

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

1433/4

(Број захтева)

28.06.2018. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

НЕНАДА (МИЛАН) КОЛАРЕВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **НЕНАД (МИЛАН) КОЛАРЕВИЋ** уписан на Докторске студије 2011. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

СТАЊЕ И ПОНАШАЊЕ ДИНАМИЧКИ НАПРЕГНУТИХ СТРУКТУРА У ЕКСТРЕМНИМ УСЛОВИМА РАДАУниверзитет је дана 19.09.2016. год. својим актом под бр. 61206-4250/2-16 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:**СТАЊЕ И ПОНАШАЊЕ ДИНАМИЧКИ НАПРЕГНУТИХ СТРУКТУРА У ЕКСТРЕМНИМ УСЛОВИМА РАДА**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **НЕНАДА (МИЛАН) КОЛАРЕВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 14.06.2018. године, одлуком факултета под бр. 1433/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Милосав Огњановић</u>	Проф. емеритус	Опште маш. конструкције	Машински факултет Београд
2. <u>Др Марко Милош</u>	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет Београд
3. <u>Др Божидар Росић</u>	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет Београд
4. <u>Др Милета Ристивојевић</u>	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет Београд
5. <u>Др Вукман Бакић</u>	Научни саветник	Механика флуида и сагоревање	ИНН Винча Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 28.06.2018. године.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАпроф. др Радивоје Митровић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1433/4
Датум: 28.06.2018. године
Београд, Краљице Марије 16

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 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Милосав Огњановић, проф. емеритус, Машински факултет Београд, др Марко Милош, ред. проф., др Божидар Росић, ред. проф., др Милета Ристивојевић, ред. проф. и др Вукман Бакић, научни саветник, ИНН Винча Београд о оцени докторске дисертације „Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада“ студента докторских студија **Ненада Коларевића, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 28.06.2018. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„СТАЊЕ И ПОНАШАЊЕ ДИНАМИЧКИ НАПРЕГНУТИХ СТРУКТУРА У ЕКСТРЕМНИМ УСЛОВИМА РАДА“** студента **НЕНАДА КОЛАРЕВИЋА, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Ненада Коларевића**, студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду, бр. 1433/2 од 14.06.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације докторанда **Ненада Коларевића** под насловом

Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада

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

Ненад Коларевић се уписао на Докторске студије Машинског факултета – Универзитет у Београду, школске 2011/2012 године и по програму ових студија, током прва четири семестра положио је све испите са одличним успехом. Од маја 2012. запослен је на Машинском факултету у Београду на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије „Космички транспортни системи ниске цене“ – ТР-35044 под руководством проф. др Марка Милоша. Истовремено је укључен у рад фирме EDePro – Engine Design and Production – Београд где ради на истраживању и развоју конструкцијских решења за екстремне услове експлоатације, у првом реду турбовратилних мотора са екстремно високим брзинама ротације. За асистента на Катедри за опште машинске конструкције изабран је и започео са радом 29.06.2015. године. Из обимног развојног и истраживачког рада који је имао у фирми EDePro, издвојени су резултати који се односе на област Општих машинских конструкција, а који би били база за дефинисање теме и садржине докторске дисертације. На основу ових договора, Н. Коларевић је урадио и одбранио Пројект идеје дисертације, из којег је дефинисана сама тема. Израда дисертације под насловом “Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада” одобрена му је одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, број 61206-4250/2-16 од 19.09.2016. године.

Шестогодишњи период за завршетак докторских студија није истекао јер је Комисија за докторске студије Машинског факултета Београд, Ненаду Коларевићу одобрила статус мировања студија за школску 2014/15 годину.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација **Ненада Коларевића** под насловом „**Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада**“ припада области техничких наука – машинство, ужа научна област **Опште машинске конструкције**, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду. Обрађује питања везана за напоне, деформације и разарања делова конструкције при екстремно високим брзинама ротације, високим градијентима температура и притисака флуида. За ове услове, применом одговарајуће методологије инжењерског дизајна развијају се одговарајућа конструкцијска решења која осим у области турбовратилних мотора могу имати и ширу примену. За менторе су именовани др Милосав Огњановић, сада професор емеритус, компетентан у области општих машинских конструкција и др Марко Милош компетентан у области ових мотора и инжењерског дизајна. Додатно примењене методе и приступи покривене су компетенцијама осталих чланова Комисије.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ненад Коларевић, је рођен 09.07.1986. године у Новом Пазару. Основну школу и прву годину гимназије завршио је у Рашки. По преселењу у Краљево 2002.г. школовање је наставио у гимназији у Краљеву коју је завршио 2005. године. Основне академске студије на Машинском факултету, Универзитет у Београду завршио је 2009. године, са просечном оценом 8,85. Дипломске (мастер) студије, изборни модул Ваздухопловство, завршио је на овом Факултету 2011. године са просечном оценом 9,85. Исте године на Машинском факултету у Београду уписао се на Докторске студије. Од маја 2012. запослен је на Машинском факултету у Београду на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије „Космички транспортни системи ниске цене“ – ТР-35044. За асистента на Катедри за опште машинске конструкције изабран је и започео са радом 29.06.2015. године.

Током студија и рада на Пројекту, овладао је комплексним коришћењем програмских пакета MS Office (Word, Excel, Power Point, Project), CATIA, Solid Works, AutoCAD, Corel Draw, ANSYS (Modal, Static Structural, Steady-State Thermal, CFX), MATLAB, Mathematica, ESPRIT. Завршио је курсеве Енглеског језика, као и курс за рад на CNC машинама.

Током школовања је постигао и значајне резултате у спорту. Био је играч Кошаркашког клуба „Машинац“ из Краљева и Кошаркашког клуба „Партизан“ из Београда. Кошарку је играо до завршетка прве две године студија. Осим кошарке тренирао је и карате и 2000. г. освојио три трећа места на такмичењима на нивоу Србије.

Од награда и признања, Н. Коларевић је освојио треће место на смотри научно-истраживачких радова талената Србије и добио је Диплому за постигнуте резултате из конструисања на регионалној смотри радова научног и уметничког стваралаштва од стране Регионалног центра за таленте 2002. године у Краљеву. Током студија на Машинском факултету добио је похвале за успех на трећој години Основних студија, на првој и на другој години Мастер академских студија.

Радно искуство Ненада Коларевића је значајно у научно-стручном и наставном смислу. Радом на наведеном Пројекту ТР-35044 и у фирми EDePro, стекао је значајно искуство као пројектант и конструктор, реализатор прототипских решења, експериментатор и истраживач. У наставном смислу је стекао значајно искуство одржавајући вежбе на Основним и Мастер академским студијама на српском и на енглеском језику. Најважнији предмети на којима је радио су на Основним студијама: Машински елементи -1, Машински елементи -2 и Основе

