

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)

921/5

(Број захтева)

07.12.2013.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:

ДРАГОЉУБА (ЖИВОРАД) БЕКРИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ДРАГОЉУБ (ЖИВОРАД) БЕКРИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

**КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА
ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ**

Универзитет је дана 15.04.2013. год. својим актом под бр. 61206-1747/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА
ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ДРАГОЉУБА (ЖИВОРАД) БЕКРИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 11.07.2013. године, одлуком факултета под бр. 921/3, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Часлав Митровић</u>	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Слободан Ступар</u>	Ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
3. <u>Др Небојша Петровић</u>	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
4. <u>Др Александар Бенгин</u>	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
5. <u>Др Ђуро Коруга</u>	Ред. проф. у пензији	Биомедицинско инжењерство Нанотехнологија и фрактална механика	Машински факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 31.10.2013. 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: 921/5
Датум: 31.10.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф. др Часлав Митровић, ментор, проф.др Слободан Ступар, проф.др Небојша Петровић, проф.др Александар Бенгин и др Ђуро Коруга, ред.проф. М.Ф. у пензији о оцени докторске дисертације „Карактеризација оштећења унутрашње структуре композитних лопатица ветроенергетских система на нано нивоу“ докторанта мр Драгољуба Бекрића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 31.10.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“** докторанта **МР ДРАГОЉУБА БЕКРИЋА**, дипл.инж.маш.

Извештај о оцени и одбрани докторске дисертације, по истеку рока од 30 дана увида јавности, доставља се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
мр Драгољуба Бекрића, дипл.инж.маш.

Одлуком 921/3 бр. од 11.07.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр **Драгољуба Бекрића**, дипл. инж. маш. под називом **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“**, о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Наслов и обим докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата мр **Драгољуба Бекрића**, дипл. инж. маш., под називом **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“** изложена је на 142 стране, садржи и два прилога и списак коришћене литературе на 3 стране.

1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат мр Драгољуб Бекрић, дипл. инж. маш., пријавио је израду докторске дисертације 14.11.2012. год., под бројем 2133/1 Катедри за ваздухопловство Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Часлава Митровића, ванредног професора. Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 15.03.2013. год. поднела извештај који је заведен под ред. 588/1 Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду. На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком ННВ бр. 588/2 од 21.03.2013. год., прихваћен је предлог Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме у саставу: ментор, проф. др Часлав Митровић, проф. др Слободан Ступар, проф. др Небојша Петровић, проф. др Александар Бенгин и проф. др Ђуро Коруга, ред. проф. МФ у пензији.

Комисија је поднела извештај у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“** наводећи да кандидат испуњава све законске услове за израду докторске дисертације, и да предложена тема као актуелна, атрактивна и значајна, може бити тема докторске дисертације. У вези са захтевом мр Драгољуб Бекрића, дипл. инж. маш. да се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета 15.04.2013. год. о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност којом се одобрава рад на теми докторске дисертације **„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ**

КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“, под менторством др Часлава Митровића, ванредног професора, (одлука бр. 61206-17447/2-13). На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, декан Машинског факултета у Београду је 16.04.2013. год. донео закључак бр. 921/1 од 25.04.2013.год. да се одобри рад на теми докторске дисертације „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ кандидату мр Драгољубу Бекрићу, дипл. инж. маш.

О завршетку докторске дисертације „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“, ментор др Часлав Митровић, ван. проф. обавестио је Катедру за ваздухопловство, као и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, дописом број 921/2 од 08.07.2013. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: ментор, др Часлав Митровић, ван. проф., др Слободан Ступар, ред. проф., др Небојша Петровић, ван. проф., др Александар Бенгин, ван. проф. и др Ђуро Коруга, ред. проф. МФ у пензији.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 11.07.2013. године једногласно усвојило обавештење о завршетку дисертације кандидата мр Драгољуба Бекрића под називом „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ и усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 921/3 од 11.07.2013. године).

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ припада области техничких наука, односно машинству и ужој научној области Ваздухопловство.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Име и презиме: **Драгољуб Бекрић**

Датум и место рођења: **09.11.1960. год., Александровац, Србија**

Држављанство: **Републике Србије**

Адреса: **Лукијана Мушицког бр. 9, Београд**

Телефон: **062/295-375**

Е-mail: **dbekric@mas.bg.ac.rs**

Кандидат, мр Драгољуб Бекрић, дипл. инж. маш. завршио је основну школу и математичку гимназију у Александровцу. Дипломирао је 17.06.1992. године на Машинском факултету у Београду на Катедри за Ваздухопловство на Машинском факултету у Београду на тему: “Примена методе граничних елемената у ваздухопловству”. Постдипломске студије уписао је школске 1993/1994. на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за ваздухопловство, где 25.06.2001. године стиче звање магистра техничких наука одбраном магистарског рада под насловом „Компјутерска анализа аеродинамичких конфигурација применом методе панела“, ментор проф. др Томислав Драговић. У периоду од 01.10.1992. до 30.09.2002. године, као сарадник на Катедри за Ваздухопловство на

Машинском факултету. У том периоду држи вежбе из предмета Пројектовање конструкције летелица. У наведеном периоду кандидат је држао вежбе и из предмета Механика 1 (Статика) и Механика 2 (Кинематика) на Машинском факултету на катедри за Механику, а држао је и вежбе из предмета Аеродинамика и Механика лета у Ваздухопловно Техничкој Војној Академији у Жаркову. У периоду од 01.10.2002. до 09.11.2005. године, као самостални стручни сарадник на Катедри за Ваздухопловство на Машинском факултету. Такође, кандидат је био биран више пута у звање предавача у Вишој техничкој машинској школи у Земуну и то за предмете Конструкција ваздухоплова и Ваздухопловни прописи и правила летења. У периоду од 2005. до данас запослен је на месту Шефа Службе за студентска питања Машинског факултета у Београду.

2. Опис дисертације

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Драгољуба Бекрића, дипл. инж. маш., под насловом „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ изложена је на 142 стране, садржи и два прилога и списак коришћене литературе на 3 стране. Дисертација садржи следећих дванаест поглавља:

- Увод
- Основни појмови
- Тензори еластичности и флексибилности
- Микромеханика композитних материјала
- Макромеханика композитних материјала
- Наномеханика композитних материјала
- Механика лома композитних материјала
- Експериментално одређивање карактеристика епрувета од композитних материјала
- Анализа резултата експерименталног испитивања епрувета композитних материјала
- Експериментално испитивање лопатица ветроенергетских система израђених од композитних материјала
- Карактеризација оштећења унутрашње структуре лопатица ветроенергетских постројења израђених од композитних материјала применом АФМ и МФМ микроскопије
- Закључак

Дисертација садржи 129 слика и 35 табела

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ састоји се из једанаест поглавља.

Прво поглавље представља увод у коме је дат историјски осврт на настанак и технологију израде композитних материјала. Дате су основне компоненте и развој и усавршавања технологије израде композитних материјала

У другом поглављу су дефинисани основни конституенти који сачињавају композитне материјале. Прво су описана влакна и њихова улога у композитном материјалу, подела, механичке особине и основне физичке особине. Посебно су разматрана стаклена

(силицијумска) влакна, јер се та врста композитних материјала користи за израду лопатица ветроенергетског постројења на коме је рађена анализа. Касније су описане и матрице, њихове основне карактеристике особине и врсте. И у овом разматрању посебна пажња је обрађена на епоксидне смоле, јер су оне други конституент композитног материјала који сачињава лопатицу.

Треће поглавље сачињавају елементи теорије еластичности и флексибилности. Дате су фундаменталне једначине веза између напона и деформација, прво у тензорском облику, а касније и у т.к. инжењерском облику, најпогоднијем за анализу. Приказани су примери ортотропног материјала којим се представља композитни слој као основни слој за даљњи прорачун. Детаљно се разматра трансверзално изотропно влакно, као влакно које чини базну основу за комплекснију анализу целе структуре. Разматра се промена еластичних константи композитног материјала са променом оријентације влакана како би могли да се анализирају општи случајеви оптерећења.

Четврто поглавље је посвећено микромеханици композитних материјала, где су анализиране савремене и најчешће примењиване методе. За сваку од метода тумачени су добијени изрази и могућности примене и недостатци.

Пето поглавље детаљно описује макромеханику композитних материјала, везу између инжењерских константи и матрице еластичности, као и симетрију тензора еластичности и флексибилности. Дата је пригодна анализа ламината неопходна за практичну примену дефинисања сила и момената. Из конститутивне једначине вишеслојног композита изведени су критеријуми губтка стабилности композита. Анализирано је укупно пет критеријума са изведеним решењима за напоне и силе.

Наномеханика композитних материјала сачињава **шесто поглавље** дисертације. У овом поглављу дат је историјски развој ове младе и савремене научне гране. Анализиране су могућности њене примене при анализи структуре композитних лопатица и суштински карактер процене површина лома лопатице. Разматрани су случајеви примене спектроскопских метода које су комплементарне и компатибилне методама СТМ/АФМ/МФМ. Дати су и неки значајни примери примене наномеханике композитних материјала.

Седмо поглавље описује механику лома композитних материјала применом метода механике лома која се заснива на савременој методи фрактала. Пошто сама појава иницијалних напрлина има врло произвољан карактер при формирању и појави, појавила се потреба да се један тако комплексан и сложен процес опише методом фрактала. Резултати дате анализе су упоређени са експерименталним резултатима добијеним у лабораторијским условима.

У **осмом поглављу** је извршено експериментално одређивање карактеристика епрувета израђених од композитних материјала. Приказана су механичка испитивања којима су одређене затезне особине композитних материјала израђених од комбинације стаклених влакана и епоксидне смоле. Епрувете су израђене од истог материјала и произведене истим технолошким поступком као и лопатица, тако да је неопходност вршења оваквог експеримента више него очигледна. Објашњен је и ручни поступак обликовања ламината. У дисертацији је прецизно дата структура композитног материјала на бази стакло-епокси, технолошки поступак израде и опис уређаја за испитивање на затезање.

Анализа резултата експерименталног испитивања епрувета израђених од композитних материјала презентована је у **деветом поглављу**. Израчунат је модул еластичности уз констатацију да је испитивање било успешно јер је код свих испитиваних епрувета до лома долазило на средини епрувете у мерном делу. Израчунате вредности приказане су одговарајућим дијаграмима и табелама. Констатовано је да због специфичности ткања и испреплетаности влакана сва влакна се не оптерећују исто. Резултат тога је различито

временско пуцање влакана, тј. нека влакна пуцају при мањим, а нека при већим оптерећењима. Добијене су нелинеарне зависности напон-деформација, које се појављују на 30-35% од вредности максималних напона. Констатовано је да се добијени резултати крећу у границама литературно познатих података за ову врсту испитивања и сличне структуре материјала. Посебан допринос се огледа у микромеханичкој анализи којом се дошло до драгоцених података о веку трајања и механизмима настанка лома испитиваног материјала приликом затезног оптерећења.

Експериментално испитивање лопатица ветроенергетских система израђених од композитних материјала сачињава **десето поглавље**. У овом поглављу је детаљно описан процес експерименталног испитивања лопатице израђене од композитног материјала, који је осмишљен, остварен и реализован у лабораторији Института за Аеротехнику Машинског факултета у Београду. Опрема се састоји од непокретног (статичног) и динамичног система који је повезан мерном и рачунарском техником већином испројектованом и направљеном само у сврху обављања експеримента. Лопатица је оптерећена континуалном силом која симулира реалано оптерећење све до границе лома целе лопатице. Цео ток експеримента је праћен коришћењем најсавременије доступне опреме. Резултати су дати у облику дијаграма и табела.

У **једанаестом поглављу** су помоћу АФМ/МФМ микроскопије (Atomic/Magnetic Force Microscopy) извршена испитивања делова лопатице ветроенергетских постројења, израђених од композитних материјала. Композитни материјал се састоји од микро-стаклених влакана ојачаних епоксидном смолом. АФМ микроскопија омогућава карактеризацију површине узорка, док МФМ даје униформност унутрашње структуре узорка у близини лома. Испитивана су два узорка од којих је један био неоптерећен, а други изложен оптерећењу до лома. На основу анализе добијених АФМ/МФМ слика показано је да узорак који није био оптерећен има мању храпавост површине, односно релативно равномерну расподелу градијента магнетног поља у материјалу. Узорак материјала који је више био оптерећен при лому лопатице има већу храпавост, што доводи до закључка да је услед оптерећења дошло до деформисања влакана (пластичне деформације), а у слојевима у унутрашњости материјала дошло је до настајања прскотина на нано нивоу (црне тачке-одсуство материјала), што касније под оптерећењем доводи до микро па макро прскотина. Овом методом (АФМ/МФМ) идентификовано је место нуклеације лома лопатице.

Теза се завршава **закључком** у коме су наведени главни резултати рада. Указано је и на могуће правце даљег истраживања, као и конкретне предлоге како учинити сврсисходним реализацију свега постигнутог.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ представља савремен и оригиналан приступ и допринос разматраној проблематици оштећења унутрашње структуре композитних лопатица ветроенергетских система. Кандидат је у истраживању оштећења унутрашње структуре лопатица израђених од композитних материјала користио емпиријски и експериментални приступ, при чему је показао велику способност и зрелост да из оскудне постојеће литературе посвећене карактеризацији оштећења унутрашње структуре композитних материјала искористи оно што је могуће за решавање проблема при изради дисертације. Његова жеља да тезом да допринос верификацији анализом експериментално добијених резултата.

Резултат ових напора је приказан у деветом, десетом и једанаестом поглављу која су и најзначајнији делови дисертације, јер је у оквиру њих тумачењем експерименталних резултата успешно верификована потпуно нова методологија идентификовања места нуклеације лома лопатица израђених од композитних материјала.

На основу експерименталних вредности добијених коришћењем најмодерније мерне и аквизиционе технике, као и сложене обраде мерних резултата, добијена су и оригинални резултати и тумачења појаве и ширења како макро, тако микро, али и нано прслина композитних лопатица, која могу бити од великог значаја за све истраживаче који се овом проблематиком баве.

У научне доприносе посебно можемо издвојити резултате експерименталног испитивања којима се дошло до закључка да је при деформисању влакана у слојевима у унутрашњости материјала дошло до настајања прскотина на нано нивоу (црне тачке-одсуство материјала), што касније под оптерећењем доводи до микро па макро прскотина, за које у оскудној литератури не постоје докази да су их и други аутори добили било којом методом.

Све резултате у тези су пратили зрели научни и инжењерски закључци, што доприноси томе да се дисертација може оценити веома успешном. Оригиналност потврђују резултати тезе дати у радовима који су публиковани у часописима и саопштени на научним скуповима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је оскудна литература из области карактеризације оштећења лопатица ветроенергетских система мале снаге и експерименталних испитивања композитних лопатица. Ова литература је кандидату послужила као теоретска основа за инжењерско моделирање расподеле оптерећења лопатица при експерименталном испитивању, као и за анализу резултата и верификацију вредности добијених експериментом. На тај начин дат је релевантан приказ постојећег стања у областима којој припадају проблеми решени у докторској дисертацији. Све ово има за последицу да преглед постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У докторској дисертацији у оквиру истраживања примењене су опште, основне и специфичне научне методе које се примењују у машинству, ваздухопловству и енергетици. Такође су примењене макро, микро и нано анализе као и основне поставке механике лома, посебно оне које се односе на иницијалну појаву прслина. С обзиром на комплексност предмета истраживања у појединим фазама примењене су методе анализе и синтезе постојећих знања систематизованих у оквиру прегледа доступне литературе и досадашњих истраживања. Након усвајања полазних претпоставки, извршена је карактеризација у домену могућности појаве иницијалних прслина. Први пут је обављена анализа тако да се синтетизују резултати добијени експерименталном анализом реалне лопатице и применом најсавременијих нанотехнологија. У току истраживања су примењене аналитичко-дедуктивна, експериментална и компаративна метода.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Резултати докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену, пре свега у карактеризацији оштећења лопатица израђених од композитних

материјала. Остварени резултати омогућавају дефинисање услова под којима ће доћи до лома лопатица када се оне налазе у критичном домену оптерећења. Резултати спроведених експерименталних испитивања намећу обавезу формирања нових процедура у циљу дефинисања поузданих параметара карактеризације појаве иницијалних прслина лопатица ветроенергетских система.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације показао да је у стању да самостално решава сложене научне проблеме и да успешно влада најсавременијим научним и истраживачким методама. Поседује широко радно искуство, теоријско и експериментално знање које је неопходно за даљи успешан научно-истраживачки рад.

4. Остварени научни доприноси

4.1. Приказ оствареног научног доприноса

Основни научни допринос дисертације јесте експериментална верификација карактеризације оштећења лопатица израђених од композитних материјала, настајање прскотина на нано нивоу и појаве црне тачке (одсуство материјала), што касније под оптерећењем доводи до микро па макро прскотина за које у оскудној литератури не постоје докази.

Остварени научни допринос докторске дисертације „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ је вишеструк и огледа се у следећем:

- Експериментални резултати по карактеристикама композитних материјала на макро, микро и на нано нивоу применом одговарајуће технике за нано испитивања. Резултати подржавају поставке и хипотезе механике анизотропних материјала, као и до сада развијене методе механике лома.
- Подаци добијени експерименталним испитивањем реално описују сложено напрезање лопатица у експлоатацији. Посебан допринос је расветљавање процеса настанка иницијалних прслина у овим материјалима. Верификација резултата експерименталног поступка представља основу за изналажење параметара који узрокују лом конструкције у току експлоатације.
- Крајњи научни допринос ове докторске тезе је дефинисање методологије и поступака квалитетне карактеризације одређивања радног века лопатица, али са аспекта појеве прслина у иницијалној фази развоја. Резултати су корисни за даља научна истраживања. Карактеризација оштећења доприноси квалитативној процени радног века лопатица, првенствено са аспекта реалних материјала који се користе при њеној изради.
- Научни допринос ове докторске тезе представља тежњу да се експериментални резултати искористе за формирање, за сада, не постојећих стандарда по којима треба вршити испитивања лопатица ветроенергетских система малих снага, која су оптерећена како до границе лома, тако и до самог лома.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа литературе и сагледавања постојећих решења из области дисертације, 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.

С обзиром на значај истраживања у областима важним за успешно пројектовање композитних лопатица ветроенергетских система, као и чињеницу да је у тези дата методологија која омогућава одређивање карактеризације појаве иницијалних прслина лопатица ветроенергетских система, дисертација представља важан допринос у својој области.

Имајући у виду експлицитност и репродуктивност добијених експерименталних резултата дисертација се издваја и сврстава у скупа експериментална истраживања. Очекује се имплементација резултата дисертације у будућим истраживањима, као и при пројектовању композитних лопатица ветроенергетских система

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

У расположивој литератури још увек не постоје позната и јавно објављена решења проблема карактеризације оштећења лопатица израђених од композитних материјала, па се очекује значајна примена резултата и метода датих у тези.

Оваквим приступом решавања проблема обезбедиће се поуздан и ефикасан метод одређивања понашања лопатица ветроенергетских система. Зато сматрамо да је научно оправдано да се за овако значајне и одговорне конструкције изврши детаљна експериментална анализа применом савремених експерименталних метода на нано нивоу, у циљу дефинисања нових поузданијих параметара за карактеризацију појаве иницијалних прслина лопатица ветроенергетских система.

Очекивани резултати имају значајну примену при пројектовању и избору, а посебно при експлоатацији и одржавању лопатица ветроенергетских система од којих се захтева изузетна поузданост при употреби, посебно у екстремним условима експлоатације. Значајан допринос ове докторске дисертације је и примена добијених резултата који унапређују инжењерску праксу при истраживањима сличних конструкција у циљу смањења трошкова израде, повећања поузданости и продужења експлоатационог века.

4.4. Верификовани научни доприноси

Научни допринос докторске дисертације је верификован радовима објављеним у међународним часописима и саопштењима на конференцијама током вишегодишњег истраживања:

M23 Радови у међународним часописима

1. **D. Bekrić**, Č. Mitrović, D. Cvetković, Bengin A, Effectivity of Hypergeometric Function Application in the Numerical Simulation of the Helicopter Rotor Blades Theory, Journal of Mechanical Engineering 56(2010)1, 18-22, ISSN:0039-2480, UDC 629.735.45-25 (IF 0,466 za 2009-2011 godinu)

2. Bengin, Č. Mitrović, D. Cvetković, **D. Bekrić**, S. Pešić: Improved Solution Approach for Aerodynamics Loads of Helicopter Rotor in Forward Flight, Journal of Mechanical Engineering 54(2008)3, 170-178, ISSN:0039-2480, UDK 533.661 (IF 0,235 za 2008 godinu)
3. Č.Mitrović, A.Bengin, D.Cvetković, **D.Bekrić**: An Optimal Main Helicopter Rotor Projection Model Obtained by Viscous Effects and Unsteady Lift Simulation, Journal of Mechanical Engineering, (2010), vol.56 br.6, str.357-367, ISSN:0039-2480, UDC 629.735.45, (IF 0,466 za 2009-2011 godinu)
4. Č. Mitrović, N. Petrović, **D. Bekrić**, A. Bengin, V.Dragović: Characterization of Internal Micro-Structure Damage of Composite Wind Turbine Blade Following Structural Testing up to Failure Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA), Volume 1, Issue 1, December 2012 p.11-18, ISSN: 2326-5906,
5. Č. Mitrović, N. Petrović, **D. Bekrić**, A. Bengin, B. Rakićević: Micro-Structure Characterization of Composite Wind Turbine Blade Following Structural Testing, International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol:13 No:01, 92-98, ISSN: 2077-1185 (Online) 2227-2712 (Print), DOI: 1310101-7474-IJET-IJENS, IMPACT FACTOR = 0.9387 [Year 2012] (IMPACT FACTOR calculated from CITATION REPORTS through GOOGLE SCHOLAR)

M33 Саопштења са међународних скупова штампана у целини

1. Č. Mitrović, N. Petrović, A. Bengin, **D. Bekrić**, V.Dragović, A. Simonović, G. Vorotović, S. Radojević, D. Stamenković, *Structural Testing of Small Wind Turbine Blade up to Failure*, IN-TECH 2011, from 1. 09. 2011 to 3. 09. 2011, in Bratislava, Slovakia
2. **D. Bekrić**, I. Mileusnić, I. Đurčić, Lj. Petrov, Đ. Koruga, IDENTIFICATION WIND TURBINE BLADE STRUCTURAL DAMAGES BY MAGNETIC FORCE MICROSCOPY, Fourteenth annual conference - YUCOMAT 2012, Herceg Novi, September 3-7, 2012
3. **D. Bekrić**, I. Mileusnić, I. Đurčić, Đ. Koruga, CHARACTERIZATION OF MICRO-STRUCTURE OF COMPOSITE MATERIAL FOR WIND TURBINE BLADE BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY, , V International Scientific Conference Contemporary Materials 2012- Banja Luka

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ кандидата **мр Драгољуба Бекрића**, дипл. инж. маш., представља савремен и оригиналан научни допринос који уз потпуну анализу разматраних проблема омогућава успешну карактеризацију оштећења унутрашњу структуру композитних лопатица ветроенергетских система. Очекивани резултати овог рада имају директну примену код нас и у свету примарно у области ваздухопловства а такође и у областима где се масовно користе и примењују композитни материјали. Применом савремених нано технологија на енергетски обновљивим изворима енергије, првенствено ветроенергетским системима, очекује се унапређење инжењерске праксе.

На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана сложена проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством се констатује да је кандидат Драгољуб Бекрић, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима. Кандидат је дошао до оригиналних резултата који су и верификовани, што им обезбеђује велику применљивост у овој атрактивној научној области.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“ кандидата мр Драгољуба Бекрића, дипл. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану са задовољством 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. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности, и упуту извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

у Београду, 28.10.2013.године

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

.....
др Часлав Митровић, ментор, ванредни професор,
Машински факултет, Универзитет у Београду

.....
др Слободан Ступар, редовни професор,
Машински факултет, Универзитет у Београду

.....
др Небојша Петровић, ванредни професор,
Машински факултет, Универзитет у Београду

.....
др Александар Бенгин, ванредни професор,
Машински факултет, Универзитет у Београду

.....
др Ђуро Коруга, редовни професор у пензији,
Машински факултет, Универзитет у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 921/6
Датум: 31.10.2013. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању и члана 12.2. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 31.10.2013. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео мр ДРАГОЉУБ БЕКРИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ОШТЕЋЕЊА УНУТРАШЊЕ СТРУКТУРЕ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТИЦА ВЕТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА НА НАНО НИВОУ“

II Универзитет је дана 15.04.2013. године, својим актом број 61206-1747/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. **D. Bekrić**, Č. Mitrović, D. Cvetković, Bengin A, Effectivity of Hypergeometric Function Application in the Numerical Simulation of the Helicopter Rotor Blades Theory, Journal of Mechanical Engineering 56(2010)1, 18-22, ISSN:0039-2480, UDC 629.735.45-25 (IF 0,466 за 2009-2011 godinu)
2. Č.Mitrović, A.Bengin, D.Cvetković, **D.Bekrić**: An Optimal Main Helicopter Rotor Projection Model Obtained by Viscous Effects and Unsteady Lift Simulation, Journal of Mechanical Engineering, (2010), vol.56 br.6, str.357-367, ISSN:0039-2480, UDC 629.735.45, (IF 0,466 за 2009-2011 godinu)
3. Bengin, Č. Mitrović, D. Cvetković, **D. Bekrić**, S. Pešić: Improved Solution Approach for Aerodynamics Loads of Helicopter Rotor in Forward Flight, Journal of Mechanical Engineering 54(2008)3, 170-178, ISSN:0039-2480, UDK 533.661 (IF 0,235 за 2008 godinu)

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за ваздухопловство и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић