

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Николе А. Миловановића**, дипл. инж.маш. – мастер инжењер машинства.

Одлуком 1167/2 од 17.09.2020.године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата кандидата **Николе А. Миловановића**, дипл. инж.маш. – мастер инжењер машинства под насловом

**” Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома ”**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Никола А. Миловановић, дипл. инж. маш.– мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2014/2015. године. На основу захтева студента Николе Миловановића, маст. инж. маш., да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Седмак, ред. проф., др Гордана Бакић, ван. проф., др Александар Грбовић, ред. проф., др Зијех Бурзић, маулни саветник, ВТИ, и др Миодраг Арсић, научни саветник, ИМС, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултетета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.12.2017. године, донело је одлукау бр. 3051/3 да се прихвата научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент Никола Миловановић, маст. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома. За ментора студенту Николи Миловановић, именован је др Александар Седмак, ред. проф.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-813/2-18 од 26.02.2018. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Николе Миловановића, под насловом: „ПРОЦЕНА ИНТЕГРИТЕТА РОТАЦИОНЕ ОПРЕМЕ ПРИМЕНОМ ПАРАМЕТАРА МЕХАНИКЕ ЛОМА“.

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидат Никола Миловановић, завршио докторску дисертацију и предлога Катедре за Технологију материјала Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Београду број 1167/2 од

17.9.2020. године, именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата Никола А. Миловановић, студента Докторских студија на Машинском факултету у Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: ”Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома” у саставу:

- др Александар Седмак, редовни професор (ментор), Машински факултет у Београду
- др Гордана Бакић, ванредни професор, Машински факултет у Београду
- др Александар Грбовић, редовни професор, Машински факултет у Београду
- др Емил Вег, доцент, Машински факултет у Београду
- др Симон Седмак, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета у Београду.

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом ”**Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома**”, припада области техничких наука - машинству, ужој научној области **Технологија материјала-Машински материјали**, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Никола Миловановић је рођен 26.12.1988. у Ваљеу. Завршио је основну школу „Милан Муњас“ у Убу, средњу техничку школу „Уб“ у Убу. Машински факултет у Београду је уписао 2007. Основне дипломске студије је завршио 2010. са просеком 8.92, док је мастер академске студије завршио 2012. на катедри за Термотехнику са просеком 9.10. Докторске студије је уписао новембра 2014. До сада је положио све предмете на докторским студијама.

Радно искуство

2012 -2013- Еурометал, Уб, Инжењер пројектант,

2013 – 2014- Маркант, Ваљево, Инжењер у производњи

2014 – 2016- Институт ИМС, Сарадник дипломирани инжењер

2016 – Истраживач сарадник, Иновациони центар, Машински факултет Београд.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата кандидата Николе Миловановића ”**Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома**” садржи: 109 страна формата А4, 57 слике, 30 табела, 51 једначина и списак коришћене литературе који садржи 74 референце.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Преглед радова коришћених приликом израде докторске дисертације
3. Оштећења и отказ вратила на ХЕ ”Ђердап II”
4. Испитивање параметара Механике лома на вратилу турбине, агрегата А6 на ХЕ ”Ђердап II”
5. Приказ напонске анализе аналитичким и нумеричким моделом оптерећења вратила у критичном пресеку
6. Метода Коначних Елемената и њена примена на процену интегритета конструкција

7. Нумеричка симулација и аналитички прорачун раста заморне прслине у вратилу
8. Закључак
9. Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

**Поглавље 1 и 2:** Увод и преглед литературе у области тезе. У првом и другом поглављу кандидат Никола Миловановић је дао детаљан преглед релевантне научне литературе који је од суштинског значаја у циљу утврђивања досадашњих научних резултата и достигнућа у оквиру разматране области. Утврђује се предмет истраживања и дефинише циљ истраживања. Применом параметара механике лома као што је фактор интезитета напона, чије опсег дефинише брзину раста прслине (Парисов закон), а чија критична величина (жилавост лома) одређује критичну дужину прслине. Дат је осврт на потребу да се утврди зависност брзине раста прслине од величине прслине за дату геометрију и материјал, на основу чега је могуће проценити интегритет и век ротационе опреме наравно уз позната својства материјала. Кроз радове који су представљени у поглављу 2 ће бити објашњено како је дошло до идеје за избор теме, и како је све изгледало од самог почетка.

**Поглавље 3:** Оштећења и отказ вратила на ХЕ ”Ђердап II”. У трећем поглављу кандидат објашњава о Хидро-енергетском систему Ђердап као и о оштећењима и отказу вратила турбине до којег је дошло 2007. године. Биће објашњено како је дошло до отказа као и како је се дошло до идеје за ову докторску дисертацију.

**Поглавље 4:** Испитивање параметара Механике лома на вратилу турбине, агрегата А6 на ХЕ ”Ђердап II”. У четвртном поглављу кандидат је објаснио основне принципе и методе за добијање параметара механике лома, као и како је се до истих дошло испитивањима.

**Поглавље 5:** Приказ напонске анализе аналитичким и нумеричким моделом оптерећења вратила у критичном пресеку. У петом поглављу кандидат је анализирао напонско стање предметног вратила аналитичком методом тј. Класичним инжењерским прорачуном на бази чврстоће и нумеричким моделом оптерећења. Прорачун је рађен за критични пресек вратила где је највећа концентрација напона и уједно где су се на реалном примеру и појавила оштећења на вратилу турбине у ХЕ ”Ђердап 2”

**Поглавље 6 и 7:** Метода Коначних Елемената и њена примена на интегритет конструкција и Нумеричка симулација и аналитички прорачун раста заморне прслине у вратилу. У шестом и седмом поглављу кандидат је дао увод у коришћење Метода Коначних Елемената на интегритет конструкција са становишта теорије и објашњење нумеричке симулације и аналитичког прорачуна раста заморне прслине. Разматрани проблема, тј. применом МКЕ коришћењем софтверских пакета ABAQUS и Морфео. Направљен је тродимезиони модел вратила и у делу где је била највећа концентрација напона унета је заморна прслине. Симулација је рађена тако да се одреди број циклуса који је потребан да се достигне критична дужина прслине. Поред нумеричког дела дат је и аналитички прорачун броја циклуса где су упоређене ове вредности.

**Поглавље 8:** Закључак. У поглављу осам детаљно су систематизовани остварени научни резултати и дати правци могућих, односно, будућих истраживања заснованих на резултата постигнутих у овој докторској дисертацији.

**Поглавље 9:** Литература. У поглављу девет приказана је и нумерисана литература коришћена за израду докторске дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Истраживања у области ротационе опреме су веома значајна и актуелна. Кандидат је дао јасну идентификацију и анализу основних проблема који доводе до отказа ротационе опреме. Докторска дисертација представља савремен и оригиналан допринос разматраној проблематици лома услед постојања грешака типа прслина у материјалу, посебно на местима велике концентрације напона (прелазни радијуси). У докторској дисертацији примењени су савремени истраживачки поступци уз коришћење најновијих софтверских решења за нумеричке симулације. Оригиналност добијених резултата у оквиру дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из различитих области, па су због изразито комплексног карактера теме докторске дисертације референтне области обухватале механику лома и понашања металних материјала, нумеричке метода и симулације, али и експерименталне методе испитивања. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих истраживања везаних за област отказа услед лома заварених конструкција, као и за припрему експеримената и нумеричких модела. У уводном делу докторске дисертације кандидат приказује преглед литературе према областима. Све референце коришћене у раду приказане су на крају рада, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја.

#### **3.3. Опис и адекватност примењених научних метода**

У изради докторске дисертације примењене су експерименталне и нумеричке методе. Метода коначних елемената у савременој науци има све већу примену и користи се за испитивања и прорачуне различитих машинских конструкција. У склопу нумеричких анализа формиран су веродостојни и поуздани нумерички прорачунски модели. Примењене су методе верификације, засноване на поређењу добијених нумеричких, експерименталних резултата и аналитичких резултата.

#### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и значајну практичну примену, пре свега у процени интегритета ротационе опреме. Остварени нумерички модели омогућавају одређивање утицаја замора и различитих геометрија које се могу наћи у пракси. Приказани модел је дат само за вратило турбине хидроелектране али исто тако даљим разматрањем добијени модели се могу применити и на ротациону опрему која се користи и у другим индустријама.

#### **3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад**

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, да решава научне проблеме, и да има потребно знање у оквиру области науке о материјалима, затим теоријске механике лома, као и савремене нумеричке анализе, потребно за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним коауторским радовима.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни допринос кандидата Николе Миловановића и његовог доктората под називом ”Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома” је верификован нови поступак процене интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома, на основу експерименталне и нумеричке анализе параметара механике лома, примењен на конкретном вратилу турбине, као што је показано у докторској дисертацији на стр. 93-98. Комплетан поступак и његова верификација су приказани у раду 1, објављеном у часопису категорије M21 (Engineering Failure Analysis), доступан на линку <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104561>.

Концепт увођења новог поступак процене интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома на основу експерименталне и нумеричке анализе параметара механике лома, приказан је на Европској Конференцији о лому, 2018. године. Апстракт је маведен под бр. 2, линк <http://www.ecf22.rs/docs/Book%20of%20Abstracts%20ECF22.pdf>. Овај концепт је укратко приказан у докторату на стр. 99.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и постојећих решења из области докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања нови, изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања. Развијени нумерички модели и експерименталне процедуре имају велику примењивост у области процене интегритета и века ротационе опреме.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос кандидата Николе Миловановића, верификовани су следећим радовима:

#### Категорија M20

1. **N. Milovanović**, A. Sedmak, M. Arsic, S.A. Sedmak, Ž. Božić, *Structural integrity and life assessment of rotating equipment*, Engineering Failure Analysis, Vol. 113, July 2020, 104561, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104561> **M21**

#### Категорија M30

2. **N. Milovanović**, A. Sedmak, B. Đorđević, S. Sedmak: *Using the fracture mechanics parameters in assessment of integrity of rotary equipment*, Book of Abstracts of 22nd European Conference on Fracture - ECF22, Belgrade, Serbia, 26 - 31 August, 2018, ISBN 978-86-900686-0-9, pp. 109 **M34**

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација „Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома“ кандидата Николе Миловановића, маг. инж. маш., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Никола Миловановић, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом ”Процена интегритета ротационе опреме применом параметара механике лома“ представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област **Технологија материјала-Машински материјали**.

У Београду, 30.9.2020. год

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Др Александар Седмак, ред. проф.  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
Др Гордана Бакић, ван. проф.  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
Др Александар Грбовић, ред. проф.  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
Др Емил Вег, доцент,  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
Др Симон Седмак, научни сарадник,  
Иновациони центар Машински факултет у Београду