

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

825/4
(Број захтева)
04.07.2019.
(Датум)

Већу научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

**за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену
докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ ПРЕДРАГ (СТЕВО) ДОБРАТИЋ

:

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

**НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА
ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ**

из научне области: ВОЈНО МАШИНСТВО СИСТЕМИ НАОРУЖАЊА

Универзитет је 27.08. својим актом под 61206-3267/2- дао сагласност на предлог теме докторске
дана 2018. бр. 18 дисертације

која је гласила:

НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА
ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА
ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ

Име и презиме ментора МИЛЕТА РИСТИВОЈЕВИЋ

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној
09.05.2019.

одлуком факултета под бр. 825/2, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Божидар Росић	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
2.	Др Радивоје Митровић	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
3.	Др Милосав Огњановић	Проф. емеритус	Опште маш. конструкције	Машински факултет
4.	Др Зоран Стаменић	Ванр. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
5.	Др Славко Муждека	Ванр. проф.	Моторна возила и мотори	Универзитет одбране у Београду, Војна академија

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности __05.07.2019._____.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана __04.07.2019._____

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној __09.05.2019._____

одлуком факултета под бр. 825/2

, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Божићар Росић	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
2.	Др Радивоје Митровић	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
3.	Др Милосав Огњановић	Проф. емеритус	Опште маш. конструкције	Машински факултет
4.	Др Зоран Стаменић	Ванр. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет
5.	Др Славко Муждека	Ванр. проф.	Моторна возила и мотори	Универзитет одбране у Београду, Војна академија

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 825/5
Датум: 04.07.2019. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Статута Универзитета у Београду, члана 42. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду и чланова 38. и 39. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и реферата Комисије у саставу: др Божидар Росић, ред. проф., др Радивоје Митровић, ред. проф., др Милосав Огњановић, проф. емеритус, др Зоран Стаменић, ванр. проф. и др Славко Муждека, ванр. проф., Универзитет одбране у Београду, Војна академија о оцени докторске дисертације „Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге“ студента докторских студија **Предрага Добратића, дипл. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 04.07.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ**“ студента **ПРЕДРАГА ДОБРАТИЋА, дипл. 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 др Милети Ристивојевић, ред. проф. и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Предрага Добратића**, студента докторских студија.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду, број 825/2 од 09.05.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације докторанда **Предрага Добратића** под насловом

„НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ЦИЛИНДРИЧНИХ
ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ“

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

Предраг Добратић је уписао докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду школске 2011/2012. године, а школске 2016/2017. године је уписао трећу годину докторских студија на Катедри за опште машинске конструкције. Положио је све испите предвиђене планом и програмом усавршавања на овим студијама, са просечном оценом 9,86. Положио је испите из следећих предмета: Виши курс математике, Нумеричке методе, ОМНИР и комуникација, Одабрана поглавља из механике, Расподела оптерећења 1 - анализа и синтеза, Одабрана поглавља из машинских елемената А, Одабрана поглавља из машинских елемената Б, Одабрана поглавља из конструисања А, Поузданост и динамика преносника, Истраживање и публиковање 1, Истраживање и публиковање 2, Истраживање и публиковање 3, Истраживање и публиковање 4 и Пројекат идеје докторске дисертације.

Предраг Добратић се, захтевом број 992/1 од 19.04.2018. године, обратио Наставно-научном већу и Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду за пријаву теме докторске дисертације под насловом „Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге“ и за ментора предложио Ристивојевић др Милету, редовног професора на Катедри за опште машинске конструкције Машинског факултета Универзитета у Београду.

Именованом је Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, одлуком број 61206-3267/2-18 од 27.08.2018. године, одобрило израду докторске дисертације под насловом „Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге“ и за ментора одредило Ристивојевић др Милету, редовног професора на Катедри за опште машинске конструкције Машинског факултета Универзитета у Београду

1.2. Научна област дисертације

Ужа научна област дисертације припада подручју **Општих машинских конструкција**. Обрађује питања везана за расподелу оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца, напоне у корену зупца и степен искоришћења при вишеструкој спрези када се у току додирног периода смењују двострука и трострука спрега зубаца. За ове услове, применом одговарајуће методологије развијени су аналитички (тачни и приближни) и нумерички модели. За ментора је именован др Милета Ристивојевић, редовни професор, на Катедри за опште машинске конструкције, Машинског факултета Универзитета у Београду, компетентан у области општих машинских конструкција.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Предраг Добратић је рођен 18.08.1980. године у Јајцу, Република Босна и Херцеговина. У Панчеву је са одличним успехом завршио Основну школу „Васа Живковић“ 1995. године и Машинску школу „Панчево“ 1999. године.

Војнотехничку академију у Београду, Смер морнаричкотехничке службе (машинско усмерење, специјалност бродомашинство), је уписао школске 1999/2000. године, а завршио 2004. године са општим успехом у току студија 8,73. На Машинском факултету Универзитета у Београду је уписао пету годину студија школске 2007/2008. године, а завршио 2008. године на Катедри за машинске конструкције и механизацију са општим успехом у току студија 8,57.

Од 2004. године је запослен на Војној академији Универзитета одбране у Београду, где је у наставни процес интензивније укључен од школске 2006/2007. године, а од школске 2008/2009. године изводи вежбе на основним академским студијама из предмета Машински елементи 1, Машински елементи 2 и Основи машинских елемената. На Машинском факултету Универзитета у Београду је у току три школске године био укључен у држање вежби на основним академским студијама из предмета Машински елементи 1 и Машински елементи 2.

На Војној академији Универзитета одбране у Београду је биран у звања асистент-приправник (2005. и 2009. године) и асистент (2014. и 2017. године). Аутор и коаутор је неколико радова објављених на домаћим и међународним конференцијама и у часописима.

Током студија и рада, овладао је коришћењем програмских пакета MS Office (Word, Excel, Power Point), Catia, Ansys, Matlab, Wolfram Mathematica.

Ожењен је (супруга Јелена) и отац четворо деце (син Петар, ћерке Ленка, Петра и Ђурђа).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге“ је написана на укупно 154 нумерисаних страна, илустрована са 88 слика (дијаграма, скица и других илустрација) и 17 табела. Конципирана је тако да обради феномене расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца, када се у току додирног периода смењује двострука и трострука спрега, у условима граничне и стварне расподеле оптерећења. Познато је да је један од показатеља радне способности зупчастих парова носивост зубаца са аспекта запреминске чврстоће, односно лома зубаца. Сагласно томе, развијени су аналитички модели, тачни и приближни, и нумерички модели за анализу напонског стања у корен зупца, у условима граничне и стварне расподеле оптерећења. За праћење енергетске ефикасности зупчастих парова у условима вишеструке спреге зубаца, развијени су аналитички модели.

Докторска дисертација је подељена у десет поглавља: Увод, Преглед досадашњих истраживања, Утицај облика профила зубаца на степен спрезања зубаца, Расподела оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца, Аналитички модел напона у корену зупца у условима вишеструке спреге, Истовремени утицај расподеле оптерећења и облика профила зубаца на напон у корену зупца, Упоредна анализа напонског стања у корену зупца према аналитичком моделу и конвенционалним методама, Упоредна анализа напонског стања у корену зупца према аналитичком и нумеричком моделу, Аналитички модел енергетске ефикасности цилиндричних зупчастих парова и Закључак. Поред ових поглавља у дисертацији се налази преглед коришћене Литературе и један Прилог.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод

Обухвата приказ основних циљева и садржаја предвиђених истраживањем. Задатак истраживања докторске дисертације је развој прецизнијих математичких модела за анализу радне способности цилиндричних зупчастих парова са аспекта носивости корена зубаца и енергетске ефикасности у условима вишеструке спреге када се у току додирног периода смењују двострука и трострука спрега зубаца. Веома изражен утицај на носивост и енергетску ефикасност зупчастих парова има карактер расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца. Сагласно томе, у докторској дисертацији су прво формиран тачни модели расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца, респектујући тачност израде и крутост зубаца, као и интензитет оптерећења. Према конвенцијалним поступцима прорачуна утицај расподеле оптерећења у условима двоструке и троструке спреге зубаца на радну способност зубаца се анализира применом приближних израза. Поред расподеле оптерећења, напонско стање у корену зубаца зависи од облика профила спрегнутих зубаца и положаја тачке додира спрегнутих зубаца у односу на критични пресек у корену зубаца. Анализом истовременог утицаја расподеле оптерећења и облика профила зубаца на напонско стање у корену зубаца у докторској дисертацији су развијени тачни модели за идентификацију напона меродавног за проверу радне способности зубаца са аспекта запреминске чврстоће. Поред тачних модела, развијени су и апроксимативни (приближни) модели. Развијеним моделима се може тачније дефинисати радна способност зупчастих парова са аспекта носивости корена зубаца.

Преглед досадашњих истраживања

Односи се на сагледавање других истраживања која су слична оним која су спроведена у овој докторској дисертацији. Ту су у првом реду укључена истраживања: расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца, тачности израде зубаца, у већем обиму напонског стања корена зубаца, затим у мањем обиму и напонског стања бокова зубаца, као и енергетске ефикасности, односно степена искорићења спрегнутих зупчастих парова. Анализирани радови су подељени у две групе. Прва група се односи на носивост зубаца. Посебно су истакнуте примењене нумеричке и експерименталне методе за анализу напонског стања корена зубаца, укључујући добијене резултате и решења за побољшање стања. Другу групу радова чине они код којих је тежиште на енергетској ефикасности, односно на степену искорићења спрегнутих зупчастих парова. Ова актуелна истраживања и приказани резултати представљају основу за надоградњу, контролу и усмеравање рада у циљу достизања постављеног и жељеног циља дисертације.

Утицај облика профила зубаца на степен спрезања зубаца

У овом поглављу је показано да се променом геометрије алата и коефицијената померања профила зубаца зупчаника утиче на промену облика профила спрегнутих зубаца. Услед промене облика профила зубаца мења се број истовремено спрегнутих парова зубаца који учествује у преношењу оптерећења зупчастог пара. Већим вредностима степена спрезања

профила зубаца одговарају веће вредности броја зубаца спрегнутих зупчаника, односно веће вредности преносног односа. Насупрот томе, већим вредностима степена спрезања профила зубаца одговарају мање вредности угла нагиба профила зубаца алата. При томе, градијент утицаја броја зубаца зупчастог пара и угла нагиб профила зубаца алата на степен спрезања профила зубаца зависи од вредности коефицијената померања профила зубаца. Анализа је показала да се код цилиндричних зупчаника са правим зупцима, варирањем броја зубаца зупчастог пара, угла нагиба профила зубаца алата и коефицијената померања профила зубаца не могу остварити вредности степена спрезања профила зубаца веће од три. То значи да се у току додирног периода може остварити само вишеструка спрега када се у току додирног периода смеђују двострука и трострука спрега зубаца. За постизање вишеструке спрега када се у току додирног периода смеђују трострука и четворострука спрега зубаца је потребно мењати и коефицијент висине зупца.

Расподела оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца

Расподела оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца може бити гранична (равномерна или изразито неравномерна) и стварна. Код граничне равномерне (идеалне) расподеле оптерећења сви истовремено спрегнути парови зубаца подједнако учествују у преношењу укупног оптерећења зупчастог пара. Код граничне изразито неравномерне расподеле оптерећења је карактеристично да се и при већем броју истовремено спрегнутих парова зубаца укупно оптерећење преноси само преко једног пара зубаца. Област стварне расподеле оптерећења је дефинисана између два случаја граничне расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца. Показатељ степена ангажованости појединих истовремено спрегнутих парова зубаца у преношењу укупног оптерећења зупчастог пара је фактор расподеле оптерећења. На основу развијених аналитичких модела фактора расподеле оптерећења, показано је да је за детаљну анализу расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца потребно познавати стварно укупно оптерећење зупчастог пара, еквивалентне специфичне крутости спрегнутих зубаца у карактеристичним тачкама додира и одступања основних корака истовремено спрегнутих парова зубаца. Такође је показано, да би се појавила равномерна (идеална) расподела оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца, потребно је постићи одговарајућу компатибилност између интензитета оптерећења, одступања основног корака и крутости истовремено спрегнутих парова зубаца.

Аналитички модел напона у корену зупца у условима вишеструке спреге

У овом поглављу је развијен аналитички модел за анализу утицаја расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца и геометрије зубаца на напонско стање у корену зубаца цилиндричних зупчастих парова. На основу развијеног аналитичког тачног модела показано је да напон у корену зупца зависи од карактера промене расподеле оптерећења, фактора облика зубаца и фактора корекције напона у тачкама додира на профилима зубаца у којима се врши примопредаја оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца. Промена напона у корену зупца у току додирног периода је анализирана посматрањем односа напона у некој тачки додира и напона при додиру у спољашњој тачки троструке спреге, односно у тачки А. На основу односа ових напона дефинисан је фактор релативног напона који се одређује као однос фактора облика зупца и фактора корекције напона у посматраној тачки додира према истим факторима при додиру у спољашњој тачки троструке спреге, односно у тачки А. Да би се поједноставило одређивање фактора релативног напона, уведена је претпоставка о његовој линеарној променени у току додирног периода, затим претпоставка о једнакости истог фактора за зупце спрегнутих зупчаника, као и претпоставка да вредности фактора релативног напона у унутрашњој тачки троструке спреге, односно у тачки Х, износе 0,25. На основу ових претпоставки, развијени су модели за једноставније одређивање фактора релативног напона, погодни за инжењерску праксу.

Истовремени утицај расподеле оптерећења и облика профила зубаца на напон у корену зупца

Анализирано је напонско стање у корену зубаца цилиндричних зупчастих парова у условима граничне (равномерне и изразито неравномерне) расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца. При томе, облик профила зубаца је вариран променом угла нагиба профила зубаца алата и коефицијената померања профила зубаца зупчаника. Сprovedена анализа је показала да се у условима равномерне расподеле оптерећења највећи напон у корену зупца генерише када се посматрани пар зубаца зупчастог пара додирује у спољашњој тачки двоструке спреге зубаца, односно у тачки Б. Такође је показано да се са повећањем угла нагиба профила зубаца алата, односно са смањењем степена спрезања профила зубаца, повећава напон у корену зупца. У условима позитивног померања профила зубаца зупчаника, утицај угла нагиба профила зубаца алата на напон у корену зупца је израженији. У другом граничном случају, код изразито неравномерне расподеле оптерећења истовремено спрегнутих парова зубаца, највећи напон у корену зупца генерише се када се посматрани пар зубаца погонског и гоњеног зупчаника додирује у спољашњој тачки троструке спреге, односно у тачки А. У овом случају расподеле оптерећења, са повећањем угла нагиба профила зубаца алата, смањује се напон у корену зупца. Код изразито неравномерне расподеле оптерећења, утицај угла нагиба профила зубаца алата на промену напона у корену зупца је израженији него кад је код истовремено спрегнутих парова зубаца присутна равномерна расподела оптерећења.

Упоредна анализа напонског стања у корену зупца према аналитичком моделу и конвенционалним методама

У инжењерској пракси прорачуна носивости зубаца зупчастих парова се спроводи најчешће развијеним методама „А“ и „Б“ у међународном ISO стандарду. За методу „Б“, у ISO стандарду су дате смернице о току прорачуна. Метода „А“ је заснована на примени методе коначних елемената и експерименталних резултата, и користи се за високоодговорне зупчaste парове. У овом поглављу је спроведена анализа напонског стања у корену зупца према методи „Б“ ISO стандарда и развијеном аналитичком моделу у овој дисертацији. Упоредна анализа је показала да су вредности напона у корену зупца зупчастих парова према методи „Б“ ISO стандарда знатно веће у поређењу са напонима одређеним према развијеном аналитичком моделу, у условима граничне расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца. Такође је показано да код зупчастих парова са већим степеном спрезања профила зубаца постоје веће разлике између напона у корену зупца, одређене према методи „Б“ ISO стандарда и аналитичком моделу.

Упоредна анализа напонског стања у корену зупца према аналитичком и нумеричком моделу

У раду је развијен нумерички модел напонског стања у корену зупца у програму Ansys применом методе коначних елемената. Развијени модел је искоришћен за верификацију резултата анализе напонског стања у корену зупца према развијеним аналитичким моделима. Напони у корену зупца одређени према нумеричком моделу су мањи од напона у корену зупца одређених према развијеном аналитичком моделу. Просечне разлике између напона у корену зупца према нумеричком и развијеном аналитичком моделу су око 10% у свим тачкама примопредаје оптерећења. Код зупчастих парова разлике напона у корену зупца у тачки Б према аналитичком тачном и приближном моделу су мање код гоњеног, него код погонског зупчаника. Ове разлике су мање када је већи угао нагиба профила зубаца алата. У тачки Б код погонског зупчаника је већи напон у корену зупца према аналитичком приближном моделу, док је код гоњеног зупчаника већи напон у корену зупца према аналитичком тачном моделу. Линеарна промена напона у корену зупца према аналитичком приближном моделу боље апроксимира криву напона у корену зупца према аналитичком

тачном моделу гоњеног, него погонског зупчаника. Разлике напона у корену зупца у тачки Б према аналитичком тачном и приближном моделу су веома мале.

Аналитички модел енергетске ефикасности цилиндричних зупчастих парова

У овом поглављу је показано да ток промене тренутних вредности степена искоришћења прати карактер промене расподеле оптерећења на истовремено спрегнутим паровима зубаца. На основу добијених резултата је показано да тренутна вредност степена искоришћења достиже максималну вредност у тренутном (кинематском) полу релативних брзина, где је брзина клизања бокова зубаца једнака нули. Губици енергије настали услед трења котрљања су знатно мањи од губитака енергије насталих услед трења клизања. Мање вредности степена искоришћења се налазе у подручју троструке, а веће у подручју двоструке спреге зубаца зупчаника. Ово је последица већег броја контактних површина у подручју троструке, у односу на подручје двоструке спреге зубаца зупчаника. Енергетски губици једног зупчастог пара су релативно мали, али енергетска ефикасност преносника снаге који се састоји од неколико зупчастих парова може бити значајна. Укупна енергетска ефикасност преносника снаге, састављеног од неколико зупчастих парова, представља производ енергетске ефикасности сваког појединачног зупчастог пара. Сагласно томе, побољшање енергетске ефикасности које се може постићи код сваког зупчастог пара значајно доприноси енергетској ефикасности читавог преносника снаге.

Закључак

У закључку је дат детаљан резиме рада по поглављима. Издвојени су значајни резултати остварени током рада на реализацији постављеног циља и задатка истраживања. Приказани су и потенцијални правци за будућа истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У дисертацији је обрађена проблематика и феномени расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца цилиндричних зупчастих парова, када се у току додирног периода смењује двострука и троструга спрега зубаца. Разјашњени феномени расподеле оптерећења се могу применити за анализу расподеле оптерећења код других машинских елемената, котрљајних лежаја, ланчаних и навојних парова.

Општи тренд у развоју савремених машинских конструкција је смањење масе и запремине конструкцијских решења уз повећање снаге, поузданости и ефикасности. Задовољење ових трендова се не може постићи без разјашњења феномена расподеле оптерећења, односно сагледавања степена ангажованости истовремено спрегнутих елемената у преношењу укупног оптерећења.

Такође је значајна и чињеница да рад садржи иновативна решења у домену расподеле оптерећења и у домену сагледавања њеног утицаја на радну способност зупчастих преносника снаге са аспекта носивости и енергетске ефикасности.

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 машинских склопова.

То се у првом реду односи на проблеме и решења у вези са расподелом оптерећења код вишеструке спреге зубаца и њеног утицаја на радну способност зубаца са аспекта запреминске чврстоће и енергетске ефикасности зупчастих парова. Укључено је око шездесет референци

са овом тематиком из групе водећих часописа и њихових најновијих издања. На тај начин су тематика и садржина дисертације усклађени са актуелним научним трендом и развојем аналитичких и нумеричких решења расподеле оптерећења која су предмет овога рада.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Аналитичке методе истраживања су примењене за формирање математичког модела расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца у условима вишеструке спреге када се у току додирног периода зубаца смењују двострука и трострука спрега зубаца. Такође су применом аналитичких метода формиран математички модели за сагледавање утицаја расподеле оптерећења и облика профила зубаца на напонско стање у корену зупца и модели за разматрање енергетске ефикасности зупчастих парова у условима вишеструке спреге зубаца. Нумеричком методом коначних елемената тестирани су формиран аналитичких модели за анализу утицаја расподеле оптерећења и облика профила зубаца на напонско стање у корену зупца.

3.4. Применљивост остварених резултата

Главни циљ дисертације је развој тачнијих аналитичких модела расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца у условима вишеструке спреге. Развијени модели омогућују успостављање компатибилности између тачности израде зубаца, њихове крутости и интензитета оптерећења које се преноси. На тај начин се још у фази пројектовања зупчастих преносника снаге, може утицати на карактер расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца. Развијеним моделима се може тачније сагледати утицај расподеле оптерећења на носивост зубаца са аспекта запреминског и површинског разарања, као и на енергетску ефикасност зупчастих парова. У домену даљих истраживања, одређивањем крутости истовремено спрегнутих парова у тачкама примопредаје оптерећења, експерименталним и/или нумеричким методама, може се повећати тачност развијеним моделима расподеле оптерећења. Такође, имплементацијом развијених модела расподеле оптерећења у конвекционалне поступке прорачуна ISO/DIN стандарда, повећао би се степен тачности прорачуна радне способности зубаца цилиндричних зупчастих парова.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат Предраг Добратић у оквиру рада на дисертацији показао да може успешно да решава научне проблеме у области расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца у условима вишеструке спреге, као и у областима чврстоће корена зупца и енергетске ефикасности цилиндричних зупчастих парова, примењујући аналитичке и нумеричке методе. Испољио је значајну склоност за тимски и научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на дисертацији кандидат Предраг Добратић је потврдио и проширио постојећа знања у домену расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца, као и у домену сагледавања утицаја расподеле оптерећења на носивост корена зубаца и енергетску ефикасност цилиндричних зупчастих парова.

Планирана и изведена истраживања у овој дисертацији довела су до резултата која представљају допринос развоју научне мисли, и то:

Разјашњавање феномена расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца у условима двоструке и троструке спреге и формирање егзактнијих модела за сагледавање

истовременог утицаја тачности израде, крутости зубаца и интензитета оптерећења на карактер расподеле оптерећења. На основу модела расподеле оптерећења су развијени тачнији модели за анализу радне способности цилиндричних зупчастих парова са аспекта носивости корена зубаца и енергетске ефикасности. Ови научни доприноси су потврђени публикавањем у раду [1] категорије **M22** (IF 1,541 за 2018. годину), у радовима [2,3,4] категорије **M33** и у раду [5] категорија **M52**.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања и доприноса инжењерској пракси

При анализи расподеле оптерећења код истовремено спрегнутих парова зубаца, за формирање тачнијих модела расподеле, поред разлике основног корака спрегнутих зубаца, крутости зубаца и интензитета оптерећења, потребно је узети у обзир и знак разлике основних корака. У до сада развијеним моделима расподеле оптерећења, знак разлике основних корака није разматран. Изведеним истраживањима је успостављена интеракција између расподеле оптерећења и знака разлике основних корака истовремено спрегнутих парова зубаца. Овим се, код високоодговорних зупчастих преносника снаге, могу формирати поузданији критеријуми за идентификацију тачке додира на профилима спрегнутих зубаца меродавне за прорачун носивости корена зупца са аспекта запреминске чврстоће. За мање одговорне зупчaste преноснике снаге и претходни прорачун, формиран су приближни модели за анализу напонског стања у корену зупца.

4.3. Верификација научних доприноса

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

- Рад у истакнутом међународном часопису (**M22**)
 1. **Predrag Dobratić**, Mileta Ristivojević, Božidar Rosić, Radivoje Mitrović, Dragan Trifković: Mathematical model of energy efficiency in internal spur gears; *Thermal Science*, <https://doi.org/10.2298/TSCI180118074D>, 2019.
- Саопштење са међународног скупа штампано у целини (**M33**)
 2. Mileta Ristivojević, Ivana Atanasovska, Daniela Ristić, **Predrag Dobratić**: Influence of the multiple stress concentration on load capacity of tooth root of the cylindrical gear pairs; *5th International Conference on Power Transmission – BAPT 2016*, Faculty of Mechanical Engineering „Ss. Cyril and Methodius“ University in Skopje and Balkan Association on Power Transmission, Ohrid, North Macedonia, 2016, pp. 71-78.
 3. Mileta Ristivojević, Aleksandar Dimić, **Predrag Dobratić**: The influence of the running-in process of the gear flanks on the load distribution in simultaneously meshed tooth pairs, *14th International Conference on Tribology – SERBIATRIB 2015*, Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade and Serbian Tribology Society, Belgrade, Serbia, 2015, pp. 329-335.
 4. **Predrag Dobratić**, Mileta Ristivojević, Božidar Rosić: An analysis of the efficiency of utilization of involute cylindrical gear pairs, *6th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2014*, Military Technical Institute, Belgrade, Serbia, 2014, pp. 322-328.
- Рад у часопису националног значаја (**M52**)
 5. **Predrag Dobratić**, Mileta Ristivojević: Uticaj parametara cilindričnih zupčastih parova na stepen sprezanja profila zubaca / Influence of the cylindrical gear pairs parameters to the transverse contact ratio; *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier* 62 (3), 2014, pp. 80-100.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом и анализом, Комисија је утврдила да ова докторска дисертација представља оригинално научно дело са значајним научним доприносима. Разјашњени су феномени расподеле оптерећења на истовремено спрегнуте парове зубаца при вишеструкој спрези и развијени су одговарајући математички модели за сагледавање истовременог утицаја расподеле оптерећења и геометрије зубаца на носивост и енергетску ефикасност цилиндричних зупчастих парова. Осим тога, развијени су и приближни модели погодни за примену у инжењерској пракси. Резултати истраживања су верификовани у радовима објављеним у SCI часопису и другим научним часописима и скуповима.

На основу тога, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом **„Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге“** кандидата **Предрага Добратића**, студента докторских студија, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Божићар Росић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Радивоје Митровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

др Зоран Стаменић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Славко Муждека, ванредни професор
Универзитет одбране у Београду, Војна академија

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 825/4
Датум: 04.07.2019. 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 41. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду, члана 64. Статута Машинског факултета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 04.07.2019. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ“** студента **ПРЕДРАГА ДОБРАТИЋА**, дипл. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-3267/2-18, од 27.08.2018. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Рад у истакнутом међународном часопису (**M22**)

1. **Predrag Dobratić**, Mileta Ristivojević, Božidar Rosić, Radivoje Mitrović, Dragan Trifković: Mathematical model of energy efficiency in internal spur gears; *Thermal Science*, <https://doi.org/10.2298/TSCI180118074D>, 2019.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број:825/2
Датум: 09.05.2018. године
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу обавештења ментора др Милете Ристивојевића, ред. проф., да је студент **Предраг Добратић**, дипл. инж. маш., завршио докторску дисертацију **“Носивост и степен искоришћења цилиндричних зупчастих парова у условима вишеструке спреге”**, предлога Катедре за Опште машинске конструкције, а сагласно члану 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС”, број 88/2017) и члану 37. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 09.05.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

- др Божидар Росић, ред. проф.,
- др Радивоје Митровић, ред. проф.
- др Милосав Огњановић, професор емеритус
- др Зоран Стаменић, ванр. проф.
- др Славко Муждека, ванр. проф., Универзитет одбране у Београду, Војна академија

именују се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **«НОСИВОСТ И СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ЦИЛИНДРИЧНИХ ЗУПЧАСТИХ ПАРОВА У УСЛОВИМА ВИШЕСТРУКЕ СПРЕГЕ»** студента **Предрага Добратића**, дипл. инж. маш.

Одлуку доставити: члановима Комисије, студенту и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
проф. др Радивоје Митровић

