљег истраживања
9. Литература
10. Прилози

### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације **Развој и оптимизација алуминијумских нанокompозита за израду триболошких елемената кандидата Сандре Величковић** оригинална идеја.

#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат Сандра Величковић ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке и научних циљева и методе анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања. Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе анализом обимне литературе и других извора, у већини случајева новијег датума. С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из актуелности и недовољне истражености нанокompозита са металном основом, развој нових нанокompозита применом оптимизационих метода и добијени резултати би представљали оригинални допринос кандидата. На основу предложене теме, може се закључити да би ова дисертација имала значајан теоријски и практичан допринос у развоју нанокompозита са алуминијумском основом, као и њихову примену за израду машинских елемената.

#### **5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

Сандра Величковић је рођена 26. јула 1989. године у Крагујевцу, Република Србија. Основну и средњу школу је завршила у Великој Плани. Машински факултет у Крагујевцу је уписала 2008. године. Основне академске студије завршила је са просечном оценом 9,07 одбравивши завршни рад, на смеру за Машинске конструкције и механизацију, под насловом „Испитивање машинских конструкција без разарања“ са оценом 10. Мастер академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу завршила је на смеру за Машинске конструкције и механизацију са просечном оценом 10. Мастер рад под насловом „Испитивање утицаја фактора спољашње средине на механичка својства материјала од пластичних маса“ одбранила је са оценом 10. У току студија је била награђивани студент, док је за студента генерације проглашена на мастер академским студијама.

Докторске студије је уписала на истом факултету и положила све испите са просечном оценом 10. У току студија је била стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Као стипендиста докторант била је ангажована на пројекту под називом „Истраживање безбедности возила као дела кибернетског система: возач – возило – окружење“, ТР35041, од 2014. до 2016. године. У истраживачко звање истраживач-сарадник изабрана је 10.07.2014. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Од марта 2016. године је ангажована као истраживач-сарадник (докторант) на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР35021 под називом „Развој триболошких микро/нано двокомпонентних и хибридних самоподмазујућих композита“.

Кандидат Сандра Величковић је у протеклом периоду била ангажована у извођењу наставе на предметима: Отпорност материјала, Поузданост машинских система, Испитивање машинских конструкција, Машински елементи, Статистика у инжењерству, Механички преносници, Трибологија машинских система и Механички преносници 2. Кандидат се служи енглеским језиком.

Научно-истраживачка активност кандидата припада области Машинске конструкције и механизација, а уско је везана за трибологију машинских елемената.

Кандидат је до сада, као аутор или коаутор, објавио 19 радова, од чега, 3 рада у часописима међународног значаја, 9 радова у часописима националног значаја и 7 радова презентованих на међународним конференцијама.

На основу приказаних података, као и на основу личног познавања кандидата, сматрамо да је кандидат Сандра Величковић у досадашњем раду показала велико интересовање, самосталност, систематичност, способност и креативност у научно-истраживачком раду.

Објављени радови кандидата

### Радови објављени у истакнутим међународним часописима

#### Категорија M22

1. Stojanović B., Babić M., **Veličković S.**, Blagojević J., *Tribological behavior of aluminum hybrid composites studied by application of factorial techniques*, Tribology Transactions, Vol. 59, No. 3, pp. 522-529, ISSN 1040-2004, Doi 10.1080/10402004.2015.1091535, 2016.
2. **Veličković S.**, Stojanović B., Babić M., Bobić I., *Optimization of tribological properties of aluminum hybrid composites using Taguchi design*, Journal of composite materials, ISSN 0021-9983, Doi 10.1177/0021998316672294, 2016.

### Радови објављени у међународним часописима

#### Категорија M23

1. Stojanović B., **Veličković S.**, Blagojević J., Ćatić D., *Statistical analysis of roughness timing belt in operation using full factorial methods*, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 21, No 3, pp. 514–524, ISSN 1310-4772, 2015.

### Радови у националним часописима међународног значаја

#### Категорија M24

1. Ćatić, D., Glišović, J., Miković, J., **Veličković, S.**, *Analysis of failure causes and the criticality degree of elements of motor vehicle's drum brakes*, Tribology in Industry, Vol. 36, No. 3, pp. 316-325, ISSN 0354-8996, 2014.
2. Ivanović L., **Veličković S.**, Stojanović B., Kandeва M., Jakimovska K., *The Selection of Optimal Parameters of Gerotor Pump by Application of Factorial Experimental Design*, FME Transactions, Vol. 45, No. 1, pp. 159-164, ISSN 1454-2092, Doi 10.5937/fmet1701159I, 2017.

### Радови у врхунским часописима националног значаја

#### Категорија M51

1. Stojanović B., **Veličković S.**, Vencl A., Babić M., Petrović N., Miladinović S., *Optimization and prediction of aluminium composite wear using taguchi design and artificial neural network*, Tribological Journal Bultrib, No. 6, pp. 38-45, ISSN 1310-4772, 2016.

### Радови у истакнутим националним часописима

#### Категорија M52

1. Ćatić, D., Glišović, J., **Veličković S.**, Blagojević, J., Deliћ, M., *Design FMEA of hydraulic power-steering system of light commercial vehicles*, Tractors and power machines, Vol.19, No. 2, pp. 18-27, ISSN 0354-9496, 2014.
2. Miković J., **Veličković S.**, Glišović J., Ćatić D., *Analysis of the causes of the occurrence of an irregular process of obtaining polyamide 6*, Technical Diagnostics, Vol. XIII, No. 1, ISSN 1451-1975, pp. 23-30, 2014.

3. Ćatić, D., Glišović, J., Blagojević, J., **Veličković S.**, Delić, M., *FMECA of brake system's elements of light commercial vehicles*, Mobility & Vehicle Mechanics, Vol. 40, No. 2, pp. 9-19, ISSN 1450-5304, 2014.
4. Glišović, J., Demić, M., Lukić, J., Miloradović, D., Blagojević, J., **Veličković S.**, *A contribution to research of some physical characteristics of disc brakes in laboratory conditions*, Mobility & Vehicle Mechanics, Vol. 40, No. 4, pp. 31-46, ISSN 1450-5304, 2014.
5. Ćatić, D., Glišović, J., **Veličković S.**, Blagojević, J., Delić, M., *Determination of parameters of the Weibull distribution by applying the method of least squares*, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 41, No. 1, pp. 63-77, ISSN 1450-5304, 2015.
6. Veličković S., *Analysis of influential factors on the tensile strength of polyethylene using the factorial design*, Technical Diagnostics, Vol. XIV, No. 3, pp. 33-40, ISSN 1451-1975, 2015.

### Саопштења са међународних скупова штампана у целини

#### Категорија М33

1. Ćatić D., Petrović N., Glišović J., Matejić M., Miković J., **Veličković S.**, *Program support for reliability allocation from a standpoint of technical requirements*, 8<sup>th</sup> International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, pp. 481-488, ISBN 978-86-6335-004-5, 2014.
2. Matejić M., Ćatić D., Petrović N., **Veličković S.**, Miković J., *Belt conveyer analysis using fault tree analysis method*, 8<sup>th</sup> International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, pp. 489-494, ISBN 978-86-6335-004-5, 2014.
3. **Veličković S.**, Miković J., Adamović D., Aleksandrović S., Glišović J., Ćatić D., *Investigation of the environmental factors' influence on the mechanical properties of plastics*, 8<sup>th</sup> International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, pp. 527-534, ISBN 978-86-6335-004-5, 2014.
4. Miković J., **Veličković S.**, Adamović D., Aleksandrović S., Ćatić D., *Application of Taguchi methods in testing tensile strength of polyethylene*, 8<sup>th</sup> International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, pp. 575-582, ISBN 978-86-6335-004-5, 2014.
5. Stojanović, B., Babić, M., **Veličković S.**, Blagojević, J., *Optimization of wear behaviour in aluminium hybride composites using Taguchi method*, 14<sup>th</sup> International Conference on Tribology SERBIATRIB '15, Serbian Tribology Society, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 81-86, ISBN: 978-86-7083-857-4, 2015.
6. Miladinović S., **Veličković S.**, *Optimization and prediction of safety coefficient for surface durability of planetary gearbox using Taguchi design and Artificial Neural Network*, 3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE COMETA 2016, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 139-146, ISBN 978-99976-623-7-8, 2016.
7. Stojanović B., **Veličković S.**, Ristić M., Jovanović S., Skulić A., *Influence of torque variation on stress of timing belt*, 3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE COMETA, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 123-130, ISBN 978-99976-623-7-8, 2016.

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

### ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Сандра Величковић, мастер инжењер машинства, испунила је све предвиђене услове за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

### РАЗВОЈ И ОПТИМИЗАЦИЈА АЛУМИНИЈУМСКИХ НАНОКОМПЗИТА ЗА ИЗРАДУ ТРИБОЛОШКИХ ЕЛЕМЕНАТА

прихвати и одобри њену израду кандидату Сандри Величковић, маст. инж. маш.

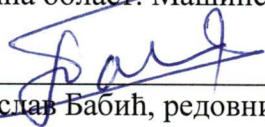
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Блажа Стојановић, доцент Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,  
03.04.2017.

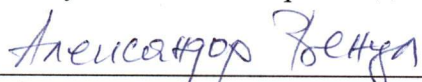
#### КОМИСИЈА:



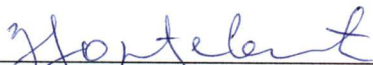
Др Ненад Марјановић, редовни професор, председник комисије,  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација



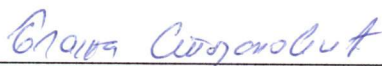
Др Мирослав Бабић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Производно машинство, Индустијски инжењеринг



Др Александар Венцл, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Машински факултет,  
Ужа научна област: Технологија материјала – Трибологија



Др Зорица Борјевић, ванредни професор,  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација



Др Блажа Стојановић, доцент,  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,  
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација