

**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 Милана Благојевића, дипл. маш. инж.

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-1040/15 од 15. 11. 2017. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата **Милана Благојевића**, дипл. маш. инж. као и оцену теме докторске дисертације под насловом:

**РАЗВОЈ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА МЕРЕЊЕ ПОЉА  
ПОМЕРАЊА И ДЕФОРМАЦИЈА КОРЕЛАЦИЈОМ ДИГИТАЛНИХ СЛИКА**

која припада научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Експериментална механика. 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 образложио предмет истраживања наводећи актуелности и значај истраживања у области корелације дигиталних слика.

Велики број тимова и истраживача бави се експерименталним истраживањима која имају за циљ развој нових алгоритама дигиталне корелације слика, мање зависних од иницијалних корисничких инструкција, процену грешке, предвиђање маргине поузданости, утицај резултата мерења на идентификоване особине материјала и спајање и валидацију нумеричких симулација. И поред више деценија развоја, дводимензионална метода корелације дигиталних слика има недостатке који додатно утичу на њену тачност. Последица неправилно извршене калибрације је постојање грешака изазваних дисторзијом објектива. Највише истражени извори грешака узроковани су променом релативног положаја узорка и/или камере, погрешним иницијалним постављањем камере (грешка косинуса), постојањем неравнина на узорку, светлосним условима, шумовима које уносе уређаји за снимање, варијацијама амбијенталних услова. Набројани утицаји подједнако се односе и на дводимензионалне и на тродимензионалне експерименталне поставке. Величине фасета и корака (растојања између два суседна фасета) су два мерна параметра која утичу на добијено решење. Постојећи алгоритми корелација дигиталних слика нису самоприлагодљиви и због тога резултати зависе од корисничких подешавања. Велики фасети захтевају доста процесорског времена и дају осредњене резултате поља померања. Са друге стране мали фасети могу садржати мало података у растеру, недовољно за повезивање фасета у недеформисаној и деформисаној конфигурацији, па резултат могу да буду непоуздани подаци. У општем случају не постоје препоруке за одређивање оптималне величине фасета, па је њихово одређивање тренутно веома субјективно. Утицај оператера постаје важнији са повећањем комплексности поља деформације.

Кандидат је представио актуелна истраживања и предложио програм истраживања у наведеној области који је у складу савременим научним методама истраживања. Истраживања се базирају на експерименталним истраживањима на расположивој опреми, као и експерименталној поставци која ће бити развијена у оквиру дисертације.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос значајан за даљи развој научних истраживања у области експерименталног и теоријског изучавања корелације дигиталних слика.

### Веза са досадашњим истраживањима

Научно-истраживачка активност кандидата припада областима примењене механике и експерименталне механике, а уско је везана за нумеричке методе као што је метод коначних елемената и одређивање поља физичких величина оптичким мерним методама. То доказују научни и стручни радови објављени у научним и стручним часописима, као и радови презентовани на међународним конгресима и националним скуповима.

Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавшавања кандидата има за циљ и расветљавање проблематике у поменутој области истраживања.

## **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:

Методе мерења поља физичких величина у експерименталној механици користе се за процену повезаности симулација и експеримената. Напредак на пољу компјутерске технологије, као и развој дигиталних фото сензора створили су услове за софистицирано нумеричко пост-процесирање слика снимљених у механичком експерименту. Метода корелације дигиталних слика (Digital Image Correlation - DIC), Digital Speckle Correlation (DSC) или Electronic Speckle Photography (ESP)) је оптичко-нумеричка техника мерења којом се одређују поља померања и деформације на површини узорка произвољне геометрије под дејством произвољног оптерећења. Основна идеја DIC-а је да једна или више синхронизованих дигиталних камера праве слике узорка током посматраног процеса. Дигиталне слике дискретизују се скуповима пиксела - фасетима. Промена положаја тачака на површини узорка се одређује применом корелационе процедуре над фасетима, односно поређењем растера (природна или вештачка текстура која се деформише на исти начин као и материјал узорка) на дигиталним фотографијама које одговарају различитим стадијумима деформације коришћењем различитих критеријума поклапања (matching criterion). За израчунавање резултујућег поља померања постоје локални и глобални приступи. Деформација се рачуна на основу параметара трансформације и градијента деформације.

Технике корелације дигиталних слика су се показале као флексибилан и користан алат за анализу деформације у квазистатичким и динамичким применама. Прате се веома споре и/или дуготрајне, али и веома брзе појаве, док величина узорка може бити од неколико нанометара до неколико десетина метара. Техника је применљива на произвољном материјалу (нпр. метали, композити, гума, дрво, вуна, ..) изложеном дејству произвољних оптерећења (нпр. механичка, термичка, електрична, ..). Савремени алгоритми омогућавају мерења великих деформација (>100%), чак у зонама где су велики градијенти деформације, све док не дође до разарања нанетог растера.

Значајан број проблема у литератури је решен коришћењем дводимензионалне методе дигиталне корелације слика (2D-DIC) у области механике чврстог тела, мерењем дводимензионалних поља померања и деформација у широком подручју распона материјала. Код дводимензионалне корелације дигиталних слика потребна је само једна камера. Коришћењем система са више камера (најчешће две) добијају се померања и деформације у три димензије (3D-DIC). Доминантан је приступ коришћењем беле светлости, али се користе и делови светлосног спектра, на пример UV-DIC. Последњих година направљен је помак увођењем дигиталне запреминске корелације (DVC), где се унутрашња деформација узорака израчунава на основу тродимензионалне компјутерске томографије.

Велика количина података добијених из DIC анализе користи се у комбинацији са аналитичким или нумеричким моделима за: верификацију нумеричких симулација, предлагање положаја мерних трака при експерименталним испитивањима, верификацију положаја мерних трака одређених на основу нумеричких симулација или DIC анализом. Поља деформације се користе за идентификацију и одређивање материјалних карактеристика и развој прецизних материјалних модела. Једна од метода је Метода коначних елемената са ажурирањем (Finite Element Method Updated - FEMU), где се модел коначних елемената креира са непознатим параметрима. Спрезањем мерених и симулираних поља деформација мењају се тренутне вредности симулираних параметара. Итеративним понављањем ове процедуре долази се до коначних вредности материјалних карактеристика. Други приступ је директно коришћење деформација за добијање материјалних параметара, као код методе виртуалних поља (Virtual Fields Method - VFM).

Генерисање модела коначних елемената за реалне геометрије инжењерских структура до појаве оптичких мерних метода није било могуће или је представљало сложен и дуготрајан задатак. У оквиру дисертације ће бити развијен софтвер за брзо генерисање модела коначних елемената, заснован на мултиблок методи, који као полаз користи полигонални модел површине генерисан корелацијом дигиталних слика или модел добијен 3D дигитализацијом. Софтвер ће бити ефикасан при креирању прорачунских мрежа за комплексне геометрије, јер не захтева постојање NURBS површина или CAD модела. Овако добијени нумерички модели омогућавају да се резултати мерења поља померања и деформације и нумерички резултати пореде у истим тачкама.

Главни циљ ове дисертације је да развије и верификује методологију мерења деформација у лабораторијским условима, првенствено за праћење експеримената који се изводе на машинама за тестирање материјала, пружајући мерне податке погодне за валидацију нумеричких симулација и аналитичких студија механичког понашања материјала. Биће развијен алгоритам глобалне самоприлагодљиве корелације дигиталних слика за прецизно мерење комплексних поља деформације. Предложен је алгоритам за аутоматско прилагођавање почетних подешавања којим се добијају поља деформације независна од утицаја корисника. Главни захтеви алгоритма су да обезбеди добар однос резолуције и просторне резолуције, и да самоприлагодљивост мора бити обезбеђена минималним утицајем корисника.

У складу са модерним истраживачким трендовима, предмет истраживања је анализа и дискусија постојећих алгоритама корелације дигиталних слика имплементираних у софтверима отвореног и затвореног кода и предлог њиховог унапређења и имплементације ради повећања тачности. Разматраће се утицаји резолуције CCD чипа, осветљења, дубине видног поља, унутрашњих и спољашњих параметара експерименталне поставке, шума на фотографијама, релативног померања сензора и мерног узорка. Разматраће се и дводимензионални и тродимензионални проблеми. Такође, разматраће се слике узорака са и без настајања пукотина. Биће направљена побољшања и адаптације постојеће опреме у циљу адекватног испитивања у оквиру дисертације.

Основне хипотезе предложене дисертације настале су као резултат детаљног проучавања досадашњег истраживања и најновијих достигнућа и сазнања у области корелације дигиталних слика. Математичко описивање и решавање проблема, захтева увођење следећих претпоставки:

- Калибрација камере може се извршити довољно тачно доступним софтверима отвореног кода,
- У дводимезионалној корелацији дигиталних слика камеру је могуће постави довољно паралелно одговарајућој равни посматраног узорка коришћењем расположивих мерних метода,
- Коришћењем глобалног приступа уз увођење мултиблок методе могуће је поклапање мерења и резултата нумеричке анализе,
- Узимајући у обзир режиме деформација који се јављају при експерименталним истраживањима као нужно се намеће разматрање великих деформација.

Основни циљеви истраживања су:

- Сакупљена, проучена и систематизована научна литература из области везаних за све аспекте ове дисертације,
- Направљена побољшања и адаптације постојеће опреме у циљу адекватног испитивања у оквиру дисертације,
- Развијен софтвер заснован на мултиблок методи за генерисање модела коначних елемената на основу скупа тачака добијених корелацијом дигиталних слика или 3D дигитализацијом,
- Развијен алгоритам за поређење мерних резултата и резултата добијених нумеричком анализом,
- Имплементиран дигитални алгоритам корелације слике 2D и 3D проблема који користи мрежу коначних елемената за праћење деформације између различитих слика,
- Предложена решења за извор највеће грешке у DIC мерењима. Методе компензације out-of-plane кретања имплементирани и поређене нумерички и експериментално,
- Извршена детаљна валидација упоређивањем уведеног DIC алгоритма у односу на доступне алгоритме и нумеричке симулације,
- Дефинисана методологија мерења поља померања и деформација корелацијом дигиталних слика.

Наведени циљеви су у складу са текућим стањем у области на основу којих је кандидат формулисао основне хипотезе и предложио научне методе рада на дисертацији.

### Методe истраживања

У докторској дисертацији ће бити коришћен већи број савремених научно-истраживачких метода. Услед комплексности проблема, користиће се и нумерички и експериментални приступ. Експериментална истраживања се планирају на следећој опреми: Shimadzu EHF EVIOIK3-070-0A, оптички мерни системи ATOS и TRITOP. Ова опрема је лоцирана у Центру за инжењерски софтвер и динамичка испитивања Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Планирано је и коришћење оптичког мерног система ARAMIS лоцираног на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Сервохидраулични пулзатор/кидалица Shimadzu EHF EVIOIK3-070-0A намењен је за стандардна испитивања материјала на собним и повишеним температурама, као и за тестирање материјала изложеним динамичким оптерећењима, такође на собним и

повишеним температурама. Динамичка испитивања на овом уређају укључују тестове затезања/сабијања, савијања у 3 и 4 тачке, задавање и пређење раста прслине, испитивање на замор и одређивање параметара лома.

АТОС је бесконтактни мерни систем за дигитализовање комплетне геометрије видљивих површина на објектима различитих величина и сложености. Користи технику пројекције структурираног светла (structured light projection), а положаје тачака одређује коришћењем триангулације. Резултат мерења је “мртва” геометрија комплетне дигитализоване површине у форми густог облака тачака или мреже полигона. Мерења се могу допунити тактилно измереним тачкама коришћењем уређаја Touch Probe. За потребе истраживања користиће се мерни резултати добијени варијантама АТОС II, АТОС II SO, АТОС IIe и АТОС Compact Scan овог мерног система.

ТРИТОП је бесконтактни мерни систем за одређивање положаја референтних маркера постављених на видљивим површинама објекта. Коришћењем софтвера CMM2Deformation, који ће бити развијен у оквиру дисертације, или софтверског модула TRITOP Deformation могуће је мерење квазистатичких деформација снимањем узастопних конфигурација, чиме се стиче јасна представа о карактеру и величини деформације посматраног објекта. Заснован је на теорији фотограметрије. У комбинацији са мерним системом АТОС могућа је дигитализација површине узорака великих габарита.

АРАМИС је бесконтактни оптички мерни систем за одређивање, анализу и документовање померања и деформација статички и/или динамички оптерећених деформабилних објеката. Заснован је на локалном приступу корелације дигиталне слике. Примењује се у анализи чврстоће конструкција, одређивању карактеристика материјала, верификацији и анализи нумеричких прорачуна. Погодан је анализу објеката од различитих материјала (метали, композити, гуме, дрво, ...).

Метода коначних елемената (МКЕ) је данас најопштији нумерички метод, примењен у готово свим наукама, а посебно у инжењерским областима. Индустрија развоја софтвера на основама МКЕ и свакодневна примена комерцијалних МКЕ програмских пакета (NASTRAN, ANSYS, ADINA, ABAQUS и др.) у свим гранама индустрије, као и интензивна научна истраживања у МКЕ најбоља су илустрација претходне тврдње. За разлику од доступних комерцијалних софтвера, употреба програмског пакета ПАК, заснованог на МКЕ, који се преко 35 година развија у Лабораторији за инжењерски софтвер Факултета инжењерских наука, пружа могућност једноставне доградње постојећих и уградње нових коначних елемената и материјалних модела. Погодан је за анализу геометријских и материјалних проблема. Нумерички прорачуни су спроведени применом МКЕ у софтверском пакету ПАК, а резултати ће се поредити и са решењима добијеним водећим светским МКЕ софтверима.

При разради експерименталне поставке пројектоване варијанте решења ће бити израђиване технологијом 3D штампања на 3D штампачу Ultimaker 3 Extended.

#### Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Развој софтвера за корелацију дигиталних слика

3. Експериментална поставка. Растер
4. Генерисање модела коначних елеменета на основу облака тачака
5. Одређивање поља померања, трајекторија, брзина и деформација на основу положаја референтних маркера
6. Експериментална и нумеричка евалуација
7. Резултати и дискусија
8. Закључна разматрања
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 имплементација методологије за мерење поља померања и деформација корелацијом дигиталних слика** кандидата **Милана Благојевића** 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 Милан Благојевић ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања. Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума.

С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне истражености проблема проблема, добијени резултати представљали би оригинални допринос кандидата истраживачкој области.

На основу актуелности и апликативности теме предложене теме, може се закључити да би ова дисертација имала значајан теоријски и практичан допринос у експерименталној механици у области оптичког мерења поља померања и деформација. Евидентно је да постоји релативно велики број комерцијалних кодова за анализу слике у механичким проблемима. Међутим, постојање локалног знања о таквим мерним методама је веома корисно, посебно када се спроводе комплексни и нестандартни експерименти.

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

Рођен је 02. септембра 1982. године у Крагујевцу, Република Србија од оца Радована и мајке Мирјане. Основно образовање је завршио 1997. године у основној школи "Мирко Јовановић" у Крагујевцу. Школовање је наставио у "Техничкој школи за машинство и саобраћај" у Крагујевцу (образовни смер "Машински техничар за компјутерско конструисање"), где је матурирао 2001. године као ђак генерације. Исте године је уписао основне студије Машинског факултета у Крагујевцу. Основне студије је завршио са просечном оценом 9.09 и одбранио дипломски рад на смеру за Примењену механику и аутоматско управљање са оценом 10, после чега је уписао Докторске студије на истом факултету. Од 2006. године ангажован је на решавању практичних инжењерских проблема у

оквиру Лабораторије за инжењерски софтвер Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Од марта 2010. године запослен је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као истраживач-сарадник ангажован на пројектима које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У наставним активностима на Факултету инжењерских наука ангажован је на предметима: Механика 2, Механика 3, Коначни елементи I - Линеарна анализа, Машински елементи, Техничко цртање са компјутерском графиком, Мерење и управљање и Основи метрологије и контроле квалитета.

Научно-истраживачка активност кандидата припада областима примењене механике и експерименталне механике, а уско је везана за нумеричке методе као што је метод коначних елемената и одређивање поља физичких величина оптичким мерним методама.

Кандидат је до сада као аутор и коаутор објавио укупно 46 научних и стручних радова у домаћим и међународним часописима, као и на домаћим и међународним скуповима. Учествовао је у реализацији 6 научно-истраживачких пројеката.

На основу података датих у оквиру биографије, као и на основу личног познавања кандидата, сматрамо да је кандидат Милан Благојевић у досадашњем раду показао интересовање, самосталност, способност и креативност у научно-истраживачком раду. Кандидат говори и пише на енглеском језику, што је неопходно за научни рад.

Објављени радови кандидата

#### Радови објављени у истакнутим међународним часописима

##### Рад у истакнутом међународном часопису [M<sub>22</sub>]:

1. Nikolić Radovan, Radovanović Miroslav, Živković Miroslav, Nikolić Aleksandar, Rakić Dragan, **Blagojević Milan**, Modeling of Thermoelectric Module Operation in Inhomogeneous Transient Temperature Field using Finite Element Method, Thermal Science, Vol. 18, No. Suppl. 1, pp. S239-S250, ISSN 0354-9836, DOI <http://doi.org/10.2298/TSC1130112185N>, 2014.

##### Рад у међународном часопису [M<sub>23</sub>]:

1. **Blagojević Milan**, Nikolić Aleksandar, Živković Milorad, Živković Miroslav, Stanković Goran, Influence of Blocks' Topologies on Endothelial Shear Stress Observed in CFD Analysis of Artery Bifurcation, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 15, No. 1, pp. 97-104, ISSN 1509-409X, DOI <http://doi.org/10.5277/abb130112>, 2013.
2. **Blagojević Milan**, Nikolić Aleksandar, Živković Miroslav, Živković Milorad, Stanković Goran, A Novel Framework for Fluid/Structure Interaction in Rapid Subject-Specific Simulations of Blood Flow in Coronary Artery Bifurcations, Vojnosanitetski Pregled: Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia, Vol. 71, No. 3, pp. 285-292, ISSN 0042-8450, DOI <http://doi.org/10.2298/VSP1403285B>, 2014.
3. **Blagojević Milan**, Rakić Dragan, Topalović Marko, Živković Miroslav, Optical Coordinate Measurements of Parts and Assemblies in Automotive Industry, Tehnicki vjesnik = Technical Gazette, Vol. 23, No. 5, pp. 1541-1546, ISSN 1330-3651, DOI <http://doi.org/10.17559/TV-20130918160442>, 2016.

#### Радови у националним часописима

##### Рад у врхунском часопису националног значаја [M<sub>51</sub>]:

1. Dragan Čukanović, **Milan Blagojević**, Snežana Vulović, Miroslav Živković, Analysis of Pre-Stresses Caused by Wire Tension of Stone Cutting Machine, Machine Design, Vol. 7, No. 1, pp. 31-34, ISSN 1821-1259, 2015.

2. **Milan Blagojević**, Jelena Erić, Ljubica Knežević, Miroslav Živković, Ljiljana Tihaček Šojić, Numerical Modeling of the Edentulous Mandible with a Complete Denture using Multiblock Method, Machine Design, Vol. 7, No. 1, pp. 19-22, ISSN 1821-1259, 2015.

#### Рад у истакнутом часопису националног значаја [M<sub>52</sub>]:

1. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Algorithm for 3D Surface Reconstruction Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 37, No. 1, pp. 63-77, ISSN 1450-5304, 2011.
2. **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Slobodan Savić, Interakcija solida i fluida na primeru realne geometrije arterijske bifrukacije slučajno izabranog pacijenta, Tehnika, Vol. 62, No. 3, pp. 459-465, ISSN 0040-2176, 2013.
3. **Milan Blagojević**, Aleksandar Dišić, Miroslav Živković, CMM2DEFORMATION - Softver za određivanje deformacija na osnovu fotogrametrijskih merenja, Tehnika, Vol. 62, No. 4, pp. 670-678, ISSN 0040-2176, 2013.
4. **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Ana Pavlović, Role of Oscillatory Shear Index in Predicting the Occurrence and Development of Plaque, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol. 7, No. 2, pp. 29-37, ISSN 1820-6530, 2013.

#### Рад у националном часопису [M<sub>53</sub>]:

1. Aleksandar Nikolić, **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Aleksandar Aleksić, Slobodan Savić, Software Technologies for the Analysis of Blood Flow in the Human Body, International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM), Vol. 3, No. 2, pp. 99-104, ISSN 2217-2661, 2012.
2. **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Remote Visualization of Finite Element Calculation Results in Vascular Interventions Decision Making, E-society Journal - Research and Applications, Vol. 3, No. 2, pp. 95 - 104, ISSN 2217-3269, 2012.

#### Саопштења са међународних научних скупова

##### Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M<sub>33</sub>]:

1. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Ana Pavlović, Quality Control of Contour Verifies using Photogrammetric Measuring Systems, 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia, 2011, September 28th-30th, pp. 139 - 142, ISBN 978-86-6055-019-6
2. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Bojana Rosić, Quality 3D Surface Reconstruction Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia, 2011, September 28th-30th, pp. 343 - 346, ISBN 978-86-6055-019-6
3. Aleksandar Nikolić, **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Aleksandar Aleksić, Radovan Petrović, Influence of Mesh Quality on Fluid Flow Calculated with Software PAK-F Explicit, 6th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2012, June 08th, pp. 561-568, ISBN 978-86-86663-82-5
4. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, User-Generated Reference Objects in Photogrammetric 3D Measurement and Quality Control, 6th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2012, June 08th, pp. 569-574, ISBN 978-86-86663-82-5
5. **Milan Blagojević**, Aleksandar Dišić, Miroslav Živković, Radovan Slavković, Verification of Deformation Measurement Results using Optical Measuring System TRITOP, 29th Danubia-Adria-Symposium on Advances in Experimental Mechanics, Belgrade, Serbia, 2012, September 26th-29th, pp. 290-293, ISBN 978-86-7083-762-1
6. Aleksandar Dišić, Miroslav Živković, Vladimir Milovanović, **Milan Blagojević**, Some Aspects in Design of Split Hopkinson Tension Bar, 29th Danubia-Adria-Symposium on Advances in



- Experimental Mechanics, Belgrade, Serbia, 2012, September 26th-29th, pp. 294-297, ISBN 978-86-7083-762-1
7. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, PAK-DCF – Multiphysics Software Modul for FEM Simulation of Current Flow Problems, 12th International Conference Research and Development in Mechanical Industry RaDMI 2012, Vrnjačka Banja, Serbia, 2012, September 13th-17th, pp. 726-731, ISBN 978-86-6075-037-4
  8. Aleksandar Nikolić, **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, PAK-FS – Multiphysics Software Modul for Fluid-Structure Interaction Simulations, 12th International Conference Research and Development in Mechanical Industry RaDMI 2012, Vrnjačka Banja, Serbia, 2012, September 13th-17th, pp. 804-808, ISBN 978-86-6075-037-4
  9. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, 3D Deformation Measurement of Car Body Parts Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, Serbia, 2012, October 3rd-5th, pp. 326-333, ISBN 978-86-86663-91-7
  10. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Marko Topalović, Registration and Surface Inspection of Automotive Pressed Parts Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, Serbia, 2012, October 3rd-5th, pp. 334-339, ISBN 978-86-86663-91-7
  11. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Visualization of Volumetric Models Obtained by Optical 3D Digitizing on Mobile Computing Platforms, International Conference on Applied Internet and Information Technologies ICAIIT 2012, Zrenjanin, Serbia, 2012, October 26th, pp. 322-325, ISBN 978-86-7672-173-3
  12. **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Remote Visualization of Finite Element Calculation Results in Vascular Interventions Decision Making, International Conference on Applied Internet and Information Technologies ICAIIT 2012, Zrenjanin, Serbia, 2012, October 26th, pp. 326-330, ISBN 978-86-7672-173-3
  13. **Milan Blagojević**, Aleksandar Dišić, Miroslav Živković, Application of O3D Plug-In in Development of Educational Web Based Application for Interactive Exploration of 3D Digitized Data, International Conference on Applied Internet and Information Technologies ICAIIT 2012, Zrenjanin, Serbia, 2012, October 26th, pp. 331-334, ISBN 978-86-7672-173-3
  14. Aleksandar Nikolić, **Milan Blagojević**, Vladimir Milovanović, Miroslav Živković, Miroslav Milutinović, Analysis of Heat Transfer Through the Beam Support of the Wagon Structure Calculated by Software PAK-Multiphysics, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2012, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, November 28th-30th, pp. 251-254, ISBN 978-99938-655-5-1
  15. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Aleksandar Nikolić, The Influence of the DSLR Camera Shutter Count on the Accuracy of the Photogrammetric Measurements, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2012, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, November 28th-30th, pp. 601-606, ISBN 978-99938-655-5-1
  16. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Development of Software PAK-M for Calculation of Magnetostatic Field, IConSSM 2013 - The 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, June 4th-7th, pp. 729-734, ISBN 978-86-909973-5-0
  17. **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Role of Oscillatory Shear Index in Predicting the Occurrence and Development of Plaque, IConSSM 2013 - The 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, June 4th-7th, pp. 821-824, ISBN 978-86-909973-5-0
  18. **Milan Blagojević**, Marko Topalović, Miroslav Živković, Improvement of End-User Experience by Development of Pre- And Post-Processing Solution for FEM Magnetostatic Solver PAK-M, 8th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2014, May 23th, pp. 409-416, ISBN 978-86-6335-004-5

19. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Deformation Measurement of Furniture Built Using Plywood Panels, 8th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2014, May 23th, pp. 767-774, ISBN 978-86-6335-004-5
20. **Milan Blagojević**, Lozica Ivanović, Aleksandar Nikolić, Miroslav Živković, Marija Zahardjordjević, Quality Improvement of Engineering Education: Design of an Application for Learning Technical Drawing, 8th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2014, May 23th, pp. 863-868, ISBN 978-86-6335-004-5
21. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Quality Control of Parts and Assemblies Using Software GOM Inspect Based on Portable CMM Data, 8th International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2014, May 23th, pp. 913-918, ISBN 978-86-6335-004-5
22. Marko Topalović, Vladimir Milovanović, **Milan Blagojević**, Aleksandar Dišić, Dragan Rakić, Miroslav Živković, Freight Wagon Mass Reduction using Parametric Optimization, VIII International Conference Heavy Machinery - HM2014, Zlatibor, Serbia, 2014, June 25-28, pp. E: 53-60, ISBN 978-86-82631-74-3
23. **Milan Blagojević**, Jelena Erić, Ljubica Knežević, Miroslav Živković, Ljiljana Tihacek Šojić, Numerical Modeling of the Edentulous Mandible with a Complete Denture using Multiblock Method, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2014, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 2014, December 2nd - 5th, pp. 321-326, ISBN 978-99976-623-1-6
24. Miroslav Živković, Marko Topalović, **Milan Blagojević**, Aleksandar Nikolić, Vladimir Milovanović, Siniša Mesarović, Jagan Padbiri, Boundary Identification and Weak Periodic Condition Application in DEM Method, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2014, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 2014, December 2nd - 5th, pp. 365-370, ISBN 978-99976-623-1-6
25. Dragan Čukanović, **Milan Blagojević**, Snežana Vulović, Miroslav Živković, Analysis of Pre-Stresses Caused by Wire Tension of Stone Cutting Machine, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2014, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 2014, December 2nd - 5th, pp. 459-462, ISBN 978-99976-623-1-6
26. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Development of Web-available Models of Human Spinal Vertebrae for Biomedical Engineering Research and Education, ICIST 2015 - 5th International Conference on Information Society and Technology, Kopaonik, Serbia, 2015, March 8th-11th, pp. 473-476, ISBN 978-86-85525-16-2
27. **Milan Blagojević**, Miroslav Živković, Saša Jovanović, Calibration Certification of Vehicle Wheel Alignment Line using Photogrammetry, International Congress Motor Vehicles & Motors 2016, Kragujevac, Serbia, 2016, October 6th - 7th, pp. 247-254, ISBN 978-86-6335-037-3
28. Andreja Milovanović, **Milan Blagojević**, Aleksandar Miljković, Application of Reverse Engineering in Formula Student Car Development, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2016, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 2016, December 7th - 9th, pp. 531-538, ISBN 978-99976-623-7-8
29. **Milan Blagojević**, Svetozar Rajnhofer, Installation of Railways for Welding Portal Guidance, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2016, Jahorina, Bosnia and Hercegovina, 2016, December 7th - 9th, pp. 349-352, ISBN 978-99976-623-7-8

#### Саопштења на скуповима националног значаја

#### Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини [M<sub>63</sub>]:

1. Nenad Vitošević, Nenad Srećković, Miroslav Živković, **Milan Blagojević**, Petar Orbanić, Crash sistem pedalnog sklopa, Cimos - Dan Raziskav, Koper, Slovenia, 2006, 17. novembar, pp. 168-171, ISBN-13 978- 961-91902-0-3

## Техничка решења

### Ново лабораторијско постројење, ново експериментално постројење, нови технолошки поступак [M<sub>83</sub>]:

1. Miroslav Živković, Aleksandar Dišić, Radovan Slavković, Miroslav Ravlić, Rodoljub Vujanac, Dragan Rakić, **Milan Blagojević**, Vladimir Milovanović, Uređaj za ispitivanje materijala pri velikim brzinama deformacije - Zatezni Hopkinsonov štap, Tehničko rešenje verifikovalo Nastavno-naučno Veće Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, odluka broj: TR-70/2012, od 20. 12. 2012.,  
Naručilac tehničkog rešenja: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Korisnik tehničkog rešenja: Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, [http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka\\_resenja/TR-70-2012.pdf](http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-70-2012.pdf)  
Raspoloživo na sajtu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja - redni broj tehničkog rešenja 531: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2016/04/TEHNICKA-RESENJA-2011-2015-10-april.xls>

### Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми [M<sub>85</sub>]:

1. Miroslav Živković, Radovan Slavković, **Milan Blagojević**, Marko Topalović, Nenad Busarac, Jelena Borota, Softver za numeričko rešavanje elektrostatičkih problema - PAK-E, Tehničko rešenje verifikovalo Nastavno-naučno Veće Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, odluka broj: TR-69/2012, od 20. 12. 2012.,  
Naručilac tehničkog rešenja: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Korisnik tehničkog rešenja: Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, [http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka\\_resenja/TR-69-2012.pdf](http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-69-2012.pdf),  
Raspoloživo na sajtu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja - redni broj tehničkog rešenja 723: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2016/04/TEHNICKA-RESENJA-2011-2015-10-april.xls>
2. Miroslav Živković, **Milan Blagojević**, Goran Stanković, Aleksandar Nikolić, Milorad Živković, Softver za brzo generisanje modela konačnih elemenata krvnih sudova - STL2FEM, Tehničko rešenje verifikovalo Nastavno-naučno Veće Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, odluka broj: TR-71/2012, od 20. 12. 2012.,  
Naručilac tehničkog rešenja: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Korisnik tehničkog rešenja: Klinički centar Srbije, Beograd, [http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka\\_resenja/TR-71-2012.pdf](http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-71-2012.pdf),  
Raspoloživo na sajtu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja - redni broj tehničkog rešenja 720: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2016/04/TEHNICKA-RESENJA-2011-2015-10-april.xls>
3. Miroslav Živković, **Milan Blagojević**, Aleksandar Dišić, Radovan Slavković, Softver za određivanje deformacija na osnovu fotogrametrijskih merenja - CMM2Deformation, Tehničko rešenje verifikovalo Nastavno-naučno Veće Fakulteta inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu, odluka broj: TR-72/2012, od 20. 12. 2012.,  
Naručilac tehničkog rešenja: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, IC inženjering, Kragujevac, Korisnici tehničkog rešenja: IC inženjering, Kragujevac; Milanović Inženjering, Kragujevac; PPT cilindri, Trstenik, [http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka\\_resenja/TR-72-2012.pdf](http://fink.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-72-2012.pdf),  
Raspoloživo na sajtu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja - redni broj tehničkog rešenja 724: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2016/04/TEHNICKA-RESENJA-2011-2015-10-april.xls>

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

### ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Милан Благојевић, дипломирани машински инжењер, испунио 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 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА МЕРЕЊЕ ПОЉА ПОМЕРАЊА И ДЕФОРМАЦИЈА КОРЕЛАЦИЈОМ ДИГИТАЛНИХ СЛИКА

прихвати и одобри њену израду кандидату Милану Благојевићу, дипл. инж. маш.

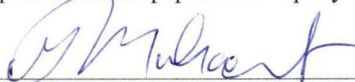
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Мирослав Живковић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,  
07. 12. 2017.

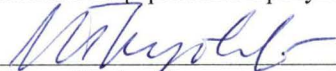
КОМИСИЈА:



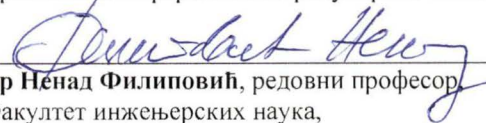
Др Радован Славковић, редовни професор,  
председник комисије,  
Факултет инжењерских наука,  
Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



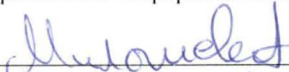
Др Мирослав Живковић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука,  
Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Ненад Грујовић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука,  
Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Ненад Филиповић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука,  
Универзитет у Крагујевцу,  
Уже научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Милош Милошевић, виши научни сарадник,  
Иновациони центар Машинског факултета,  
Универзитет у Београду,  
Научна област: Техничко-технолошке науке – машинство