

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)

764/5

(Број захтева)

20.06.2015. 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:

ИВАНЕ (ВОЈИМИР) ВАСОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ИВАНА (ВОЈИМИР) ВАСОВИЋ** уписана на Докторске студије 2009. године.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

**УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА
ВАЗДУХОПЛОВА**Универзитет је дана 15.09.2014. год. својим актом под бр. 61206-3433/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:**УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА
ВАЗДУХОПЛОВА**Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ИВАНЕ (ВОЈИМИР) ВАСОВИЋ**
(име, име једног од родитеља и презиме)Образована је на седници одржаној 30.04.2015. године, одлуком факултета под бр. 764/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Слободан Ступар	Ред.проф	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. Др Александар Симоновић	Ванр.проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
3. Др Мирко Динуловић	Ванр.проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
4. Др Александар Грбовић	Доцент	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
5. Др Слободан Гвозденовић	Ред.проф.	Ваздухопловство	Саобраћајни факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 14.05.2015. године.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

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: 764/4
Датум: 14.05.2015. 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: проф. др Слободан Ступар, ментор, проф. др Александар Симоновић, проф. др Мирко Динуловић, доц. др Александар Грбовић и проф. др Слободан Гвозденовић, Саобраћајни факултет Београд, о оцени докторске дисертације „Утицај иницијалних оштећења на преостали век структуралних елемената ваздухоплова“ студента докторских студија Иване Васовић, дипл. инж. маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 14.05.2015. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** студента **ИВАНЕ ВАСОВИЋ**, 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 и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ПРЕДМЕТ: Извештај о завршеној докторској дисертацији **Иване Васовић**, дипл.маш.инж., студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 764/2 од 30.04.2015. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж., под насловом:

„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“

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 Ивана Васовић, дипл.маш.инж. је дописом бр. 958/1 од 06.05.2014. године, пријавила тему докторске дисертације на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио проф. др Слободана Ступара. На основу сагласности Катедре за ваздухопловство бр.958/2 од 17.06.2014, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, донело је 19.06.2014. године Одлуку бр.958/3 којом се прихвата тема докторске дисертације, за ментора именује проф. др Слободана Ступара и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме у саставу: проф. др Слободан Ступар (ментор), проф. др Александар Симоновић и др Стеван М Максимовић, научни саветник Војнотехнички институт у Београду.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 02.07.2014. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. 958/4 о испуњености услова за одобрење тезе. Комисија је поднела извештај у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** наводећи да кандидат испуњава законске услове за израду докторске дисертације, и да предложена тема као актуелна, атрактивна и значајна, може бити тема

докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа бр. 958/5 од 03.07.2014. год. прихваћена је тема докторске дисертације под називом: **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж., за ментора дисертације именован је проф. др Слободан Ступар.

У вези са захтевом докторанта Иване Васовић, дипл.маш.инж., да се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, на седници одржаној 15.09.2014. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је одлуку којом се одобрава рад на предложеној теми докторске дисертације. На основу добијене одлуке бр. 61206-3433/2-14, Наставно-научно веће Машинског факултета доноси Закључак бр. 1774/1 од 24.09.2014.године којим се одобрава рад на теми докторске дисертације **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“**, кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж., за ментора дисертације именован је проф. др Слободан Ступар.

О завршетку докторске дисертације кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж. под називом: **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** и предлогу комисије за оцену и одбрану, ментор проф. др Слободан Ступар обавестио је Катедру за ваздухопловство, а Катедра дописом бр. 764/1 од 27.04.2015. год. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: проф. др Слободан Ступар (ментор), проф. др Александар Симоновић, проф. др Мирко Динуловић, доц. др Александар Грбовић и др Стеван М Максимовић, научни саветник Војнотехнички институт у Београду.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 30.04.2015. године донело одлуку бр. 764/2 којом је усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.2 Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** припада области техничких наука, машинство, ужој научној области Ваздухопловство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Кандидат Ивана В. Васовић рођена је 02. септембра 1982. године у Чачку, Република Србија. Основну школу похађала је у Чачку. Средњу машинску школу, смер машински техничар за компјутерско конструисање, завршила је у Чачку. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је школске 2001/2002. године. На истом Факултету дипломирала је у јуну 2008. године на смеру за Ваздухопловство и одбранила дипломски рад „Анализа чврстоће структуре крилца авиона“. Школске 2009/10. године уписала је докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Од децембра 2008. године запослена је у институту Гоша у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж., под насловом **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** је документ формата А4, штампан једнострано, са текстом на српском језику и изложена је на 130 нумерисаних страна. У оквиру дисертације материја је приказана у укупно девет глава, док је списак коришћене литературе дат као десета глава. Дисертација садржи следеће главе:

1. Уводна разматрања
2. Преглед литературе
3. Принципи пројектовања елемената ваздухопловних конструкција са аспекта допустиви оштећења
4. Методе процене преосталог века елемената конструкција у присуству иницијалних оштећења
5. Формулација параметара механике лома код површинске прскотине и процене преосталог века
6. Процена века елемената конструкција са иницијалним оштећењима користећи метод густине енергије деформације
7. Експериментално одређивање малоциклусних заморних карактеристика материјала $\dot{\epsilon}$ 4732
8. Испитивање на замор структуралног елемента са иницијалним оштећењем у виду прскотине и нумеричка симулација ширења прскотине
9. Закључак
10. Литература

Текст дисертације је илустрован са укупно 52 слике, садржи 21 табелу и 141 једначину. У попису коришћене литературе кандидат је навео 57 референци.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У *Поглављу 1* дат је кратак осврт на проблеме анализе чврстоће структура под дејством цикличних оптерећења. Указано је на два основна домена процене века и то; (I) до појаве иницијалног оштећења и (II) у присуству иницијалног оштећења. Овај последњи је уједно и предмет овог рада.

У поглављу 2 је дат преглед литературе која је коришћена у овом докторату. Разматрана су истраживања која су вођена претходних година у свету а из ове области. У оквиру поглавља „Преглед литературе“ набројани су најзначајнији закључци и препоруке изведене по питању процене века структуралних елемената ваздухоплова са већ постојећим иницијалним оштећењем и за ширење прскотине. Кандидат је кроз коришћењу литературу истакао важност нумеричких и експерименталних метода у погледу анализе чврстоће са аспекта чврстоће на замор. Такође су приказане савремене прорачунске методе које се користе за процену века елемената конструкција до појаве иницијалних оштећења под дејством цикличних оптерећења константне амплитуде и спектра оптерећења. Дат је и преглед прорачунских модела најчешће коришћених за процене века елемената конструкција са иницијалним оштећењима, анализиране су њихове могућности, предности и ограничења као и упоређења са расположивим експерименталним резултатима.

У поглављу 3 дати су основни принципи и критеријуми пројектовања (прорачуна чврстоће) структура ваздухоплова користећи методе: “safe life“, “fail safe“ као и “damage tolerance“ методе. Овде су укључене одређене норме и препоруке, за дефинисање величина и облика иницијалних оштећења у критичним позицијама структуралних елемената код авионских конструкција када се ради о структурама са допустивим оштећењима (“damage tolerance“ тип структуре). Дефинисани су “статички“ и “динамички“ резервни фактори чврстоће структуре са аспекта допустивих оштећења. Овде су дефинисани аналитички изрази за напонско стање око врха прскотине изражених преко фактора интензитета напона (ФИН). Приказане су зависности напонског стања, померања у зависности од фактора интензитета напона. Доведен је у везу ФИН са фактором концентрације напона (ФКН), k_t , као његовој граничној вредности. Због систематичности дефинисана је и величина зоне пластификације око врха оштећења.

Поглавље 4 разматра конвенционалне методе процене преосталог века елемената конструкција применљиве на елементе конструкција ваздухоплова. Под конвенционалним законима ширења прскотине се овде дефинишу различити закони који користе експериментално одређене динамичке карактеристике материјала потребне у законима ширења прскотине попут Париса, Формана, Валкера,... Конвенционални закони ширења прскотине, односно за процене века користе изразе за ФИН у спрези са динамичким карактеристикама понашања материјала. Суштински сви конвенционални закони ширења прскотине, односно процена преосталог века, базира на коришћењу динамичких карактеристика материјала који се морају експериментално одредити. То са своје стране подразумева да се за процену века до појаве иницијалних оштећења користе малоциклусне заморне карактеристике материјала а за процену преосталог века динамичке карактеристике материјала.

Овде су укључени различити закони ширења прскотина за циклична оптерећења константне амплитуде, као и при спектру оптерећења. Значајан део конструкција у експлоатацији је изложен променљивим нивоима оптерећења. Код неких конструкција, попут

авионских, ова промена оптерећења је веома честа, те се сматра да су исте изложене општем спектру оптерећења. Међутим, постоји значајан удео конструкција или, једноставније, структуралних елемената чија се промена амплитуда оптерећења не јавља тако често, већ су исти изложени једном нивоу оптерећења са константном амплитудом цикличног оптерећења, па потом другим нивоом цикличног оптерећења и тако редом.

Оваква оптерећења спадају у спектар оптерећења са константним амплитудама цикличних оптерећења на појединим нивоима. Међутим, чак и код “благих” спектара оптерећења, односно при преласку са једног на други ниво оптерећења уочене су појаве пластификације око врха прскотине, а самим тим и до појаве успорења ширења прскотине. Вредно је поменути да су најкритичнији елементи са аспекта појаве лома структуре крила доминантно оптерећене на истезање. То се пре свега односи на доњаку оплоте крила са свим њеним геометријским дисконтинуитетима. Да би се обухватили утицаји промене нивоа оптерећења у спектру на успорење ширења прскотине укључени су одговарајући нумерички модели за укључивање ових ефеката. Ови ефекти се односе на промене нивоа оптерећења у оквиру спектра, док утицај појединачних “пикова” није анализиран.

У *поглављу 5* приказан је аналитички метод одређивања фактора интензитета напона (ФИН) код структуралних елемената типа плоче/љуске са иницијалном површинском прскотином. Аналитички одређени ФИН код структуралних елемената типа плоче/љуске са површинском прскотином су упоређени са резултатима користећи Метод Коначних Елемената (МКЕ). За одређивање ФИН на бази МКЕ коришћен је софтверски пакет МСЦ/НАСТРАН.

Поглавље 6 презентује Метод Густине Енергије Деформације (ГЕД) за анализу ширења прскотине и саму процену преосталог века елемената конструкције. Суштина методе ГЕД је та што се за анализу ширења прскотине, односно за процену преосталог века, користе малоциклусне заморне карактеристике материјала управо исте оне карактеристике које се користе и за процену века до појаве иницијалних општећења.

У *поглављу 7* су приказани комплетни експериментални резултати одређивања малоциклусних заморних карактеристика материјала. Експериментално су одређене малоциклусне заморне карактеристике материјала за челик $\check{C}4732$. Ове експериментално одређене малоциклусне заморне карактеристике су у раду коришћене у анализи ширења прскотине односно за процену преосталог века.

Испитивање на замор структуралног елемента типа плоче/љуске са централним кружним отвором и једном иницијалном прскотином у зони концентрације напона, дат је у *Поглављу 8*. Разматрани структурални елемент је израђен од материјала $\check{C}4732$. Испитивања су вршена на сервохидрауличном систему МТС са цикличним оптерећењима константне амплитуде. Анализа ширења прскотине је вршена коришћењем мерних фолија. Комплетан циклус регистрације ширења прскотине под дејством цикличног оптерећења, исказан преко зависности $a-N$ (зависност дужине прскотине a , од броја циклуса N) је праћен преко посебног уређаја FRACTOMAT.