техничких иновација, а на Мастер студијама: Софтверски алати у дизајну, Иновативни дизајн техничких система, Методе у инжењерском дизајну, Поузданост преносника, Хибридни технички системи, Systems and Instruments и Actuating Systems.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација “Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада” је обима 170 страница, са 106 слика (скица, дијаграма, фотографија и других илустрација). Конципирана је тако да обради опште проблеме пројектовања и конструисања машинских структура које функцију остварују у екстремно неповољним режимима рада у погледу механичких, топлотних, структурних и струјних оптерећења. Основна идеја је дефинисање ових режима и проширење уобичајених схватања појма оптерећења као и њихових ефеката. Позната је чињеница да су оптерећења кључни параметар у инжењерском дизајну (конструисању) структура техничких система те је за интеракцију ових екстремно неповољних утицаја потребно развити посебну методологију. Као пример за илустрацију, развој и истраживање изабрана је мултифункционална преграда између компресора и турбине гасогенератора за турбовратилни мотор. Дисертација је подељена у седам поглавља: Увод, Преглед актуелних истраживања, Оптерећења у екстремним условима рада, Експериментална испитивања, Нумерички алати, Развој конструкције мултифункционалне преграде и Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод обухвата приказ основних циљева и садржаја предвиђених истраживања. Полази се од општег приступа инжењерском дизајну који подразумева успостављање корелације између функције, структуре и понашања техничког система. Трансформација предвиђене функције у структуру техничког система подразумева развој нове структуре, а у релацији са понашањем подизање нивоа експлоатационих својстава. Пошто прво конструкцијско решење мултифункционалне преграде између компресора и турбине није било прихватљиво у погледу понашања у остваривању функције, развојем нових верзија итерационо се дошло до задовољавајућих својстава и понашања. Овај поступак је уобличен у новоразвијену методу конструисања на бази отклањања узрока оштећења, а под називом Failure-Based Design. У уводу је овај присуп односно методологија за развој мултифункционалне преграде дефинисан као основни циљ дисертације. Испуњење овога циља подразумева реализацију низа других циљева и долажење до низа парцијалних решења.

Преглед актуелних истраживања односи се на сагледавање стања и понашања других конструкцијских решења под оптерећењима и условима експлоатације који су слични оним која су присутна у овом истраживању. Мултифункционална преграда је иновативно конструкцијско решење што искључује могућност постојања резултата других аутора на овој или сличној конструкцији. Преглед и веза са актуелним истраживањима остварена је преко оних конструкцијских решења која су изложена таквим или сличним механичким, топлотним, струјним, структурним и сличним оптерећењима. Ту су у првом реду укључена истраживања радних стања лопатица ротора и статора гасних турбина, затим истраживања топлотних стања, напона и деформација клипова и цилиндара мотора са унутрашњим сагоревањем, топлотних стања кочница моторних возила и других склопова. Анализирани радови су подељени у три групе. Прва група се односи на комплексна и екстремна оптерећења као и на њихове ефекте. Другу групу радова чине они код којих је тежиште на разарањима делова, а која су последица наведених оптерећења и трећу групу чине они радови код којих је тежиште на примењеним методама, у првом реду експерименталним и нумеричким. Посебно су истакнуте примењене нумеричке и експерименталне методе за

идентификацију ових стања укључујући добијене резултате и решења за побољшање стања. Ова актуелна истраживања и приказани резултати представљају основу за надградњу и усмеравање рада у циљу достизања постављеног и жељеног циља дисертације.

Оптерећења у екстремним условима рада - специфични појам у овом раду, дефинисан је као интеракција и спрегнуто дејство топлотних, струјних, механичких, хемијских или структурних утицаја. Осим тога ови утицаји се одликују нехомогеним деловањем са високим градијентом промене у простору и времену, нарочито на малом простору и у кратким временским интервалима. За конкретне услове мултифункционалне преграде, најпре је објашњена улога и потреба за уградњом ове преграде која раздваја простор турбокомпресора и турбине за његово покретање. Приказана је конструкција гасогенератора у верзији када процес сагоревања обезбеђује само ротацију вратила и када се струја гасова сагоревања користи још и за покретање додатне – слободне турбине. У обе варијанте ротор компресора и турбине су на истом вратилу, на блиском растојању, међусобно супротно окренути (Back-to-Back). У том малом међупростору између ових ротора који се окрећу брзинама преко 60 000 o/min, ова преграда реализује следеће функције: топлотна заштита компресора од коморе за сагоревање и турбине, заптивање протока флуида (ваздуха и гасова сагоревања између простора компресора и турбине), смањење аксијалне силе на вратилу услед разлике у притисцима између ова два простора, редукција нивоа температуре у зони концентрације напона у главчини турбине и др. Овако комплексан скуп функција преграде и интеракција различитих врста оптерећења чини проблематику интересантном за истраживање и веома неповољном за развој конструкцијског решења. За ту сврху треба развити одговарајућу методологију.

