

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

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној **18.04.2019.** (број одлуке: **01-1/1378-4**) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној **15.05.2019.** (број одлуке: **IV-04-386/9**) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

### „Унапређење, имплементација и експериментална верификација нумеричког моделирања оштећења и лома метала применом фазног моделирања“

У ужој научној области Примењена механика кандидата **Јелене Живковић, мастер инжењера машинства.** На основу података којима располажемо достављамо 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 актуелност и значај истраживања у области нумеричког моделирања оштећења и лома метала применом фазног моделирања. Ради обезбеђења научног приступа истраживању, дате су основне хипотезе којима се предвиђају могућности и логичке последице предвиђеног истраживања. Прегледом научне литературе, анализирани су потребе и могућности за унапређење моделирања кртог и жилавог лома. Предвиђено је коришћење и нумеричког и експерименталног испитивања, ради верификације остварених резултата. Планирано је извођење мерења одговарајућих величина неопходних за верификацију и њихово поређење са резултатима нумеричке симулације.

Планирано истраживање у оквиру ове докторске дисертације даје оригиналан научни допринос који се огледа у понуђеним решењима моделирања кртог и жилавог лома тако што ће се развити универзални модел који одлучује о карактеру лома на основу стања напона и деформација, као и карактеристика моделираног материјала. Фазни приступ моделирању лома ће бити реформулисан тако да зависи од ефективних вредности напона и деформација. Реформулисан приступ биће имплементиран у софтверски пакет ПАК да би се решио проблем великих деформација коришћењем мултипликативне декомпозиције градијента деформације на еластичан и пластичан део у односу на текућу конфигурацију и логаритамске деформације. Унапређен и реформулисан приступ фазног моделирања оштећења и лома биће верификован резултатима добијеним из извршених експеримената.

Кандидат је предложио програм истраживања у ужим научним областима Примењена механика и Експериментална механика, који је у складу са савременим научним методама истраживања. 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 нумеричког изучавања оштећења и лома метала.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама, може се закључити да се кандидат Јелена Живковић бавила истраживањем у ужим научним областима Примењене механике и Експерименталне механике, а нарочито применом нумеричких метода, као што је Метод коначних елемената, у области механике лома метала. Стручни боравци и усавршавање у иностранству, као и учешће на националном пројекту представљају добру подршку за реализацију истраживања предвиђеног у оквиру ове дисертације.

Рад на изради ове дисертације представља наставак досадашњег научно-истраживачког рада кандидата. Поред стручног усавршавања, циљ ове дисертације је да добијена решења буду примењена у инжењерској пракси на реалним проблемима.

#### **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

Имајући у виду да оштећење материјала, појава прлина и ширење постојеће прлине може да доведе до потпуног отказа конструкције, потребно је понудити решења за пројектовање нових, проверу постојећих и процену преосталог века трајања конструкција у којима су се појавиле прлине. Испитивање конструкција се може извршити експериментално или нумерички. Захтеви за што мањим трошковима и скраћењем времена потребног за испитивање довели су до развоја нумеричких метода које могу да симулирају појаву оштећења, настанак и ширење прлина и развој лома у задатим условима оптерећења. Једна од највише коришћених метода за симулацију понашања конструкција је Метод коначних елемената (МКЕ).

За потребе ове докторске дисертације кандидат ће се бавити моделирањем појаве оштећења и лома применом поља фазе оштећења као континуалне промене од неоштећеног до потпуно оштећеног материјала. Циљ је реформулисати поменути приступ тако да зависи од ефективних вредности напона и деформација, а имплементацијом у МКЕ софтвер ПАК омогућити решавање проблема великих деформација коришћењем мултипликативне декомпозиције градијента деформације на еластичан и пластичан део у односу на текућу конфигурацију и логаритамске деформације. Биће анализирана и могућа

решења проблема везе кртог и жилавог лома унифицирањем постојећих модела у један универзални модел, који би испитивао карактер лома на основу стања напона и деформација, као и карактеристика моделираног материјала. Такође ће бити спроведено и експериментално испитивање понашања метала при настанку лома у циљу верификације реформулисаног и унапређеног приступа фазног моделирања. Нумеричке симулације ће бити спроведене помоћу модела коначних елемената реалних геометрија испитаних типова епрувета помоћу којих ће се анализирати путања раста прслине, као и само поклапање дијаграма зависности силе од померања добијених експериментално и нумерички. Такође ће се анализирати улога критичног параметра оштећења и утицај густине мреже на процес лома.

У циљу развоја методологије фазног моделирања оштећења при кртом и жилавом лому за мале и велике деформације, уведене су следеће хипотезе:

- Ширење прслине се јавља када се достигне критични ниво брзине ослобађања енергије деформације (Грифитова хипотеза о енергији лома).
- Поље фазе је описано променљивом оштећења која узима вредности од 0 (за неоштећен материјал) до 1 (за потпуно оштећен материјал).
- Фазни приступ решавања подразумева спрегу поља померања и поља фазе оштећења.
- Фазни приступ моделирања подразумева увођење параметра регуларизације, који има димензију дужине и који представља ширину регуларизоване прслине.
- Оштећење материјала се јавља само при затезућем стању напона, док при притиску не долази до оштећења, односно укупну еластичну енергију деформације је могуће раздвојити на енергију деформације услед притиска и услед затезања.
- Могуће је користити монолитни и раздвојен приступ за решавање система равнотежних једначина за поље померања и поље оштећења.
- Укупан градијент деформације се може приказати као производ еластичног и пластичног градијента деформације (мултипликативна декомпозиција).
- Функција деградације крутости у процесу жилавог лома зависи од величине ефективне пластичне деформације.

#### Методe истраживања

Кандидат ће у циљу израде предложене докторске дисертације користити савремене научно-истраживачке методе које се могу поделити у две групе: нумеричке и експерименталне.

Метода коначних елемената (МКЕ) је нумеричка метода која ће бити коришћена кроз софтверски пакет ПАК за структурну анализу конструкција, који се развија у Центру за инжењерски софтвер и динамичка испитивања на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Приступ фазног моделирања лома ће бити имплементиран у ПАК да би се моделирала промена у крутости материјала. Овим приступом је дефинисано: понашање раста прслине, укључујући нуклеацију, формирање иницијалне прслине и брзину врха прслине и промене праваца. Овај приступ омогућава тачно моделирање индивидуалних прслина без праћења интерфејса између две фазе оштећења.

Експериментална испитивања за потребе ове дисертације кандидат ће спровести у Центру за инжењерски софтвер и динамичка испитивања Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Испитивањем затезањем на собној температури одредиће материјалне карактеристике легура алуминијума које имају широку примену у индустрији, нарочито у производњи шинских возила. Сва експериментална испитивања ће бити изведена на Сервохидрауличкој кидалици Шимадзу (јпн. SHIMADZU) уз коришћење одговарајуће додатне опреме: екстензометри и софтвер за праћење тока испитивања, постпроцесирање и обраду добијених резултата. Да би се потврдило да се отказ материјала јавља услед појаве нуклеација, њиховог раста и спајања у микро-прслине, кандидат ће анализирати механизам жилавог лома уз помоћ слика добијених скенирајућим електронским микроскопом (СЕМ) Desktop Phenom.

#### Оквирни садржај докторске дисертације

Планирано је да докторска дисертација буде реализована кроз осам поглавља:

1. Увод
  2. Преглед и анализа постојећих приступа моделирања лома
  3. Моделирање лома применом фазног моделирања
  4. Имплементација
  5. Експериментално испитивање
  6. Верификација
  7. Закључна разматрања
  8. Литература
- 3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

У овој докторској дисертацији проучаваће се фазно моделирање, које се последњих година појавило као метода за симулацију лома. Постојећи приступи фазном моделирању

лома код еласто-пластичних материјала разликују се по начину спрезања пластичности и оштећења, избору функција деградације и сл.

Оригиналноост предложене теме се огледа у:

- реформулацији фазног приступа моделирања лома тако да он зависи од ефективних вредности напона и деформација,
- имплементацији фазног моделирања ради решавања проблема великих деформација коришћењем мултипликативне декомпозиције градијента деформације на еластичан и пластичан део у односу на текућу конфигурацију и логаритамске деформације
- решењу проблема везе између кртог и жилавог лома развојем универзалног модела који одлучује о карактеру лома на основу стања напона и деформација, као и карактеристика моделираног материјала.
- предложеном експерименталном истраживању понашања метала при настанку лома ради верификације реформулисаног и унапређеног фазног приступа моделирања оштећења и лома.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, 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 Јелена Живковић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски – анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума и експериментално – анализом резултата добијених након извршених испитивања.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

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

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

### **а. Кратка биографија кандидата**

Јелена Живковић је рођена 10. јуна 1989. године у Крагујевцу, Република Србија. Основне академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу, (у току студија промењено име у Факултет инжењерских наука), уписала је 2008. године, а завршила 2011. године на смеру за Примењену механику и аутоматско управљање са просечном оценом у току студија 9.57 (девет и 57/100). Завршни рад под називом „Анализа тачности проширене методе коначних елемената“ под менторством проф. др Гордане Јовичић одбранила је са оценом 10. После завршетка основних академских студија, 2011. године уписује мастер академске студије на Факултету инжењерских наука, смер за Примењену механику и аутоматско управљање, које завршава 2013. године са просечном оценом 9,88 (девет и 88/100). Мастер рад под називом „Развој нумеричког модела Ј-интеграла у еласто-пластичној механици лома применом методе еквивалентног домена интеграције“ под менторством проф. др Гордане Јовичић одбранила је са оценом 10. Током основних и мастер студија била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја и Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта.

Докторске академске студије уписује школске 2013/2014. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Положила је све предмете предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.

Запослена је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као истраживач-сарадник од јануара 2014. године на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ТР32036 „Развој софтвера за решавање спрегнутих мултифизичких проблема“. У наставним активностима на Факултету инжењерских наука ангажована је на предметима Механика 1 (2014-), Механика 2 (2014-2015) и Механика 3 (2014-).

### **б. Научно-истраживачки рад**

Као аутор или коаутор до сада је објавила 17 радова у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

Списак објављених радова

#### **M21 Рад у врхунском међународном часопису**

1. Branko Tadić, Saša Randelović, Petar Todorović, **Jelena Živković**, Vladimir Kočović, Igor Budak, Đorđe Vukelić: Using a High-Stiffness Burnishing Tool for Increased Dimensional and

Geometrical Accuracies of Openings, Precision Engineering, ISSN 0141-6359, vol. 43 br. -, str. 335-344, 2016.

### **M23 Рад у међународном часопису**

1. Dušan Arsić, Milan Đorđević, **Jelena Živković**, Aleksandar Sedmak, Srbslav Aleksandrović, Vukić Lazić, Dragan Rakić: Experimental-Numerical Study of Tensile Strength of the High-Strength Steel S690QL at Elevated Temperatures, Strength of Materials, ISSN 0039-2316, vol. 48 br. 5, str. 687-695, 2016
2. Vladimir Milovanović, Miroslav Živković, Gordana Jovičić, **Jelena Živković**, Dražan Kozak: The Influence of Wagon Structure Part Shape Optimization on Ultimate Fatigue Strength, Transactions of FAMENA, ISSN 1333-1124, vol. 39 br. 4, str. 23-35, 2016

### **M24 Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком**

1. Dragan Adamović, Milentije Stefanović, Miroslav Živković, Slobodan Mitrović, **Jelena Živković**, Fatima Živić: Influence of the Lubricant Type on the Surface Quality of Steel Parts Obtained by Ironing, Tribology in Industry, ISSN 0354-8996, vol. 37 br. 2, str. 215-224, 2015

### **M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини**

1. **Jelena Živković**, Gordana Jovičić, Miroslav Živković, Radovan Slavković, Accuracy Analysis of Extended Finite Element Method for Tension of Plate with a Central Crack, 11th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, Brasov, Romania, 2012, 30th May – 2nd June, pp. 98-103, ISBN 978-606-19-0078-7
2. **Jelena Živković**, Gordana Jovičić, Snežana Vulović, Željko Stepanović, Miroslav Živković, The Numerical Assessment of the Structural Integrity of the Tibia-Implant Using Failure Criteria, 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, 4-7 June, pp. 497-502, ISBN 978-86-909973-5-0
3. Radovan Petrović, **Jelena Živković**, Marko Topalović, Miroslav Živković, Gordana Jovičić, Analytical Stress Calculation in Spherical Tank and Experimental Verification, 13th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, Decin, Czech Republic, 2014, 29 June – 2 July, pp. 92-95, ISBN 978-80-01-05556-4
4. Radovan Petrović, Nenad Todić, **Jelena Živković**, Zoran Glavčić, Mathematical Modeling, Identification and Optimization of Parameters of the Valve Plate of the Water Hydraulic Piston-Axial Pump/Motor, VIII Triennial International Conference „Heavy Machinery-HM 2014“, Zlatibor, Serbia, 2014, 25-28 June, pp. D. 29-34, ISBN 978-86-82631-74-3
5. Dragan Adamović, Milentije Stefanović, Miroslav Živković, Slobodan Mitrović, **Jelena Živković**, Fatima Živić, Influence of Lubricant Type on the Surface Quality of Aluminium Parts Obtained by Ironing, 14th International Conference on Tribology SERBIATRIB '15, Belgrade, Serbia, 2015, 13-15 May, pp. 397-406, ISBN 978-86-7083-857-4

6. **Jelena Živković**, Dragan Adamović, Miroslav Živković, Milentije Stefanović, Slobodan Mitrović, Fatima Živić, Electronic Databases for Materials Selection, 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology - DEMI 2015, Banja Luka, BiH, 2015, 29 - 30 May, pp. 569-576, ISBN 978-99938-39-53-8
7. Vladimir Milovanović, Nikola Jovanović, **Jelena Živković**, Aleksandar Dišić, Snežana Vulović, Miroslav Živković, Thermo-mechanical Analysis of Tank Wagon for Transportation of Molten Sulfur, 7th International Scientific and Expert Conference of the International TEAM Society, TEAM2015, Beograd, Srbija, 2015, 15-16 Oktobar, pp. 485-488, ISBN 978-86-7083-877-2
8. Dragan Adamović, Miroslav Živković, Tomislav Vujinović, Slobodan Mitrović, **Jelena Živković**, Dragan Džunić, Damage and Destruction of Workpiece and Tool Surfaces in Ironing Process, 15th International Conference on Tribology - SERBIATRIB '17, Kragujevac, Serbia, 2017, 17 - 19 May, pp. 388-393, ISBN 978-86-6335-041-0
9. Marija Rafailović, Miroslav Živković, Vladimir Milovanović, **Jelena Živković**, E4 and MITC4+ Shell Finite Element Performance Analysis, 6th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Tara, 2017, June 19-21, pp. S4b:1-10, ISBN 978-86-909973-6-7
10. Andreja Ilić, Lozica Ivanović, Danica Josifović, Vukić Lazić, **Jelena Živković**, Effects of welding on mechanical and microstructural characteristics of high-strength low-alloy steel joints, The 10th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2018), Novi Sad, Serbia, 2018, 6-8 June, pp. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012020, ISBN doi:10.1088/1757-899X/393/1/012020
11. Snežana Vulović, Miroslav Živković, Rodoljub Vujanac, **Jelena Živković**, Solution of Contact Problems Using the Finite Element Method, 4th International Scientific Conference COMETA 2018, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2018, 27-30 November, pp. 253-260, ISBN 978-99976-719-4-3

#### **M52 Рад у часопису националног значаја**

1. Vladimir Milovanović, Miroslav Živković, Aleksandar Dišić, Dragan Rakić, **Jelena Živković**, Experimental and Numerical Strength Analysis of Wagon for Transporting Bulk Material, IMK-14 – Research & Development, Vol.20, No.2, pp. EN61-66, ISSN 0345-6829, 2014

#### **M63 Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини**

1. Dragan Adamović, Fatima Živić, **Jelena Živković**, Miroslav Živković, Uticaj habanja na radni vek alata za duboko izvlačenje sa stanjenjem zida, 37. Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije, SPMS 2018, Kragujevac, Srbija, 2018, 25-26 October, pp. 19-27, ISBN 978-86-6335-057-1



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

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Јелена Живковић, мастер инжењер машинства, испунила је све предвиђене услове за одобрење израде 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:

**„Унапређење, имплементација и експериментална верификација нумеричког моделирања оштећења и лома метала применом фазног моделирања“**

прихвати и одобри њену израду кандидату Јелени Живковић, мастер инжењеру машинства.

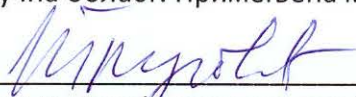
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Владимир Дунић, доцент Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу, 27.05.2019

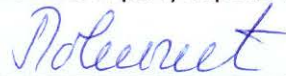
КОМИСИЈА



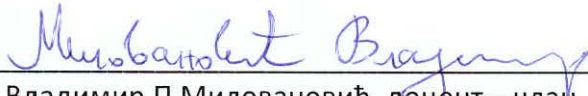
др Владимир Дунић, доцент – председник Комисије  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Ужа научна област: Примењена механика



др Ненад Грујовић, редовни професор – члан  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Ужа научна област: Примењена механика, Примењена  
информатика и рачунарско инжењерство



др Гордана Јовичић, редовни професор – члан  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Ужа научна област: Примењена механика



др Владимир П Миловановић, доцент – члан  
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Ужа научна област: Експериментална механика



др Драгослав Шумарац, редовни професор – члан  
Грађевински факултет Универзитета у Београду  
Ужа научна област: Техничка механика и теорија конструкција