У *Поглављу 9* дати су нумерички примери и поређења са експерименталним резултатима који илуструју поступке и процедуре изложене у раду који се односе на процене века структурних елемената и конструкција у присуству иницијалних оштећења. У овим нумеричким анализама укључени су и практични примери оплата са допустивим оштећењима, као и проблеми отвора са допустивим оштећењима у пољу оплата, односно у зонама закованих спојева. ФИН за ове специфичне случајеве прскотина у оплатама одређивани су применом аналитичких метода и МКЕ и за исте су вршена поређења. За ове и сличне проблеме који су карактеристични за оплату крила вршена је и процена века на бази анализе ширења прскотине. Нумеричке симулације ширења прскотина у пољу оплата вршене су за циклична оптерећења константне амплитуде и за спектре оптерећења.

Посебна пажња у раду била је усмерена на нумеричку анализу и симулацију понашања структуралних елемена у присуству иницијалних оштећења у виду прскотина. За одређивање ФИН коришћени су аналитички изрази као и МКЕ на бази коришћења специјалних сингуларних елемената. МКЕ је коришћен у анализи напонских стања а све у циљу одређивања критичних зона или верификовања најбитнијих параметара, попут ФИН, при процени преосталог века. Извршене су процене преосталог века репрезентативних структуралних елемената летелица са иницијалном прскотином, под дејством цикличних оптерећења константне амплитуде.

Закључне напомене са истакнутим битним резултатима истраживања из овог рада дате су у *Поглављу 10*.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Докторска дисертација **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** кандидата Иване Васовић, дипл. маш. инж. представља савремен и оригиналан приступ и допринос савременим методама процене преосталог века елемената конструкције ваздухоплова са претпостављеним иницијалним оштећењима у критичним зонама под дејством цикличних оптерећења и спектра оптерећења. Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру дисертације потврђују радови који су публиковани и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима. Дисертација се може оценити веома успешном, узевши у обзир да су дискусију и добијене резултате у тези пратили зрели научни и инжењерски закључци.

У дисертацији је коришћен савремени приступ нумеричког моделовања и понашања елемената конструкција ваздухоплова са претпостављеним иницијалним оштећењима применом специјалних сингуларних коначних елемената у критичним зонама. Свакако критичне зоне ваздухоплова, са аспекта механике лома, у којима се по правилу током експлоатације јављају иницијална оштећења у виду прскотина су зоне геометријских дисконтинуитета односно места где су концентрације напона.

Кандидат је на оригиналан начин извршио синтезу свих предложених метода и развио комплетан систем са анализу чврстоће структуралних елемената, са претпостављеним иницијалним оштећењима/прскотинама, са аспекта механике лома односно процене преосталог века.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је цитирано укупно 57 публикација. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у области истраживања на коју се дисертација односи. На тај начин кандидат је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора и приказ постојећег стања у областима којој припадају проблеми решени у докторској дисертацији. При томе, коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе која осим прегледа постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада у подручју анализе чврстоће елемената структуре ваздухоплова са аспекта замора и механике лома и процене њиховог преосталог века у присуству иницијалних оштећења.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене методе у овој дисертацији одговарају методологији истраживања из области анализе чврстоће елемената конструкције ваздухоплова са аспекта замора и механике лома као и процене њиховог преосталог века односно до ефективног лома су базиране на адекватним научним методама. Структурални елементи ваздухоплова са иницијалним оштећењима у виду прскотина, разматрани у оквиру дисертације, математички су моделовани на бази коришћења конвенционалних закона ширења прскотина као и применом методе густине енергије деформације (ГЕД) за одређивање броја циклуса односно броја блокова при оптерећењима у виду спектра оптерећења. Као критеријуми за појаву ефективног лома код структуралних елемената са претпостављеним иницијалним оштећењима/прскотинама у критичним зонама, које су по правилу зоне концентрације напона, коришћен је када Фактор Интензитета Напона (ФИН) достигне критичну вредност која је једнака ломној жилавости материјала. Ове релације за анализе ширења прскотине базирају на коришћењу експериментално одређених заморних карактеристика материјала с једне и прецизно одређених фактора интензитета напона с друге стране. Заморне карактеристике материјала за челик С 4732, који је коришћен за израду разматраних структуралних елемената типа плоче са отвором и иницијалном прскотином у зони концентрације напона, су у овом истраживању експериментално одређене. За нумеричко моделовање ширења прскотине и процене преосталог века структуралних елемената са претпостављеним оштећењима у виду прскотина како за циклична оптерећења константне амплитуде тако и за спектар оптерећења у дисертацији је развијен „in-house“ софтверски пакет.

3.4 Применљивост остварених резултата

Истраживања спроведена током израде дисертације представљају добру основу за даљи рад како при пројектовању структуре нових ваздухоплова с једне тако и при процени преосталог века структуре ваздухоплова у експлоатацији. Да би се смањили ризици од непредвидивих ломова услед замора током експлоатације при пројектовању нових конструкција ваздухоплова користи се метод допустивих оштећења („Damage Tolerance Approach“). Такође, треба истаћи да се током експлоатације, на виталним носећим елементима конструкције ваздухоплова, јављају оштећења у виду прскотина и за која је потребно проценити да ли ће се прскотина проширити до њене критичне вредности за период када се предвиђа општа оправка.

Стога нумеричко моделовање процене преосталог века на бази моделовања ширења прскотине и развијени софтвер у оквиру дисертације, у спрези са ИБР методама испитивања, су одлична основа како при пројектовању нових тако и за процене преосталог века структуре ваздухоплова у експлоатацији између две опште оправке.

Значи комбиновањем сингуларних коначних елемената за прецизно одређивање параметара механике лома, у овом случају Фактора Интензитета Напона (ФИН), у спрези са експериментално одређеним малоциклусним заморним карактеристикама материјала извршена је процена преосталог века плоче са отвором и иницијалном прскотином у зони концентрације напона (репрезент поља опште структуре ваздухоплова) под дејством цикличних оптерећења. Добијена су добра сагања између прорачунске процене преосталог века, исказано преко зависности $a-N$ (раст дужине прскотине, a , у зависности од броја циклуса, N) применом нумеричког моделовања и софтвера који је развијен у дисертацији са експерименталним резултатима. Ово, са своје стране, потврђује применљивост презентованог приступа и развијеног софтвера за процену преосталог века елемената конструкција ваздухоплова у присуству иницијалних оштећења различитих облика укључивши и површинске прскотине под дејством цикличних оптерећења константне амплитуде и спектра оптерећења.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама. Показао је да поседује широко стручно и теоријско знање потребно за даљи научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни допринос докторске дисертације **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** је вишеструк и огледа се у следећем:

- Успостављање нових аналитичких израза за Факторе Интензитета Напона (ФИН) за репрезентативне структуралне елементе летелица са иницијалним оштећењима у виду прскотина применом специјалних сингуларних коначних елемената.

- Коришћењем нових аналитичких израза за ФИН, изведених у овом раду на бази коришћења специјалних сингуларних коначних елемената, обезбеђује се нумеричка симулација ширења прскотине и процене преосталог века код структуралних елемената са општим облицима оштећења типа прскотина.

- Процена преосталог века применом методе ГЕД, за структуралне елементе типа плоче са отвором и једном иницијалном прскотином у зони концентрације напона, за циклична оптерећења константне амплитуде је упоређена са сопственим експерименталним резултатима.

- Да обезбеди прецизнију прорачунску процену преосталог века структуралних елемената са иницијалним оштећењима у виду прскотина. Ова процена преосталог века је применљива код елемената конструкција за циклична оптерећења константне амплитуде и степенастог спектра оптерећења. Очекује се да ће презентовани метод нумеричке процене преосталог века постати генералнији.

- Кроз поређења резултата нумеричке симулације за анализе ширења прскотина и процена преосталог века као и поређења са резултатима испитивања структуралних елемената на замор при степенастом спектру оптерећења би се успоставила поуздана прорачунска процедура за процену преосталог века елемената ваздухопловних конструкција.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа литературе и сагледавања постојећих решења из научне области дисертације везано за процену преосталог века елемената конструкције ваздухоплова, констатујемо да су решења добијена у тези оригинална и значајна, те да су применљива у пракси. Такође, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у дисертацији можемо закључити да су пружени одговори на сва битна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3 Верификација научних доприноса

Рад у међународном часопису – M21= 8

1. S. Maksimovic, M. Kozic, S. Stetic-Kozic, K. Maksimovic, **I. Vasovic**, M. Maksimovic, Determination of Load Distributions on Main Helicopter Rotor Blades and Strength Analysis of the Structural Components, *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 27, Number 6, November/December 2014,

Рад у међународном часопису – M22= 5

1. Marija Blažić, Stevan Maksimović, Zlatko Petrović, **Ivana Vasović**, Dragana Turnić; Determination of Fatigue Crack Growth Trajectory and Residual Life under Mixed Modes;

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 60(2014)4, 250-254;
DOI:10.5545/sv-jme.2013.1354

2. **Ivana Vasović**, Stevan Maksimović, Katarina Maksimović, Slobodan Stupar, Gordana Bakić, and Mirko Maksimović; DETERMINATION OF STRESS INTENSITY FACTORS IN LOW PRESSURE TURBINE ROTOR DISCS; Mathematical Problems in Engineering; <http://www.hindawi.com/journals/mpe/aip/304638/>; Impact Factor 1.383; doi:10.1155/2014/304638. Accepted 16 January 2014.
3. Ivana V. VASOVIC, Stevan M. MAKSIMOVIC, Dragi P. STAMENKOVIC, Slobodan N. STUPAR, Mirko S. MAKSIMOVIC, Gordana M. BAKIC; FRACTURE MECHANICS ANALYSIS OF DAMAGED TURBINE ROTOR DISCS USING FINITE ELEMENT METHOD; Thermal Science, vol 18, Supl.1, pp. S107-S112, 2014. DOI: 10.2298/TSCI121107176V, link: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2014/0354-98361300176V.pdf> TR35045

Рад у међународном часопису – M23= 3

1. **Ивана Васовић**; „STRENGTH ANALYSIS OF FILAMENTWOUND COMPOSITE TUBES“; Хемијска индустрија, 2010, Вол.64, № 1; UDC 666.188.211:620.1, DOI: 10.2298/HEMIND091221032V; pp 239-245
2. Stamenkovic D, Maksimović Katarina, Nikolić-Stanojević V., Maksimović S., Stupar S., **Vasović I.**; „Fatigue life estimation of notched structural components“, Strojnicki vestnik- Journal of Mechanical Engineering 56(2010)12; UDC 629.7:620.178.3; pp 846-852.
3. Stašević M., Maksimović S, Gerić K., Burzić Z., Vasović I.; FATIGUE CRACK PROPAGATION MODELS: NUMERICAL AND EXPERIMENTAL COMPARISONS; Journal- Technics Technologies Education Management(TTEM); ISSN 1840-1503; vol.7, No.2, 2012; pp 801-810.
4. Ivana V. Vasovic, Stevan M. Maksimovic, Dragi P. Stamenkovic, Slobodan N.Stupar, Mirko S. Maksimovic, Gordana M. Bakic; FRACTURE MECHANICS ANALYSIS OF DAMAGED TURBINE ROTOR DISCS USING FINITE ELEMENT METHOD; Journal - THERMAL SCIENCE: Year 2013, Vol. 17, Suppl. 1, pp. S107 - S112; ISSN 2334-7163 (online edition); UDC 621; Izdavac -Society of Thermal Engineers of Serbia
5. Marko Ristic, Ljiljana Radovanovic, Radica Prokic-Cvetkovic, Goran Otic, Jasmina Perisic, **Ivana Vasovic**, Increasing the energy efficiency of thermal power plant Kostolac B by the revitalization of ventilation mills, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, ISSN 1556-7257, DOI: 10.1080/15567249.2015.1014977

Радови категорије - M24 (=3)

1. Maksimovic S., Maksimovic K., **Vasovic I.**, Optimal Design of Thin-walled Aircraft Structures Using Two-level Optimization Approach, SCIENTIFIC REVIEW, Series: Scientific and Engineering- Special Issue Nonlinear Dynamics S2 (2013) pp 359-372, (YUISSN 0350-2910).

2. METHODOLOGY FOR RESIDUAL LIFE ESTIMATION OF DAMAGED STRUCTURAL ELEMENTS OF THE TOWER INSTALLATIONS FOR OIL AND GAS EXPLORATION; Milenko S. Stašević, Stevan Maksimovic, Katarina D. Geric, Mirko S. Maksimovic, **Ivana Vasovic**; This paper was presented at the Fourteenth Meeting “New Trends in Fatigue and Fracture” (NT2F14) Belgrade, Serbia, 15–18 September, 2014; STRUCTURAL INTEGRITY AND LIFE Vol. 14, No 2 (2014), pp. 125–132, <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk14/125-132-IVK2-2014-MS-SM-KG-MM-IV.pdf>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини – M33 = 1

1. Maksimović S., **Vasović I.**, Maksimović M., Đurić M.; RESIDUAL LIFE ESTIMATION OF DAMAGED STRUCTURAL COMPONENTS USING LOW-CYCLE FATIGUE PROPERTIES; Third Serbian (28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics Vlasina lake, Serbia, 5-8 July 2011; Serbian Society of Mechanics, Belgrade; ISBN: 978-86-909973-3-6; COBISS:SR-ID 187662860; 2011; pp 605 – 617
2. Maksimović S., **Vasović I.**, Burzić M, Đurić M.; DETERMINATION OF FRACTURE MECHANICS PARAMETERS AND RESIDUAL LIFE OF CRACKED STRUCTURAL COMPONENTS; 8th International Scientific Conference on Production Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF PRODUCTION - RIM Conference, University in Bihac 2011, ISSN:9958-624-16-8 pp121-126.
3. S. Maksimović, **I. Vasovic**, M. Maksimovic, M. Djuric; COMPUTATION METHODS AND SOFTWARE IN FATIGUE LIFE ESTIMATIONS OF STRUCTURAL COMPONENTS UNDER GENERAL LOAD SPECTRUM; ICDM - First International Conference on Damage Mechanics , Belgrade, Serbia; June 25- 27 2012. Pp 213- 216.
4. Stevan Maksimović, **Ivana Vasović**, Mirko Maksimović, Mirjana Đurić; IMPROVED COMPUTATION METHOD TO FATIGUE AND FRACTURE MECHANICS ANALYSIS OF AIRCRAFT STRUCTURES, , Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June 2013, pp 335-340.

Рад у врхунском часопису националног значаја M51=2

1. Stevan Maksimović, **Ivana Vasović**, Mirko Maksimović, Mirjana Đurić; Some Aspects of the Damage Tolerance Analysis of the LASTA Training Aircraft Structures; Scientific Technical Review, 2013, Vol.63, No.2. pp 70-74, ISSN 1820 0206., UDK:623.466.3:621.7:620.192.30.3, COSATI: 11-13, 20-12, 01-03, Izdavač: VOJNOTEHNIČKI INSTITUT, BEOGRAD, Srbija.