Експериментална испитивања су један од скупова алата за развој конструкције мултифункционалне преграде у екстремним условима рада. Конструкцијско решење изведено у виду прототипа подвргава се функционалном испитивању и прати његово понашање у раду. Пошто су услови рада екстремно неповољни и тешки, пропусти у извођењу конструкцијског решења манифестују се у виду разарања тј. хаваријских оштећења. У примени приступа који се развија FBD – Failure-Based Design, следи систематска анализа узрока који су довели до хаварије и њихово отклањање у новој конструкцијској верзији. Реализација експерименталног рада на развоју ових конструкцијских решења спроведена је кроз неколико скупова експеримената. Прву групу чине испитивања функционалности мултифункционалне преграде изведена на гасогенератору у лабораторијским условима као и у условима експлоатације. За лабораторијска испитивања коришћена је одговарајућа инсталација која омогућује мерење брзине ротације, силе потиска издувних гасова, температуре и притиска издувних гасова, притиска ваздуха на улазу и излазу из компресора, аксијалне силе на лежајима, температуре лежаја и др. Испитивања гасогенератора у експлоатационим условима реализована су на “Tip-jet” хеликоптеру са мерењима физичких величина значајних за рад овог хеликоптера. Осим испитивања у раду, дат је и приказ низа пратећих испитивања и експерименталних провера која претходе извођењу испитивања функционалности гасогенератора заједно са мултифункционалном преградом. У ту групу испитивања, најпре су сврстана испитивања и провера геометријске тачности подскопова и склопова пошто осим одступања при изради, склапање, утицај топлоте и сл. могу довести до одступања релативног односа склопљених делова. Следи уравнотежавање обртних маса, а затим испитивање динамичког понашања при високим брзинама (ротодинамика) ради провере и идентификације сопствених учестаности обртних маса које се по потреби коригују променом крутости ослонаца лежаја применом одговарајућих конструкцијских решења.

Нумерички алат у овом приступу (FBD – Failure-Based Design) је коришћен као средство за потврђивање претпоставки и идентификацију узрока разарања развијених решења током испитивања. Приказ ових алата дат је у посебном поглављу број 5, а укључен је приказ CFD (Computational Fluid Dynamics) процедуре за анализу процеса струјања ваздуха и гасова

сагоревања између лопатица компресора и турбине укључујући лопатице статора, а нарочито зону мултифункционалне преграде са међупросторима у њеној структури. Гранични услови за реализацију ових нумеричких прорачуна дефинишу се на бази података добијених испитивањем функционалности гасогенератора. Добијени резултати CFD анализом представљају улазне податке за прорачун напона и деформација делова мултифункционалне преграде. За ове прорачуне врло важне улазне величине су расподеле температуре у зони мултифункционалне преграде. Добијање ове расподеле у простору где стоји преграда, представља још један значајан задатак који се решава применом посебног нумеричког алата за ову сврху. Резултати анализе струјног процеса (расподела брзине и притиска) и расподеле температуре су улазни подаци за прорачун напона и деформација делова мултифункционалне преграде која представља трећи скуп нумеричких алата који су примењени у овом истраживању.

Развој конструкције мултифункционалне преграде је завршно, шесто поглавље рада у којем је остварена реализација и дат приказ остварених циљева истраживања. Применом предложене методологије итеративног усклађивања конструкцијског решења мултифункционалне преграде, на бази насталих оштећења и разарања током испитивања (FBD – Failure-Based Design), развијено је пет конструкцијских решења. Четврто по реду било је без разарања тако да је пето решење у односу на четврто само са одговарајућим допунама и корекцијама које представљају додатно побољшање. Поступак развоја конструкције одвијао се тако што је свако од решења после конструисања и израде испитано у реалним условима рада на пробном столу и по процедури која је приказана у поглављу 4. Услед конструкцијских недостатака и неусклађености са комплексним условима рада, настајала су разарања и нагли прекид рада. Следећи корак у процедури је расклапање, затим идентификација и анализа насталих оштећења. Иза тога следи процес утврђивања узрока који су довели до разарања уз помоћ и коришћење нумеричких алата да би се дошло до расподеле температуре, расподеле напона и деформација делова преграде. На основу утврђених узрока тражена су нова или измењена конструкцијска решења која треба да спрече настанак оштећења и обезбеде исправан рад конструкције. Током ових трагања за конструкцијским решењима идентификовани су бројни процеси који су настали у интеракцији екстремно тешких услова рада и оптерећења. Најважнији су феномени ометаног топлотног ширења делова преграде и конструкцијско обезбеђење слободе овог ширења уз смањење високог градијента расподеле температуре. Следи затим феномен заптивања простора турбине и компресора и прихват разлике у притисцима флуида у овим условима. Феномени хаваријских оштећења су такође специфични. Оштећења су углавном последица додира и међусобног притиска при екстремно високој брзини ротације. Додир је последица термичких деформација делова преграде и разлике у притисцима флуида на хладној и топлој страни. Ова клизања осим што доводе до хабања делова, доводе до изузетно интензивних додатних локалних загревања уз заваривање честица и интензивну абразију. Интензивно локално загревање ротора турбине оребреног лопатицама доводи до изразито високе разлике у локалном ширењу и до појаве прслина у овом ротору.

Закључак обухвата резиме рада по поглављима укључујући сублимацију научних и стручних доприноса као и предлог праваца даљих истраживања у овој области. Издвојени су значајни научни доприноси остварени радом на реализацији постављеног циља. Исто тако остварени су врло важни технички резултати који су били изазов и полазиште да се започне овај рад. Развијено је иновативно решење конструкције мултифункционалне преграде које доприноси смањењу димензија и масе гасогенератора. Ово решење остварује своје функције у екстремним условима рада који су резултат топлотних утицаја високог интензитета и градијента у простору и времену. За даља истраживања предвиђа се потреба и проширење рада у проучавању феномена и трагању за конструкцијским решењима за превазилажење конструкцијских контрадикција које су резултат захтева за побољшањем својстава рада и квалитета ових решења.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У дисертацији је обрађена проблематика и феномени који су присутни у савременим верзијама турбомотора, посебно у њиховим иновативним конструкцијским решењима. Општи тренд у развоју машинских конструкција је смањење масе и запремине конструкцијских решења (Lightweight Design) уз повећање снаге, поузданости и ефикасности. Задовољење ових трендова отвара нове феномене за истраживање и конструкцијско решавање. Сва питања и активности обухваћене Дисертацијом су у складу са овим трендом. Такође је значајна и чињеница да рад садржи иновативна конструкцијска и друга решења што је у складу са глобалним трендом у подстицању развоја техничких иновација.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Оригиналност и иновативност ових истраживања чини да слични резултати нису значајно заступљени у литератури. Усклађеност са актуелним истраживањима у свету присутна је у овој Дисертацији кроз приказ и примену принципа решавања аналогних проблема код других сличних конструкцијских решења. То се у првом реду односи на проблеме и решења у вези са структурама које су изложене високим температурама са нехомогеном расподелом нивоа температура, струјним процесима, високим брзинама ротације и других кретања, разарањима изазваних клизањем и абразијом, деградацијом материјала, загревањем, замором и сл. Укључено је око седамдесет референци са овом тематиком из групе кључних водећих часописа и њихових најновијих издања. На овај начин је тематика и садржина Дисертације усклађена са научним трендом и развојем конструкцијских решења која су предмет овога рада. Осим тога остварен је склад са научним трендом у области инжењерског дизајна који подразумева подизање нивоа својстава, квалитета рада и понашања техничких система.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Основна концепција истраживачког приступа у овом раду је когнитивни развој иновативних конструкцијских решења за рад у екстремно неповољним условима рада који су такође иновативног карактера у смислу њихове комбинованости и међусобне интеракције. Као алат за идентификацију феномена који су резултат ове интеракције коришћен је скуп експерименталних метода које су обухватиле испитивање комплетног система у лабораторији и експлоатацији уз мерење физичких величина које су показатељи радног стања, као и бројних пратећих испитивања као што је геометријска тачност, уравнотеженост обртних маса, динамичка стабилност и др. За идентификацију радних процеса, оптерећења и узрока разарања као и за приказ стања делова конструкције коришћен је скуп нумеричких приступа на бази Методе коначних елемената, као што су CFD (Computational Fluid Dynamics), затим Анализа расподеле температуре, Прорачун напона и деформација и др. Примењене методе и добијени резултати су у међусобној повезаности тако што су резултати експеримената у значајној мери гранични услови и полазне величине за нумеричке прорачуне, а прорачун напона и деформација полази од прорачуна струјања флуида и анализе расподеле температуре. У овом циклусу и редоследу примене метода истраживања почев од експерименталних преко нумеричких, следи примена метода инжењерског дизајна које на бази добијених резултата воде према развоју иновативног конструкцијског решења које треба да обезбеди прихватљиво понашање конструкције за специфичне и нове услове рада. Најважнија од њих је метода заснована на анализи насталих оштећења Failure-Based Design – FBD која по свом смислу и садржају припада општој групи метода у инжењерском дизајну Property-Based Design.

3.4. Применљивост остварених резултата

Као што је у претходном тексту наведено, главни циљ Дисертације је развој иновативног конструкцијског решења за конкретне и дефинисане потребе уз разрешавање више феномена који представљају мисаону баријеру за долажење до овог решења. Развијено конструкцијско решење је израђено и примењено код гасогенератора за турбмлазне и турбовратилне моторе, а које обезбеђује значајно смањење димензија и масе ових конструкција. Осим у ваздухопловству, примена турбовратилних мотора постаје све значајнија у енергетици и коришћењу алтернативних извора енергије (горива из биомасе) и др. што проширује подручје примене резултата ових истраживања. Конкретна примена ових резултата до сада је остварена у развоју гасогенератора за “Tip-jet” хеликоптер и турбовратилног мотора за погон беспилотног хеликоптера.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Рад на дисертацији је само једна од активности у научном и стручном раду Ненада Коларевића. Осим на развоју мултифункционалне преграде гасогенератора, његово ангажовање је знатно шире и укључује многе друге експерименталне, нумеричке, теоријске и конструкторске активности код гасогенератора, мотора, трансмисија (редуктора и мултипликатора), машинских елемената као што су котрљајни лежаји и спојнице за специјалне примене у условима екстремно високих брзина ротације и др. Кроз ове активности оспособио се за планирање, припрему и извођење широког спектра експеримената укључујући отклањање бројних проблема који том приликом настају. Испољио је значајне склоности за тимски рад у овом смислу и за координацију рада тима. Овладао је применом низа нумеричких метода, почев од моделирања конструкцијских решења до примене свих статичких и динамичких прорачуна заснованих на примени методе коначних елемената. Оспособио се за планирање, вођење, реализацију и представљање резултата научноистраживачког, развојног и стручног рада.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Планирана и изведена истраживања у овој Дисертацији довела су до резултата која представљају допринос развоју научне мисли, а могу се сврстати у следеће ставке:

- Метода развоја конструкцијског решења за комплексне и екстремне услове рада заснована на анализи насталих оштећења (Failure-Based Design – CFD).
- Дефинисана и идентификована оптерећења за екстремне услове експлоатације машинских система.
- Дефинисана, разрађена и специфицирана разарања машинских делова у екстремним условима експлоатације.
- Иновативно, идејно и конструкцијско решење мултифункционалне преграде које обезбеђује редукцију димензија и масе гасогенератора.
- Принцип раздвајања структуре на целину која остварује жељено понашање под утицајем топлоте и обезбеђује топлотну заштиту и на целину која преноси механичка оптерећења.
- Развијена и прилагођена методологија и процедура испитивања и формирани нумерички модели прорачуна гасогенератора и мултифункционалне преграде.

Стручни допринос ове дисертације представља конструкцијско решење мултифункционалне преграде за ефикасан и поуздан рад гасогенератора и огледа се у следећем:

- Конструкцијско решење мултифункционалне преграде која задовољава потребне услове и функције.
- Нумерички модел за идентификацију параметара струјања унутар гасогенератора, што омогућује анализу струјања у циљу повећања ефикасности мотора, као и детаљнију анализу оптерећења других делова и подсклопова.
- Методологија за прорачун чврстоће и деформација која се може применити приликом пројектовања других структура.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања и доприноса инжењерској пракси

Сама Дисертација је планирана и заснована на развојном раду и резултатима у којима је Н. Коларевић учествовао и водио у индустрији и за потребе индустрије. Пошто је реч о развојном раду он се заснива на достигнућим знањима и техничким решењима која су у почетном периоду рада била на располагању. Сам приступ да се начини иновативни искорак, био је изазов, а и потреба да се и у научном смислу учини значајан искорак. Томе је допринела и чињеница да су прва конструкцијска решења била неуспешна. Тако се ушло у истраживање узрока и трагање за бољим решењима у којима ће идентификовани узроци бити отклоњени. У односу на постојећа знања идентификоване су интеракције екстремних услова нехомогеног загревања, високог градијента притиска флуида и екстремне брзине ротације. У трагању за новим конструкцијским решењем искристалисао се приступ (метода FBD чији су корени у Property-Based Design методологији) који подразумева поправку постојећег конструкцијског решења увођењем низа мањих конструкцијских захвата који у укупном садејству доводе до значајног побољшања својстава и укупног понашања конструкције. Развијене процедуре испитивања и мерења показатеља стања, а нарочито примена нумеричких метода и алата за ове прорачуне представља значајан допринос нарочито инжењерској пракси. Развијена конструкција иновативног решења гасогенератора је најважнији допринос ове Дисертације инжењерској пракси.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултате својих истраживања Н. Коларевић је верификовао у радовима који су објављени у часописима и изложени на одговарајућим конференцијама. Најважнији су следећи радови:

Kategorija M14

1. Milosav Ognjanović, Марко Милош, **Nenad Kolarević**: *Testing and prediction of structural failures caused by fretting*, Materials today, Elsevier, Vol. 4, No.3, pp. 1103-1107, 2016, DOI: 10.1016/j.matpr.2016.03.056

Kategorija M22

2. **N. Kolarević**, M. Ognjanović, M. Miloš: *Failures of multifunctional bulkhead caused by high gradient of temperature, pressure and speed of rotation*, Engineering Failure Analysis, Vol. 89, pp. 100-117, 2018, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2018.02.022 (ISSN 1350-6307), (IF 1,748)

Kategorija M33

3. M. Kolarević, V. Grković, **N. Kolarević**, Z. Petrović, M. Rajović, *Application of Sub Matrixes for Phase Process Optmization of Linear Programming*, Proceedings of the VIII International Conference "Heavy Machinery-HM 2014", Zlatibor - 2014, ISBN: 978-86-82631-74-3, art. B43-48,
4. **N. Kolarević**, N. Kosanović, M. Miloš: *Tip-jet helicopter propulsion system testing*, KOD 2016- Proceedings of the 9th International Symposium Machine And Industrial Design In Mechanical Engineering, Balatonfüred, Hungary - 2016, ISBN: 978-86-7892-821-5, pp. 221-224,
5. M. Ognjanović, **N. Kolarević**, M. Stanković, S. Vasin: *Gear Transmission Failures and Failure Based Design*, Proceedings of the 8th International Scientific Conference IRMES 2017, Trebinje, Bosna i Hercegovina - 2017, ISBN: 978-9940-527-53-2, pp. 21-26.

Kategorija M34

6. **Nenad Kolarević**, Nikola Davidović, Predrag Miloš, Branislav Jojić, Marko Miloš: *Experimental determination of light helicopter rotor lift characteristics with tip-jet propulsion system*, - Proceedings of the 30th Danubia-Adria Symposium on advances in experimental mechanics, Primošten, Hrvatska - 2013, ISBN: 978-953-7539-17-7, pp. 268-269.
7. M. Ognjanović, **N. Kolarević**, M. Miloš: *Fretting Wear Intensity Identification in Machine Parts Contacts*, e-Proceedings of the 5th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandjelovac-2015, ISBN: 978-86-7892-715-7, article G1d.
8. M. Ognjanović, I. Jovanović, **N. Kolarević**: *Testing and prediction of machine parts failures caused by fretting*, Proceedings of the 32nd Danubia-Adria Symposium on advances in experimental mechanics, Žilna, Slovačka – 2015, ISBN: 978-80-554-1094-4, pp. 120-121.
9. Nebojša Kosanović, **Nenad Kolarević**, Marko Miloš, Branislav Jojić: *Testing of tip-jet helicopter rotor lift force*, Proceedings of the 33rd Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics-Proceedings, Portorož, Slovenija-2016, ISBN: 978-961-94081-0-0, pp. 36-37.
10. **Nenad Kolarević**, Nebojša Kosanović, Marko Miloš, J. Isaković: *Measuring parameters of Phoenix-100 gas-generator*, e-Proceedings of the 34th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, Trst, Italija - 2017, ISBN: 978-88-8303-863-1.
11. Nebojša Kosanović, **Nenad Kolarević**, Marko Miloš: *Laser welded Inconel rotor blades for tip-jet*, - e-Proceedings of the 34th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics-Proceedings, Trst, Italija - 2017, ISBN: 978-88-8303-860-1.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом и анализом, Комисија је утврдила да Дисертација представља оригинално научно дело са значајним научним и техничким доприносима. Разјашњени су и уведени нови појмови екстремних оптерећења механичких структура и уведена односно развијена процедура инжењерског дизајна - развоја конструкцијских решења која могу да обезбеде поуздан рад у екстремним условима експлоатације. То су значајни доприноси ужој научној области Општих машинских конструкција. Осим тога развијена су иновативна конструкцијска решења за примену код гасогенератора са редукованим димензијама и масом што представља значајан допринос инжењерској пракси. Резултати рада су верификовани у раду који је објављен у SCI часопису као и у другим радовима. На основу тога, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом **„Стање и понашање динамички напрегнутих структура у екстремним условима рада“** кандидата **Ненада Коларевића**, студента Докторских студија, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Милосав Огњановић, професор емеритус
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Марко Милош, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Божидар Росић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Милета Ристивојевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Вукман Бакић, научни саветник
Институт за нуклеарне науке „Винча“

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1433/4
Датум: 28.06.2018. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 28.06.2018. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„СТАЊЕ И ПОНАШАЊЕ ДИНАМИЧКИ НАПРЕГНУТИХ СТРУКТУРА У ЕКСТРЕМНИМ УСЛОВИМА РАДА“** студента **НЕНАДА КОЛАРЕВИЋА**, маг. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-4250/2-16, од 19.09.2016. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Kategorija M22

1. **N. Kolarević**, M. Ognjanović, M. Miloš: *Failures of multifunctional bulkhead caused by high gradient of temperature, pressure and speed of rotation*, Engineering Failure Analysis, Vol. 89, pp. 100-117, 2018, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2018.02.022 (ISSN 1350-6307), (IF 1,748)

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за опште машинске конструкције и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић