

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

879/3

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

(Број захтева)
27.06.2011. године
(Датум)

З А Х Т Е В
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:

ГОРДАНА (МИОДРАГ) БАКИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ ГОРДАНА (МИОДРАГ) БАКИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА

Универзитет је дана 07.05.2004. год. својим актом под бр 16/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: ГОРДАНЕ (МИОДРАГ) БАКИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 05.10.2010. године, одлуком факултета под бр 864/4, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Вера Шијачки-Жеравчић</u>	Редовни професор	Технологија мат.- Маш.матер	Машински факултет Београд
2. <u>Др Радица Прокић-Цветковић</u>	Редовни професор	Технологија мат.- Маш.матер и заваривање	Машински факултет Београд
3. <u>Др Титослав Живановић</u>	Редовни професор	Термотехника	Машински факултет Београд
4. <u>Др Оливера Поповић</u>	Доцент	Технологија мат.- Маш.матер	Машински факултет Београд
5. <u>Др Биљана Анђелић</u>	Ванредни професор	Наука о материјалима	Технички факултет у Чачку

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 26.05.2011. 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: 879/2
Датум: 26.05.2011. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Вера Шијачки-Жеравчић, ментор, проф.др Радица Прокић-Цветковић, проф.др Титослав Живановић, доц.др Оливера Поповић, проф.др Биљана Анђелић, Технички факултет у Чачку о оцени докторске дисертације „Модел процене преосталог радног века компоненти термоенергетских постројења“ докторанта мр Гордане Бакић, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 26.05.2011. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА“** докторанта **МР ГОРДАНЕ БАКИЋ**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

**НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У
БЕОГРАДУ**

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

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 864/4 од 05.10.2010. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Гордане Бакић, дипл. инж. машинства, под називом: «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА», о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

1.1. Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Гордане Бакић, дипл.инж.маш., под насловом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» је изложена на 165 страна и садржи садржи четрнаест поглавља.

1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат мр Гордана Бакић, дипл.инж.маш., пријавила је израду докторске дисертације 19.03.2004.год., под бројем 362/1 Катедри за технологију материјала Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложила проф. др Веру Шијачки Жеравчић. На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком ННВ бр. 362/3 од 15.04.2004. године, прихваћен је предлог Комисије о испуњености услова кандидата и научне заснованости теме у саставу: проф. др Титослав Живановић, др Предраг Стефановић, виши научни сарадник НИВ, др Велимир Симоновић, ред. проф. Машинског факултета у пензији, проф. др Биљана Анђелић, Технички факултет у Чачку и проф. др Вера Шијачки-Жеравчић.

Комисија је поднела извештај у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА», наводећи да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све законске и истраживачке квалификације за рад на дисертацији. У вези са захтевом докторанта Гордане Бакић, дипл.инж.маш. да се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета од 15.04.2004.год. о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, а на основу сагласности Стручног већа за машинске, саобраћајне и организационе науке

Универзитета у Београду од 07.05.2004. године, донета је коначна одлука бр. 656/1 од 17.05.2004.год., којом се одобрава рад на теми докторске дисертације «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА», под менторством проф. др Вере Шијачки Жеравчић. Одлуком ННВ МФ од 03.06.2010.год. донета је одлука, из одређених животних оправданих околности, о продужетку рока израде дисертације до 17.05.2011.год., а одлуком ННВ МФ од 26.05.2011.год. је донета одлука о продужетку израде докторске дисертације до 17.05.2012.год.

О завршетку докторске дисертације «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА », ментор проф. др Вера Шијачки Жеравчић обавестила је Катедру за технологију материјала, као и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: проф др Вера Шијачки Жеравчић, проф.др Радица Прокић-Цветковић, проф. др Титослав Живановић, проф. др Оливера Поповић и др Биљана Анђелић.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 30.09.2010. године једногласно усвојило обавештење о завршетку дисертације кандидата мр Гордане Бакић под називом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» и усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 864/4 од 05.10.2010.год.).

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» припада области техничких наука, машинство, ужој научној области Машински материјали – наука о материјалима.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Мр Гордана Бакић, дипл.инж.маш., рођена је 28.11.1967. у Косовској Митровици. Након завршетка основне и средње школе уписала је Машински факултет 1986. године. Дипломирала је 1995. године на Катедри за Технологију материјала, код ментора проф. др Вере Шијачки Жеравчић. Исте године је уписала последипломске студије на Машинском факултету у Београду, смер Материјали и заваривање, које је завршила одбраном магистарске тезе октобра 2000.год. под називом "Статистички приступ у процени преосталог радног века нискоугљеничних нисколегираних топлотностојаних Cr-Mo-V челика" код ментора проф.др Вере Шијачки Жеравчић.