Техничка решења M85=2

1. Катарина Максимовић, Миодраг Јанковић, Стеван Максимовић, Владимир Зељковић, Драган Милосављевић, **Ивана Васовић**; „Процена преосталог века конструкција

применом густине енергије деформације“;

http://www.mfkg.kg.ac.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-55.pdf

2. Катарина Максимовић, Миодраг Јанковић, Стеван Максимовић, Владимир Зељковић, Драган Милосављевић, **Ивана Васовић**; „П2_ГЕД СОФТВЕР ЗА ПРОЦЕНУ ПРЕОСТАЛОГ ВЕКА КОНСТРУКЦИЈА КОРИСТЕЦИ МЕТОД ГУСТИНЕ ЕНЕРГИЈЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ“;
http://www.mfkg.kg.ac.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-56.pdf

Радови који су у процедури објављивања:

1. Stress and failure analysis of mechanically fastened joints in composite laminates, I. Ilić, S. Maksimović, Z. Petrović, K. Maksimović, I. Vasović, Vlada Djurković; Materials and design journal (poslat pre X meseci nije jos prihvacen) 2014.
2. FATIGUE STRENGTH ANALYSES OF HELICOPTER TAIL ROTOR BLADES; S.Maksimovic, M.Kozic, D. Georgijevic, K. Maksimović, I. Vasović, M. Maksimovic; Aerospace Science and Technology Journal; Elsevier Editorial System (poslat pre oko X meseci nije jos prihvacen niti je stigao bilo kakav odgovor) 2014.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом **„УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА“** кандидата Иване Васовић, дипл.маш.инж., Комисија за оцену и одбрану констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, констатује се да је кандидат Ивана Васовић, дипл.маш.инж., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је дошао до оригиналних резултата у погледу анализе чврстоће на замор елемената конструкција ваздухоплова са различитим геометријским дисконтинитетима и претпостављеним иницијалним оштећењима у виду прскотина различитих облика и нумеричког моделовања процене преосталог века који су верификовани и кроз сопствена експериментална истраживања, што им обезбеђује велику применљивост у овој важној области како за инжењерску праксу тако и за научна истраживања.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства, ужа научна област Ваздухопловство, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског

факултета Универзитета у Београду да кандидату Ивани Васовић, дипл. маш. инж. одобри одбрану докторске дисертације под називом „**УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА**“ када се за то стекну законски услови, пред комисијом у истом саставу.

У Београду, 11.05.2015. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Слободан Ступар, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Александар Симоновић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Мирко Динуловић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Доц. др Александар Грбовић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Слободан Гвозденовић,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:764/5
Датум: 14.05.2015. године
Београд, Краљице Марије бр. 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, Наставно-научно веће на седници одржаној 14.05.2015. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**УТИЦАЈ ИНИЦИЈАЛНИХ ОШТЕЋЕЊА НА ПРЕОСТАЛИ ВЕК СТРУКТУРАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ВАЗДУХОПЛОВА**“ студента **ИВАНЕ ВАСОВИЋ**, дипл. инж. маш..

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

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 61206-3433/2-14, од 15.09.2014. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. **Ivana Vasović**, Stevan Maksimović, Katarina Maksimović, Slobodan Stupar, Gordana Bakić, and Mirko Maksimović; DETERMINATION OF STRESS INTENSITY FACTORS IN LOW PRESSURE TURBINE ROTOR DISCS; Mathematical Problems in Engineering; <http://www.hindawi.com/journals/mpe/aip/304638/>; Impact Factor 1.383; doi:10.1155/2014/304638. Accepted 16 January 2014.
2. **Ivana V. VASOVIC**, Stevan M. MAKSIMOVIC, Dragi P. STAMENKOVIC, Slobodan N. STUPAR, Mirko S. MAKSIMOVIC, Gordana M. BAKIC; FRACTURE MECHANICS ANALYSIS OF DAMAGED TURBINE ROTOR DISCS USING FINITE ELEMENT METHOD; Thermal Science, vol 18, Supl.1, pp. S107-S112, 2014.DOI: 10.2298/TSCI121107176V, link: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2014/0354-98361300176V.pdf> TR35045
3. S. Maksimovic, M. Kozic, S. Stetic-Kozic, K. Maksimovic, **I. Vasovic**, M. Maksimovic, Determination of Load Distributions on Main Helicopter Rotor Blades and Strength Analysis of the Structural Components, Journal of Aerospace Engineering, Vol. 27, Number 6, November/December 2014,

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за ваздухопловство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Милорад Милованчевић