

**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА**

**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 Жељка Лазаревића, дипл. маш. инж.

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-1205/14 од 11.01.2018. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата **Жељка Лазаревића**, дипл. маш. инж. као и оцену теме докторске дисертације под насловом:

**ПРОЦЕНА ИНТЕГРИТЕТА И ВЕКА ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ
ВЕЛИКИХ РУДАРСКИХ МАШИНА**

која припада научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Примењена механика и Примењена информатика и рачунарско инжењерство. 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 интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина.

Производња лигнита на површинским коповима у нашој земљи се врши у рударским басенима „Колубара“ и „Костолац“ и представља једну од најзначајнијих привредних делатности у нашој земљи. Коришћењем лигнита из ових басена се произведе око 60 % електричне енергије, а у зимским месецима и преко 75 %. Годишња производња лигнита износи око 35 милиона тона, што је респектабилна количина у европским мерилима. У циљу производње ове количине угља, на површинским коповима је ангажована бројна и разноврсна механизација, у којој централно место заузимају континуални системи који су састављени од роторног багера, система транспортера са гуменом траком, одлагача, претоварних машина и постројења за припрему угља. Битно место у експлоатацији лигнита чини роторни багер, који представља један од најкомплекснијих техничких система у индустрији уопште. Карактерише га сложена хијерархијска структура конструкције, висока новчана вредност како инвестициона тако и радна.

Потреба за високом капацитативном искоришћеношћу система, старост багера и тешки услови откопавања довели су до знатног пораста неподвижених техничких застоја који су често имали и тешке последице по багер као и вишемесечна, или чак вишегодишња испадања из система. Примере ових отказа имамо не само на површинским коповима угља у Србији већ и на многим површинским коповима у свету.

Они се објашњавају тешким радним условима, неодговарајућим пројектним решењима, недостајућим подацима о саставу материјала и квалитету заварених спојева и оштећењима и дефектима компонената кроз поступке производње и одржавања. Рано детектовање оштећења, као и процена интегритета и животног века конструкције, су активности које спадају у групу једних од најважнијих задатака у пракси машинског инжењера.

Интегритет конструкције је релативно нова научна и инжењерска дисциплина, која обухвата, између осталог, анализу стања и дијагностику понашања и попуштања, процену радног века и ревитализацију конструкција. То значи да осим уобичајене ситуације у којој треба проценити интегритет конструкције када се испитивањем без разарања утврди грешка, ова дисциплина обухвата и анализу напонског стања конструкције без прслине, методом коначних елемената. На тај начин се добија прецизна и детаљна расподела померања, деформација и напона, која омогућава да се утврде „слаба места“ у конструкцији. Овај приступ је посебно важан за конструкције које су изложене сложеним радним условима као што је роторни багер.

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 интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина.

Веза са досадашњим истраживањима

Научно-истраживачка активност кандидата припада областима примењене механике, а уско је везана за нумеричке методе као што је метод коначних елемената. 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 усавршавања 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:

Анализа стања, дијагностика понашања и попуштања конструкције подразумева компјутерско моделирање и прорачун структуре конструкције применом нумеричке методе коначних елемената, класичним поступком и експериментална мерења.

Метода коначних елемената (МКЕ) као најопштија нумеричка метода се примењује у готово свим наукама, а посебно у грађевинарству, машинству, електротехници. Основна идеја МКЕ је изналагање решења проблема апроксимативним нумеричким методама. Континуална (непрекидна) структура се идеализује поделом (дискретизацијом) са малим елементима правилног геометријског облика који се називају коначни елементи. Уводи се претпоставка о међусобној повезаности коначних елемената у чворним тачкама или чворовима на контури елемената. Расподела вредности променљивих у сваком појединачном елементу (поље померања, деформација, напрезања) се описује интерполационим функцијама, а у чворовима се дефинише сет параметара, који представљају основне непознате величине у методи коначних елемената. За анализу се стандардно користе принципи и поступци који важе за било који дискретан систем.

Експериментална мерења су намењена одређивању спољашњег и унутрашњег оптерећења конструкције у експлоатацији и мерењу угиба, напона и убрзања на изабраним местима конструкције и представљају вид „верификације“ нумеричких претпоставки, чијом применом се може сагледати стање и понашање рударске машине најприближније стварном. Оваквим приступом се усмеравају сазнања из различитих области ка једном, поједностављеном циљу: да се са што мање параметара утврди понашање конструкција, односно, да ли је њен одговор на оптерећења у складу са предвиђањем прорачуна.

Подаци добијени анализом стања и понашања у раду машина и индустријске опреме су се већ у раној фази примене користили при разматрању и процени интегритета и века конструкција. Развој овог поступка дијагностике је почео моделирањем и компјутерским прорачуном конструкција. У протеклих 30 година су развијане и побољшаване нумеричке методе засноване на методи коначних елемената уношењем бољих претпоставки чврстоће конструкција, усавршавањем компјутерског моделирања и прорачуна конструкција, до нивоа практичне примене. Следеће проширење овог поступка је било увођење експерименталног испитивања за дијагностику.

Циљ докторске дисертације је развој методологије за процену интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина коришћењем нумеричко-експерименталне методе и применом принципа механике лома.

У предметној дисертацији ће бити приказан пример и примена развијене методологије на роторном багеру SchRs 800/1,2x15 који се налази ПК „Дрмно“ у Костолцу, који је током експлоатације показивао „лоше понашање“, односно долазило је, између осталог, до појаве напрстина на „П“ раму челичне конструкције што је захтевало заустављање рада багера ради поправки, односно заваривање напрстина како се не би угрозила безбедност багера.

Током година, рађено је неколико санација и ревитализација горње градње, односно „П“ рама багера, међутим проблем појаве напрстина није трајно решен.

Предложена методологија захтева увођење следећих претпоставки:

- Интегритет конструкције се дефинише као карактеристика конструкције која гарантује поуздану експлоатацију;
- Век конструкције се дефинише као период времена у току кога је конструкција у стању да испуњава сигурно, поуздано и економично своју функцију у општим условима;
- Под замором материјала се може сматрати процес акумулације оштећења насталог услед промењивих напона и деформација, које може да доведе до стварања прслине или да проузрокује њен даљи раст;
- Замор се дешава при оптерећењима која по свом интензитету обично не прелазе напон течења;
- Фактори који утичу на стварање и пропагацију прслине су утицај површине материјала и утицај околине: квалитет површинске обраде, површинска оштећења (зарези, огреботине), топлотно-хемијско-механичка обрада површине материјала (нитрирање, калење), агресивни и неагресивни утицаји околине (корозија, хемијско-механички процеси);
- Нумерички модел изражен преко методе коначних елемената представља један од главних сегмената у методологији процене интегритета делова великих рударских машина, нумеричким моделом доказује се експеримент и обратно;
- Ревитализација, у ширем смислу, представља поступак у циљу побољшања рада и продужење века трајања багера. Поред тога циљ је и да се побољшају излазне карактеристике багера (боља прилагођеност радној средини, повећање поузданости

у раду, сигурност функционисања, погодност одржавања, безбедност људи, еколошки аспекти и друго);

- Реконструкција представља поступак измене (дела) конструкције на постојећој машини у циљу побољшања учинка;
- Модернизација представља поступак измене (дела) конструкције при којој се користе компоненте новије генерације које су развијене и произведене после производње предметног багера и/или ради измене компонената које се више не производе због застарелости.

Основни циљеви истраживања су:

- Сакупљена, проучена и систематизована научна литература из области везаних за све аспекте ове дисертације;
- Развој методологије за процену интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина коришћењем нумеричко-експерименталне методе и применом принципа механике лома, а која се састоји од низа техника за добијање квалитетних резултата о стању и понашању челичне конструкције, почев од испитивања са и без разарања, преко експерименталних мерења, компјутерског моделирања, прорачуна конструкције применом методе коначних елемената и итеративним усаглашавањем са експерименталним резултатима. Следе одлуке о даљим активностима, а оне могу бити: наставак даљег рада без интервенције, санација, ревитализација, модернизација, реконструкција или отпис;
- Примена развијене методологије за процену интегритета и века на „П“ раму челичне конструкције роторног багера SchRs 800/1,2x15 што ће обухватити:
 - Испитивање хемијског састава, механичких особина и ударних својстава уграђеног основног материјала (реатестација);
 - Анализу експлоатационог века и времена поузданог рада посматраног дела челичне конструкције роторног багера;
 - Прорачун спољашњег оптерећења „П“ рама класичном методом;
 - Одређивање деформацијског и напонског стања „П“ рама применом методе коначних елемената;
 - Одређивања стварног деформацијског и напонског стања „П“ рама применом тензометријске анализе;
 - Предлог мера за санацију „П“ рама.

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.

Методе истраживања

За решавање проблематике у овом раду користиће се методе испитивања материјала са и без разарања као и експерименталне и нумеричке методе (анализа МКЕ). За конструкције у раду, чије стање треба анализирати потребно је познавати опште карактеристике материјала као што су: хемијски састав, механичке особине, тврдоћа, ударна жилавост, који могу бити доступни из документације или, уколико подаци нису доступни или су непоуздани, се морају одредити испитивањем са или без разарања.

Методологија ће обухватити: реатестацију уграђеног основног материјала, испитивање параметара механике лома, прорачун оптерећења класичном методом, одређивање деформацијског и напонског стања конструкције применом методе коначних елемената кроз статички и динамички прорачун, тензометријску анализу напонског стања челичне конструкције, а на основу тога следи предлог мера за санацију

и анализа експлоатационог века и поузданог рада конструкције.

Експериментална мерења су намењена одређивању спољашњег и унутрашњег оптерећења челичне конструкције рударских машина, у експлоатацији, и мерење угиба, радних напона и убрзања на изабраним местима конструкције. Мерење напона подразумева примену екстензиометријске методе (мерне траке) и може бити статичко и динамичко. Мерење убрзања се изводи директно, применом давача.

Прикупљена сазнања о расту заморне прслине ће омогућити да се, са довољном тачношћу, утврди преостали век делова са прслином.

Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Велике рударске машине на површинским коповима
 - 2.1 Роторни багер
 - 2.2 Челична конструкција роторног багера
 - 2.3 Процес копања роторног багера и динамичка оптерећења
 - 2.4 Радни век роторних багера
3. Анализа досадашњих сазнања у механици лома
4. Процена интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина
5. Примери и примена развијене методологије
6. Закључак
7. Литература

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 **Процена интегритета и века челичне конструкције великих рударских машина** кандидата **Жељка Лазаревића** 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 Жељко Лазаревић ће у својој дисертацији обухватити актуелна истраживања у наведеној области поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Тема докторске дисертације обухвата истраживање веома актуелне и значајне проблематике из области нумеричко-експерименталне дијагностике у рударству као основе за ефикасно планирање и управљање процесима продужетка животног века рударских машина.

На основу постављених циљева и задатака за очекивати је да ће практични значај добијених резултата бити у могућности њихове примене кроз ефикасније управљање процесима које ће довести до правилног, дуготрајног и ефикасног коришћења рударских машина.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

Жељко Лазаревић је рођен 11.12.1982. у Ужицу. Основно образовање је завршио 1997. године у основној школи "Алекса Шантић" у Београду. Школовање је наставио у Техничкој школи „Петар Драпшин“ у Београду, где је матурирао 2001. године. Исте године је уписао студије на Машинском факултету у Београду. Дипломске студије је завршио 2008. године са просечном оценом 7,45. На смеру Машинске конструкције и механизација је са оценом 10 одбранио дипломски рад под називом „Пројекат монтаже одлагача А2Rs - В 8500.60.1“.

Након дипломирања, 2009. године уписује докторске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, смер Примењена механика и аутоматско управљање.

Од јуна 2008. до јуна 2016. је радио у ЈП ЕПС, Огранак РБ Колубара, као инжењер на пословима пројектовања, производње, монтаже и контроле рударске опреме на површинским коповима. Од јуна 2016. је запослен у Управи ЈП ЕПС у Сектору за одржавање и накнадна улагања у рударске капацитете.

Научно-истраживачка активност кандидата припада областима примењене механике, а уско је везана за нумеричке методе као што је метод коначних елемената.

Кандидат је до сада као аутор и коаутор објавио укупно 2 научна и стручна рада у домаћим и међународним часописима, као и на домаћим и међународним скуповима.

На основу података датих у оквиру биографије, као и на основу личног познавања кандидата, сматрамо да је кандидат Жељко Лазаревић у досадашњем раду показао интересовање, самосталност, способност и креативност у научно-истраживачком раду.

Објављени радови кандидата

Радови у националним часописима

Рад у националном часопису међународног значаја [M₂₄]:

1. Lazarević Željko, Arandelović Ivan, Kirin Snežana, An Analysis of Random Mechanical Failures of Bucket Wheel Excavator, Structural Integrity and Life, Vol. 15, No. 3, pp. 143-146, ISSN 1451-3749, 2015.

Саопштења са међународних научних скупова

Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M₃₃]:

1. Daničić Darko, Lazarević Željko, Mitrović Slobodan, Proactive Approach as Contribution to System of Preventing Fatigue Failures of BWE, 13th International Symposium Continuous Surface Mining ISCSM 2016, 11-14 September 2016, Belgrade Serbia, Hotel Metropol Palace, Conference Proceedings, pp. 45-59, ISBN 978-86-83497-23-2

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

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Жељко Лазаревић, 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:


ПРОЦЕНА ИНТЕГРИТЕТА И ВЕКА ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ВЕЛИКИХ РУДАРСКИХ МАШИНА

прихвати и одобри њену израду кандидату Жељку Лазаревић, дипл. маш. инж.

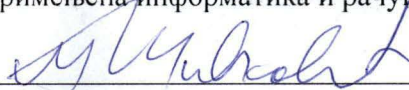
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Радован Славковић, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,
12.02.2018.

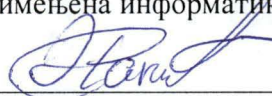
КОМИСИЈА:



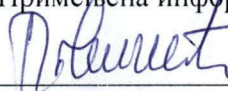
Др Радован Славковић, редовни професор,
председник комисије,
Факултет инжењерских наука,
Универзитет у Крагујевцу,
Уже научне области: Примењена механика,
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



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



Др Драгана Ракић, доцент,
Факултет инжењерских наука,
Универзитет у Крагујевцу,
Уже научне области: Примењена механика,
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Гордана Јовичић, редовни професор,
Факултет инжењерских наука,
Универзитет у Крагујевцу,
Уже научна област: Примењена механика



Др Тодор Вацев, ванредни професор,
Грађевинско-архитектонски факултет,
Универзитет у Нишу,
Уже научна област: Металне конструкције