Одмах по завршетку студија запослила се на Машинском факултету при Катедри за Технологију материјала као стручни сарадник, да би исте године, по магистрирању, изабрана за асистента за предмете Машински материјали где и данас ради. Од 2006.год. у оквиру предмета Катедре технологије материјала и смера Заваривање и заварене конструкције учествује у одржавању наставе на предметима Машински материјали 1, Машински материјали 2, Репарација машинских делова и конструкција, Понашање заварених спојева у експлоатацији, Поузданост машинских конструкција и Биоматеријали 1. Поред вежби и осталих факултетских активности, ангажована је активно и на пословима сарадње са привредом посебно у области проблема везаних за термоенергетска постројења.

Коаутор је Приручника за лабораторијске вежбе: Р.Прокић Цветковић, П.Смиљанић, З.Радаковић, Г.Бакић, О.Поповић, М.Ђукић: *Машински материјали* - 1. део, Машински факултет, 2004.

Учесник је на пројектима:

Научни пројекти МНЗС:

1."Развој и примена концепта одржавања усмереног ка поузданости у циљу подизања расположивости и ефикасности у раду термоенергетских постројења" – Пројекат МНЗЖС бр. ЕЕ104-176А, програм енергетска ефикасност (2003-2006.), Министарство за науку и заштиту животне средине, руководилац Пројекта: Проф. Др Вера Шијачки. (Г.Бакић - учесник).

2. „Мере и поступци за праћење и смањење корозионе активности метала у циклусу вода-пара у термоенергетским постројењима” – Пројекат МНЗЖС бр. ТР-6634Б, програм технолошког развоја (2005-2007.) Министарство за науку и заштиту животне средине, руководилац Пројекта: Проф. Др Љубинка Рајаковић, (Г.Бакић - учесник)
3. „Примена савремених технологија у циљу спречавања ерозије котловских цеви“- Пројекат на 2 год. у оквиру Програма истраживања у области Технолошког развоја за период 01.04.2008.-31.03.2011. у области Енергетске ефикасности Министарства за науку и технолошки развој Евиденциони број: 18005, Руководилац: Проф. др. Вера Шијачки Жеравчић, (Г.Бакић - учесник)
4. „Примена савремених легура А1 за заварене конструкције“- Пројекат на 2 год. у оквиру Програма истраживања у области Технолошког развоја за период 01.04.2008.-31.03.2011. у области Машинства, Министарства за науку и технолошки развој, Евиденциони број: 14025, Руководилац: Проф. др. Радица Прокић Цветковић, (Г.Бакић - учесник)
5. "Истраживање могућности унапређења технологије заваривања микрولةгираних челика" пшројекат на 3 године (период 2011-2014.год.) у програму Технолошког развоја Министарство за науку и технолошки развој, област Машинство и индустријски софтвер, Евиденциони број бр.ТР 35024, Руководилац: Проф. др Радица Прокић Цветковић, (Г.Бакић - учесник)

Међународни научни пројекти:

Dr Milenko Braunovic, prof. Vera Sijacki Zeravcic, MSc Gordana Bakic, MSc Milos Djukic, Dragomir Markovic: Boiler Tube Erosion in Thermal Power Plants, CEATI Project and Report No. T052700-0122, CEA Technologies Inc. (CEATI), 2006, Canada, p112

Студије Електропривреде Србије

1. "Мере и поступци за поуздан и ефикасан систем контроле корозионог стања водено парног циклуса ТЕ и ТЕ-ТО ЕПС-а и препоруке за примену нових технологија” – Пројекат на 2 (1999-2001.) године чији су учесници: Технолошко металуршки факултет у Београду, Машински факултет у Београду, Електропривреда Србије финансиран од стране Електропривреде Србије, (Г. Бакић - учесник).
2. "Процена степена деградације и оштећења материјала и преосталог века виталних компоненти термоблокова ЕПС (процедура са примером примене)" у оквиру области А, термоенергетика и термотехника, Студија ЕПС-а на 1 годину-2005, руководилац Студије Проф. др Вера Шијачки Жеравчић (Г.Бакић - учесник)

2. Опис дисертације

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Гордане Бакић, дипл.инж.маш., под насловом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» је изложена на 165 страна и садржи садржи четрнаест поглавља.

Текст је илустрован са 112 слика и дијаграма, као и 48 табела. У попису коришћене литературе кандидат је навео 140 литературних навода. Дисертација садржи четрнаест поглавља:

- Увод
- Опште о пузању
- Механизми деформације услед пузања
- Оштећења материјала услед пузања
- Категорије оштећења од пузања
- Механички модели оштећења од пузања
- Лом услед пузања
- Преглед метода и процедура за процену преосталог радног века базиран на микроструктурним променама компоненти ТЕ постројења
- Метода процене преосталог радног века базирана на кинетичкој теорији чврстоће
- Експериментални део са анализом резултата
- Модел за процену преосталог радног века
- Дискусија
- Закључак
- Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* је дат приказ мотивације кандидата за рад на задатој теми, разрађују се постављени циљеви и приказује план рада. Истакнут је предмет докторске дисертације, тј. проблеми при процени преосталог радног века компоненти терменергетских постројења генерално са посебним истицањем промена које се дешавају у материјалу од којих су израђене компоненте током дуготрајне експлоатације на повишеним температурама и притисцима. С обзиром на комплексност проблема методе за процену преосталог радног века су бројне и засноване су на различитим приступима. С обзиром на велики број променљивих величина који су одговорних за понашање материјала у условима пузања све методе имају одређена ограничења у зависности од тога колики вброј променљивих узимају у обзир. У пракси на реалним постројењима показале су се најцелисходније методе засноване на физици процеса који се одвија у материјалу током пузања на чему су засновани и поставке ове докторске дисертације. У овом делу су истакнути разлози за избор кинетичке теорије чврстоће као основе за израду модела за процену преосталог радног века челика 12Х1МФ који припада феритно-перлитној класи челика за рад на повишеним температурама. Истакнут је и циљ овога рада који се односи на израду модела за процену преосталог радног века на основу узорака који су радили различито време у истим радним условима пузања.

У првом поглављу *Опште о пузању* укратко су изложене основне поставке теорије пузања, условима под којима долази до овога процеса и стадијума стабилнога и стадијума нестабилног пузања који у крајњем доводи до лома.

У другом поглављу *Механизми деформације услед пузања* је дат преглед различитих механизма који су одговорни за настанак трајне деформације у условима пузања. Обрађено је дислокационо пузање са аспекта клизања дислокација, пресецања дислокација, кретања дислокационих атмосфера, образовања степеница, успињања дислокација уз навођење услова који погодују одвијању овог механизма. Поред дислокационог описан је и дифузиони механизам пузања и услови под којима оно настаје, као и механизам клизања граница зрна. На крају поглавља дат је приказ деформационих мапа пузања које претстављају подлогу за утврђивање механизма пузања у функцији температуре и напона.

У трећем поглављу *Оштећења материјала услед пузања* описана су два основна типа оштећења која се односе на микроструктурну деградацију уз континуално смањење временске чврстоће и образовање пора по границама зрна које прерастају у микро и макро прслине које доводе до лома. Ови процеси се одвијају истовремено, а доминантност једног од њих је одређена већим бројем фактора, као што су почетно микроструктурно стање материјала и његова чистоћа, величина и променљивост радних параметара (температуре и напона, укључујући и заостале напоне), и нестационарни режими рада.

У четвртном поглављу *Категорије оштећења од пузања* приказани су механизми оштећивања у условима пузања који су бројни и сврстани су у четири опште категорије, смањење спољашњег попречног пресека, слабљење попречног пресека порама и прслинама, оштећење изазвано деградацијом микроструктуре и оштећење изазвано интеракцијом са околном средином. Сваки од механизма, ако делује сам или у комбинацији са другим механизмима, може да изазове лом. Лом се чешће догађа као резултат деловања два или више механизма, који понекад делују један иза другог а понекад симултано.

Пето поглавље *Механички модели оштећења од пузања* даје преглед једначина различитих механичких модела оштећења који настају током пузања а који су описани у четвртном поглављу.

У шестом поглављу *Лом услед пузања* описани су механизми развоја лома у различитим условима одвијања процеса пузања и мапе разарања. Посебно су обрађени услови појаве кртог интеркристалног лома, транскристалног дуктилног лома и лома изазваног динамичком рекристализацијом.

У седмом поглављу дат је *Преглед метода и процедура за процену преосталог радног века базиран на микроструктурним променама компоненти ТЕ постројења*. Када је реч о феритним челицима којима припада челик 12Х1МФ обрађен у овој дисертацији, аспекти који се разматрају при пузању се односе на микроструктурне промене фаза, образовање пора на

границама зрна, трансформације карбида и међучестично растојање, што су показатељи који се често користе као основа различитих метода процене преосталог радног века. Ове методе су саставни део процедура за процену преосталог радног века које су примењују у свету, и у оквиру овог поглавља представљене су најпознатије од ових процедура. У наставку су дати конкретни модели који су до сада развијени и у примени.

У осмом поглављу *Метода процене преосталог радног века базирана на кинетичкој теорији чврстоће* приказане су основне поставке кинетичке теорије чврстоће, коју је кандидат детаљно обрадио и приказао у магистарском раду. Избор Кинетичке теорије чврстоће као полазне основе за развој модела за процену преосталог радног века у овој тези је учињен због свеобухватности самог модела јер узима у обзир велики број параметара, пре свега оних који указују на промену микроструктуре током пузања, као што су величина зрна, осиромашење чврстог раствора са временом, промене у карбидној фази које подразумевају раст и промену морфологије карбидне фазе, као и промену међукарбидног растојања. С обзиром да за феритно перлитне челике генерално, па ни за челике из групе којој припада 12Х1МФ нема података о њеној примени обично због недостатка експерименталних података о микроструктурним променама током дугачког периода рада. За процену преосталог радног века, избор параметара за процену и математичка обрада података са регресионом анализом је усмерена на карактеристике испитиваног челика 12Х1МФ.

Девето поглавље је *Експериментални део са анализом резултата* у којем су детаљно представљени план и програм експеримента, основне карактеристике материјала који је одабран – челик 12Х1МФ (ГОСТ) с тим што су испитивани узорци исецани из паровода свеже паре после различитих времена експлоатације на истим параметрима (0h – полазни узорак, 53000h, 100000h, 125000h, 137000h, 156000h, 170000h, 219000h и 237000h). С обзиром да је циљ рада био сакупљање неопходних микроструктурних карактеристика, да би се формирале подлоге за примену кинетичке теорије чврстоће за челик 12Х1МФ, избор метода испитивања, ко што су микроструктурна испитивања на скенинг електронском микроскопу са ЕДС анализом састава фаза, трансмисиона електронска микроскопија, квантитативна анализа микрофотографија и ренгеноструктурна анализа, је омогућио добијање неопходних података. Поред микроструктурних, извршена су и стандардна механичка испитивања, као и одређивање хемијског састава. Сваки од добијених података је анализиран у функцији времена експлоатације и промена које су се десиле у материјалу за одређено време рада.

У десетом поглављу *Модел за процену преосталог радног века*, добијени експериментални подаци су употребљени за добијање коефицијената у регресионој анализи, који су затим послужили за добијање финалне једначине процене преосталог радног века за челик 12Х1МФ. Уношењем изабраних основних микроструктурних карактеристика у једначину за било који узорак челика 12Х1МФ, уз познавање напона и температуре на којима је радио, добијено је време до лома, које је врло реално, што представљени модел препоручује за примену у пракси.

У једанаестом поглављу дисертације (Дискусија) разматрани су добијени експериментални резултати. Детаљно су дискутоване микроструктурне промене које су последица дуготрајне експлоатације челика 12Х1МФ у условима пузања. Посебно су разматране промене у чврстом раствору и осиромашење полазног легираног чврстог раствора на битним легирајућим елементима који су одговорни за полазну временску чврстоћу (Cr, Mo, V). Промене у чврстом раствору су посебно дискутоване кроз промену параметра решетке феритне основе појединачних узорака. Уочене промене карбидне фазе у експерименталним резултатима указују да се мења тип карбида, величина и међукарбидно растојање током рада у условима пузања. Дискутоване су и уочене промене полазне величине зрна, миграција граница зрна, раст зрна током времена рада и после дугог времена рада у условима пузања полигонизација. Такође, посебан осврт је дат на улогу неметалних укључака са аспекта њиховог облика, положаја и састава на настанак оштећења типа пора. У овом поглављу је и истакнут утицај добијених основних микроструктурних показатеља ојачавања на резултате добијене применом представљене једначине модела за процену преосталог века засноване на Кинетичкој теорији чврстоће.

У дванаестом поглављу *Закључци* изведени су закључци претходних разматрања и дат предлог даљих истраживања.

У тринестом поглављу наведена је коришћена литература.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» представља савремен, оригиналан и значајан допринос разматрању проблематици. Значај ових истраживања огледа се кроз актуелност теме која третира проблематику понашања материјала у условима дуготрајног излагања пузању и процене преосталог радног века компоненти термоенергетских постројења. Савременост истраживања потврђују велика улагања у истраживања која се и данас спроводе у развоју модела за процену преосталог радног века због велике вредности опреме термоенергетских постројења и њене сигурности и поузданости у дуготрајном раду. Оригиналност се огледа у приступу формирања модела и квантификацији микроструктурних параметара, која је приказана на примеру једног топлотнопостојаног челика, а неки од резултата су публиковани и саопштени на научним и стручним скуповима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области пузања, материјала који се користе у термоенергетици и модела за процену преосталог радног века, са акцентом на физичким процесима који се одвијају у материјалу током пузања. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за приказ постојећег стања у овој области, везано за проблематику која се тиче докторске дисертације. Коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе на енглеском, руском, и српском језику, као и одређени број домаћих и страних стандарда, а уједно указује и на могућности даљег проширења научног сазнања у датој области.

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

Истраживање се заснива на одређивању најугицајнијих микроструктурних карактеристика топлотнопостојаног челика 12Х1МФ, који је радио у условима пузања различито време, и његовом уношењу у модел за процену преосталог радног века. Од микроструктурних карактеристика које утичу на понашање материјала у условима пузања, и одговорне су за временску чврстоћу материјала, издвојене су величина зрна, промене у легираности чврстог раствора, промене у карбидној фази, развој оштећења типа пора. Примењене су теоријско-експерименталне методе које су се заснивале на прикупљању и проучавању података о микроструктурним променама у челику 12Х1МФ током пузања, док је експериментални део обављен на узорцима који су исецани из паровода који су били у експлоатацији различито време. Поред експерименталног истраживања микроструктурних карактеристика, формиран је и математички модел који даје време до лома, применом кинетичке теорије чврстоће која је заснована на физичким процесима који се одвијају у материјалима током пузања.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Остварени резултати се могу директно применити у пракси, јер су на основу урађених испитивања, одређени микроструктурни параметри и одговарајући коефицијенти за челик 12Х1МФ, на узорцима од 0-237000 сати рада, који могу потпуно да се корелишу са стањем материјала компоненти термоенергетских постројења израђених од челика 12Х1МФ које су тренутно у експлоатацији на нашем подручју. Развијени модел за процену преосталог радног века даје врло реалне резултате и може се користити у пракси.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове дисертације показао да је у стању да самостално решава инжењерске и научне проблеме и да успешно влада научним и истраживачким методама, што представља одличну основу за даља достигнућа у науци.

4. Остварен научни допринос

4.1. Приказ оствареног научног доприноса

Полазећи од основног научног циља дисертације, који је био формирање математичког модела који успоставља везу између преосталог радног века и микроструктурних промена у челику 12Х1МФ, остварени научни допринос огледа се у следећем: Остварени су следећи научни доприноси:

- У циљу примене једначине кинетичке теорије чврстоће од великог броја оцењени су и изабрани параметри који најбоље одсликавају микроструктурне промене у нисколегираном нискоугљеничном челику 12Х1МФ које се одвијају током дуготрајне експлоатације, што је посебно сложен процес код вишефазних легура као што је феритно-перлитни челик 12Х1МФ.
- Извршена су детаљна мерења микроструктурних параметара коришћењем модерне мерне технике, као и сложена квантитативна анализа микрофотографија, и добијени су оригинални експериментални научни резултати за оцену стања метала челика 12Х1МФ од полазног стања до 237000 сати рада.
- На основу добијених резултата дата су нова оригинална тумачења физичких појава које се одвијају у челику током дуготрајне експлоатације у функцији преосталог радног века, првенствено корелација преосталог радног века са осиромашењем чврстог раствора и параметра решетке феритне основе, промене количине, састава и изгледа карбидне фазе, промене међучестичног растојања и миграција граница зрна са временом рада.
- Посебно је дат јасан научни допринос формирањем оригиналног модела за процену преосталог радног века за челик 12Х1МФ, који је базиран на експериментално одређеним микроструктурним параметрима и развијеном облику једначине кинетичке теорије чврстоће, код кога су линеарном регресијом одређени коефицијенти. Увршћавањем експериментално одређених микроструктурних параметара у једначину, добијена су реална времена преосталог радног века што је верификовало модел.

Конечан резултат ових истраживања је примена формираног модела у пракси на компонентама термоенергетских постројења које су израђене од челика 12Х1МФ у циљу добијања што тачнијег времена замене компоненте пре могућности појаве лома.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постојећег стања, циљева истраживања и добијених резултата, можемо констатовати да су разрешена сва битна питања и дилеме који су се наметнули у току истраживања. Имајући у виду значај процене преосталог радног века компоненти термоенергетских постројења, од којих је велики број израђен од челика 12Х1МФ на којој су спроведена истраживања, као и чињеницу да су ова експериментална истраживања новина у нашој земљи, ова докторска дисертација представља важан корак у даљем истраживачком раду у погледу процене преосталог радног века засноване на реалном стању материјала и процесима који се одвијају у њима током дугог времена рада. Очекује се имплементација ове дисертације у различитим гранама индустрије, посебно термоенергетике, где се користи челик 12Х1МФ за израду температурски најоптерећенијих делова, у циљу добијања продужетка радног века и оптималног времена замене, као и повећања експлоатацијске сигурности опреме.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Примена резултата који су добијени у овој докторској дисертацији отвара нове перспективе у праћењу стања метала и процене преосталог радног века конструкција намењених за рад на повишеним температурама. У досадашњој пракси у нашој земљи, процена преосталог радног века компоненти термоенергетских постројења је рађена искључиво на основу литературних података или врло конзервативним методама, с тим што ни један модел није у могућности да квантификује микроструктурне параметре. С друге стране, у ери конкурентног пословања, показано је да постоје оправдани разлози за примену тачнијих модела који би значајно могли да

продуже радни век конструкција, уз очување њихове сигурности и поузданости. С обзиром на широку примену челика 12Х1МФ као материјала за израду компоненти термоенергетских и осталих индустријских постројења, посебно је значајно што је у раду доказана могућност квантификације микроструктурних параметара што директно боди значајном смањењу трошкова одржавања кроз смањену учесталост испитивања у оквиру ремонтних активности, продужетак радног века компоненти, јер је приказани приступ за процену преосталог радног века далеко мање конзервативан од оних који се уобичајено користе, као и кроз повећање експлоатацијске сигурности конструкција која директно зависи од преосталог века компоненте.

Имајући у виду да су овом докторском дисертацијом обухваћени релевантни, реално мерљиви, параметри који фигуришу у моделу процене преосталог радног века за челик 12Х1МФ, као и чињеницу да је значајна количина опреме направљена од њега, може се очекивати већа примена резултата у пракси и имплементација у процес одржавања у домаћој индустрији. С обзиром на трендове у свету у погледу развоја материјала за повишене температуре, а самим тим и потреба за поузданим моделима за процену преосталог радног века, може се очекивати да се део резултата из овог истраживања након објављивања, може верификовати и на другим челицима ове класе и применити и ван граница наше земље.

4.4. Верификовани научни доприноси

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

M23 Рад у међународном часопису

1. **Gordana Bakić**, Vera Šijački Žeravčić, Miloš Đukić, Stevan Maksimović, Dušan Plešinac, Bratislav Rajičić: *The Thermal History and Stress State of a Fresh Steam–Pipeline Influencing its Remaining Service Life*, Thermal Science, ISSN 0354-9836, DOI REFERENCE: [10.2298/TSCI110509050B](https://doi.org/10.2298/TSCI110509050B), **Impact factor: 0.62 (2011)**

M24 Rad u međunarodnom časopisu verifikovan posebnom odlukom MPN:

1. Vera Šijački – Žeravčić, Dušan Milanović, **Gordana Bakić**, Miladin Radović, Zoran Stamenić, Milos Đukić, Marija Matić: *Estimation of long-term strength of the material exposed to the high-temperature creep using the microstructure dependent parameter*, Theoretical and Applied Mechanics, An International Journal, Special Volume (1), (2004), pp 408-412
2. Vera Šijački Žeravčić, **Gordana Bakić**, Miloš Đukić, Dragomir Marković, Bratislav Rajičić, *Contemporary Maintenance Management of Power Plant Life Exhaustion Components*, Technics Technologies Education Management-TTEM, (2010), vol. 5 br. 3, str. 431-436

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **Bakic G.**, Sijacki Zeravcic V., Djukic M., Milanovic D., Andjelic B., *Model for Time-to-Fracture Determination of Low-Alloyed Steel under Creep Conditions* Conf. CD-Proceedings of 11th International Conference on Fracture, Torino, Italy, 20-25.March, 2005, on Conf. CD
2. **Bakić G.**, Žeravčić V.Š., Radović M., *Estimation of the failure time for low-carbon CrMoV steels in creep condition using modified kinetic theory based on microstructural parameters*, Proceedings - ECCC Creep Conference: Creep and Fracture in High Temperature Components - Design and Life Assessment Issues, London, (2005) pp 235-243.

M51 Рад у водећем часопису националног значаја

1. **Bakic G.**, Sijacki Zeravcic V., Djukic M., Andjelic B., *Probability of Failure of Thermal Power Plant Boiler Tubing System Due to Corrosion*, FME Transactions, Vol.35, br.1, 2007, pp.47-54, ISSN 1451-2092, UDK 621

M53 Рад у научном часопису

1. **Бакић Г.**, Шијачки В.: *Одређивање времена до лома нисколегираних челика изложених пузању помоћу микроструктурних параметара – I део*, ИНТЕГРИТЕТ И ВЕК КОНСТРУКЦИЈА, Vol.3, No1, 2003, стр. 23-30

2. **Бакић Г., Шијачки В.:** *Одређивање времена до лома нисколегираних челика изложених пузању помоћу микроструктурних параметара – II део*, ИНТЕГРИТЕТ И ВЕК КОНСТРУКЦИЈЕ, Vol. 3, No 2, 2003 pp 85-92

5. Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» кандидата мр Гордане Бакић, дипл.инж.маш., представља савремен и оригиналан научни допринос кроз свеобухватно сагледавање проблематике процене преосталог радног века, посебно за челике феритно-перлитне класе којој припада челик 12Х1МФ. Формирањем модела који квантификује микроструктурне показатеље добија се поуздан модел за процену преосталог радног века, знатно тачнији податак о периоду замене компоненте, уз смањење учесталости и обима испитивања, што је од посебног значаја за термоенергетска постројења која су знатно превазишла свој пројектни радни век, као што је то случај у домаћој електропривреди, али и у региону, генерално. На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињеници да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством се констатује да је кандидат мр Гордана Бакић, дипл.инж.маш., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом «МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА» кандидата мр Гордане Бакић, 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 24.05.2011.год.

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

др Вера шијачки Жеравчић, ментор
ред. проф. Машинског факултета у Београду

др Радица Прокић Цветковић
ред. проф. Машинског факултета у Београду

др Титослав Живановић,
ред. проф. Машинског факултета у Београду

др Оливера Поповић
доцент Машинског факултета у Београду

др Биљана Анђелић
ванредни професор Техничког факултета у Чачку

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 834/2
Датум: 26.05.2011. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Гордане Бакић, дипл.инж.маш., уз сагласност ментора проф.др Вере Шијачки-Жеравчић, да јој се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 26.05.2011. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ ВЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА»** кандидата **мр ГОРДАНЕ БАКИЋ**, дипл.инж.маш. до 17.05.2012. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:879/4
Датум:
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 26.05.2011. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднела мр ГОРДАНА БАКИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „МОДЕЛ ПРОЦЕНЕ ПРЕОСТАЛОГ РАДНОГ БЕКА КОМПОНЕНТИ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКИХ ПОСТРОЈЕЊА“

II Универзитет је дана 07.05.2004. године, својим актом број 16/10 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. **Gordana Bakić**, Vera Šijački Žeravčić, Miloš Đukić, Stevan Maksimović, Dušan Plešinac, Bratislav Rajčić: *The Thermal History and Stress State of a Fresh Steam–Pipeline Influencing its Remaining Service Life*, Thermal Science, ISSN 0354-9836, DOI REFERENCE: [10.2298/TSCI110509050B](https://doi.org/10.2298/TSCI110509050B), Impact factor: 0.62 (2011)

Одлуку доставити: кандидату, менотру, Катедри за технологију материјала и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић