

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Бојане Зечевић, мастер инж.техн.

Одлуком 35/303 бр. од 18.11.2021.године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Бојане Зечевић под насловом „УТИЦАЈ РАДНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ОТПОРНОСТ НА НАСТАНАК И РАСТ ПРСЛИНА НИСКОУГЉЕНИЧНОГ МИКРОЛЕГИРАНОГ ЧЕЛИКА ЗА ТЕРМОЕНЕРГЕТСКА ПОСТРОЈЕЊА“.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- ✓ Школске 2015/2016. године кандидаткиња је уписала докторске студије на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија на Технолошко-металуршком факултету, са просечном оценом 9,36.
- ✓ 16.12.2020. – Кандидаткиња Бојана Зечевић пријавила је тему докторске дисертације, под називом: „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“.
- ✓ 24.12.2020 – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације под називом: „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“.(Одлука број 35/387 од 24.12.2020)
- ✓ 08.04.2021. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње у којој се одобрава израда докторске дисертације Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације, под називом „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења” (Одлука број 35/56 од 08.04.2021). За менторку ове докторске дисертације одређена је др Љубица Миловић, редовна професорка Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

- ✓ 28.04.2021. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност (02 број: 61206-1774/2-21) на предлог теме докторске дисертације Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије под називом „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“.
- ✓ 29.09.2021. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о продужењу рока за одбрану докторске дисертације до краја школске 2023/2024, Одлука бр. 20/81 од 29.09.2021.
- ✓ 18.11.2021. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије под називом: „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“.(Одлука бр.35/303 од 18.11.2021.)

1.2. Научна област дисертације

Истраживања рађена у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Менторка, проф. др Љубица Миловић је до сада публиковала велики број радова из ове области и на основу досадашњих резултата и искуства може се закључити да је компетентна да руководи овом докторском дисертацијом.

1.2. Биографски подаци о кандидату

Бојана Зечевић (рођ. Алексић) је рођена 04. јануара 1989. у Тузли. У Београду је завршила основну школу и Четврту београдску гимназију. Основне академске студије као и мастер студије је завршила на Технолошко металуршком факултету, на катедри за Хемијско инжењерство. Школске 2015/2016 године је уписала докторске студије на Технолошко металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство, под менторством проф. др Љубице Миловић и у септембру 2017 године положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија са остварених 80 ЕСП бодова и просечном оценом 9,36. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду од 29.09.2021., донета је Одлука о продужењу рока за одбрану докторске дисертације до краја школске 2023/2024.

Област интересовања су јој механика лома, сигурност и интегритет конструкција, прорачун компонената процесне опреме, као и тродимензионални рачунски програми за рачунско пројектовање и цртање.

До децембра 2019. године била је ангажована као сарадница на пројекту ТР 35011 „Интегритет опреме под притиском при истовременом деловању замарајућег оптерећења и температуре“ . Запослена је као истраживач сарадник у Иновационом центру Технолошко металуршког факултета у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије написана је на 132 стране и садржи 7 поглавља: Увод, Претходна истраживања, Експериментална истраживања, Нумеричка анализа, Анализа резултата, Закључак и Литература. Дисертација садржи 117 слика, 12 табела и 93 литературних навода. На почетку дисертације дата је

насловна страна (на српском и енглеском језику), подаци о ментору и члановима комисије, захвалница, извод (на српском и енглеском језику) и садржај, док је биографија аутора дата на крају дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **УВОДУ** дисертације под називом „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“, је указано на значај паровода као главних делова термоенергетских постројења у термоелектранама јер због изложености оштрим радним условима, спадају у високо ризичне конструкције. Приказани су предмет и циљ докторске дисертације који представља процену радног века конструкције на основу прикупљених података о понашању материјала у присуству прслине.

Поглавље **ПРЕТХОДНА ИСТРАЖИВАЊА** се бави систематизовањем најзначајнијих литературних података о челицима за пароводе, механици лома, односно параметрима линеарноеластичне и еластопластичне механике лома (фактору интезитета напона K_I , J -интегралу), брзини раста заморне прслине као и нумеричкој симулацији помоћу методе коначних елемената.

У поглављу **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО** је приказана хемијска и механичка карактеризација испитиваног материјала за пароводе као и утицај радне температуре на структурно-механичке особине и параметре механике лома испитиваног материјала за рад на повишеним температурама. Састоји из 7 поглавља: (1) Одређивање хемијског састава; (2) Мерење тврдоће; (3) Металографска испитивања; (4) Одређивање затезних особина на температури околине и на радној температури; (5) Одређивање ударних особина на температури околине и на радној температури на инструментираним Шарпијевом клатну; (6) Одређивање критичног фактора интезитета напона K_{Ic} и J -интеграла на на температури околине и на радној температури и (7) Одређивање параметара раста заморне прслине на температури околине и на радној температури.

У поглављу **НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА** је направљен нумерички модел, приказани су гранични услови, услови оптерећења, одабрани су коначни елементи и њихова мрежа и затим су одређени параметри механике лома помоћу методе коначних елемената.

Поглавља **АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА** и **ЗАКЉУЧАК** су директно повезани са поглављем **ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО** и **НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА** и произилазе из њих. У њима су представљена запажања и анализе резултата експерименталног испитивања као и нумеричке анализе. **ЗАКЉУЧАК** представља сублимацију извршених истраживања, научних и стручних доприноса остварених у дисертацији и даје свеобухватно виђење добијених резултата испитивања.

У поглављу **ЛИТЕРАТУРА**, представљен је списак свих литературних навода који су цитирани у тексту докторске дисертације.

Поглавље **БИОГРАФИЈА** и **ИЗЈАВЕ** садржи биографију аутора Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије и изјаве о ауторству, о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и коришћењу ове докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Упркос све већим захтевима за коришћењем обновљивих извора енергије, највећи део електричне енергије у Србији још увек потиче од сагоревања фосилних горива. Извесно је да ће и у наредним деценијама бити редовних, али и ванредних ремонта у термоелектранама

који ће, у извесној мери, захтевати замену појединих хаварисаних компонената високотемпературних постројења новим. Ти нови елементи биће израђени од челика за рад на повишеним температурама за које је потребно формирати базу података о материјалима и о њиховом понашању при деловању високих вредности радних притисака и температура.

Докторска дисертација „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“ кандидаткиње Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије, представља савремен и оригиналан приступ могућностима које пружа механика лома у оцени понашања материјала изложеног деловању комбинованог термичког и механичког оптерећења као и нумеричке симулације која је прати.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове 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 резултате и анализу резултата у тези пратили зрели научни и инжењерски закључци.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде докторске дисертације кандидаткиња је извршила преглед опсежне научне и стручне литературе у вези са подручјем истраживања, при чему је издвојила и цитирала 89 публикација, од којих је 56 новијег датума, док су остали литературни наводи старијег датума јер представљају основу за изучавање проблематике којом се бавила кандидаткиња током израде тезе. Ова литература је кандидаткињи послужила као полазна основа за формирање прегледа тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у областима истраживања на коју се дисертација односи. Такође, ова литература јој је послужила да што боље сагледа досадашња постигнута истраживања у области дисертације. На тај начин кандидаткиња је дала 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.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидаткиња је током израде тезе користила опште и посебне научне методе истраживања и то индуктивно и дедуктивно закључивање, упоређивање, анализу и синтезу. У експериментима који су предмет ове докторске дисертације користила је стандардне методе које одговарају методологији истраживања у области механике лома. Једначине и релације које су дефинисане у теоријском делу су примењене у оквиру експерименталног дела рада. Експерименталне методе су коришћене ради одређивања механичких особина материјала и еластопластичних параметара механике лома као и да се прикажу резултати фрактографских испитивања, оптичком и скенинг електронском микроскопијом.

Хемијски састав је одређен методом оптичке емисионе спектрометрије (OES) чија је тачност одређена сертификованом референтним материјалима (CRM). Тврдоћа испитиваних узорка је измерена методом по Бринелу. Металографска испитивања су рађена на оптичком микроскопу LEITZ - METALLOPLAN. Затезна испитивања епрувета извађених из узорка цеви су одређивана на радној температури и на температури околине. Испитивање на температури околине је изведено на сервохидрауличкој кидалици INSTRON 1332 од ± 100 kN, док је испитивање на радној температури од 540 °C изведено у комори за повишене температуре која је монтирана на електромеханичку кидалицу SHIMADZU AG-X+ 250KN. Испитивања савијањем ударним дејством силе на епруветама са зарезом су рађена на инструментираном Шарпијевом клатну капацитета 150/300 J. Одређивање фактора интензитета напона за I облик оптерећења као, затим J-интеграла као и одређивање брзине раста заморне прслине da/dN и прага замора ΔK_{th} је испитивано на температури околине на

сервохидрауличкој кидалици, док је испитивање на радној температури од 540 °C рађено на електромеханичкој кидалици.

Нумеричке симулације су рађене у софтверском пакету Ansys Workbench R21 који се ослања на методу коначних елемената, и обухватале су израду нумеричког модела и нумеричко одређивање параметара механике лома.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени у оквиру ове дисертације представљају значајан допринос у домену прорачуна отпорности материјала за парове на стварање и раст прслине под дејством статичког и динамичког оптерећења. Експериментална процена отпорности материјала на лом игра кључну улогу у пројектовању, производњи и предвиђању отказа посуда под притиском, цевовода и складишних резервоара који се користе у термоенергетским постројењима.

Добијени резултати испитивања и њихова анализа своју применљивост дају при оцени утицаја повишене радне температуре на понашање испитиваног материјала, у циљу процене интегритета и преосталог века конструкције као, и смернице за продужење радног века термоенергетске опреме израђене од челика за рад на повишеним температурама. Нумеричком симулацијом су верификовани експериментални резултати и показано је да је ову методу могуће користити код процене радног века конструкције. Истраживања спроведена током израде дисертације представљају добру основу за даљи рад.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Бојана Зечевић, мастер инжењер технологије, показала је самосталност у претраживању и анализи коришћене литературе, ангажованост и стручност у припреми и извођењу експеримената и обради и анализи добијених резултата. Кандидаткиња је показала да је оспособљена за самостално решавање научних проблема, да влада научним и истраживачким методама и да поседује широко стручно и теоријско знање потребно за даљи научно-истраживачки рад. На основу тога Комисија сматра да кандидаткиња поседује све квалитете, који су неопходни за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Добијеним резултатима испитивања у докторској дисертацији „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења ” је дат следећи допринос:

- Извршена оцена утицаја повишене радне температуре на понашање материјала за парове у условима статичког и динамичког оптерећења, а у циљу процене интегритета и преосталог века конструкције.

Остали научни доприноси проистекли из ове дисертације су:

- Успостављена методологија испитивања подобности за употребу новог материјала за парове;
- Извршена анализа понашања материјала у присуству грешке типа прслине на повишеној радној температури;
- Одређене су критичне вредности жилавости лома као мере отпорности материјала на раст постојеће прслине;
- Успостављена је процедура за верификацију експерименталних и нумеричких резултата испитивања узорака новог материјала;

- Дефинисана је нумеричка процедура применом методе коначних елемената за одређивање параметара еластопластичне механике лома који омогућавају примену симулације раста прслине у реалним условима на повишеној радној температури
- Дефинисана је нумеричка процедуре за одређивање параметара брзине раста прслине у условима променљивог оптерећења на основу које је могуће раздвојити подручје стабилног од нестабилног раста прслине и одредити радни век компоненте са прслином.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом литературе и сагледавања постојећих решења из научне области дисертације, констатујемо да су решења 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 која се тичу понашања испитиваног челика за рад на повишеним температурама при истовременом деловању механичког и термичког оптерећења и да су решени проблеми са којима се кандидаткиња Бојана Зечевић, мастер инжењер технологије, сусрела у току истраживања.

У оквиру докторске тезе су дате и смернице за продужење радног века процесне опреме израђене од челика за рад на повишеним температурама. Показано је да нумеричка симулација раста прслине применом методе коначних елемената уз верификоване нумеричке резултате параметара еластопластичне механике лома, може да омогући брзу а довољно поуздану процену интегритета челичне конструкције паравода без претходног извођења врло захтевних, дуготрајних и скувих експерименталних истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Из докторске дисертације „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прслина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења“ кандидаткиње Бојана Зечевић, мастер инжењера технологије, произашли су следећи радови: 1 објављен рад у врхунском међународном часопису категорије M21, 1 објављен рад у међународном часопису категорије M23, 1 рад објављен у тематском зборнику водећег међународног значаја категорије M14, 4 саопштена рада на међународним скуповима (M33) који су објављени у целини и 2 саопштена рада на међународним скуповима (M34) који су штампани у изводу.

Категорија M21:

1. **Aleksić, B.**, Grbović, A., Milović, L. et al.: Numerical simulation of fatigue crack propagation: A case study of defected steam pipeline, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 106, 104165, 2019. (IF=2,897) (doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104165) (ISSN 1350-6307)

Категорија M23:

1. **Zečević, B.**, Milovic, L., Burzić, Z. et al.: *J*-integral Analysis of the Simulated Heat-affected Zone of the Elevated-temperature Martensitic Steel, *Experimental Techniques*, 2021. (IF=1,167) (https://doi.org/10.1007/s40799-021-00487-9) (ISSN 0732-8818)

Категорија M14:

1. **Aleksić, B.**, Grbović, A., Hemer, A., Milović, L., Aleksić, V.: Evaluation of Stress Intensity Factors (SIFs) Using Extended Finite Element Method (XFEM), In: Proceedings of the 17th

International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture, Eds: Ricardo R. Ambriz, David Jaramillo, Gabriel Plascencia and Moussa Nait Abdelaziz, Springer, pp. 355-369, 2018. (ISBN-13: 978-3319889269)

Kategorija M33:

1. Aleksić, V., **Aleksić, B.**, Momčilović D. et al.: „Non - desctructive testing of pressure vessels – Application of SolidWorks“, 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2015, Banja Luka, Republika Srpska, 2015, CD, pp. 125-130. (ISBN 978-99938-39-53-8)
2. Aleksić, V., Momčilović, D., **Aleksić B.** et al.: „Analysis of the steam line damages“, 12th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2015, Banja Luka, Republika Srpska, 2015, CD, pp. 415-420. (ISBN 978-99938-39-53-8)
3. **Aleksić, B.**, Aleksić, V., Milović, L.: „Analiza opravdanosti modeliranja sučeono zavarenih spojeva kod proračuna posuda pod pritiskom“, V Međunarodni kongres „Inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji“, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 2017, CD, pp. 1136-1144. (ISBN 978-99955-81-21-3)
4. **Aleksić, B.**, Milović, L., Grbović, A. et al.: „Experimental and numerical investigation of the critical values of J-integral for the steel of steam pipelines“, ECF 22-Loading and Environmental Effects on Structural Integrity, Serbia 2018, Procedia Structural Integrity 13, 2018, pp. 1589-1594. (ISSN: 2452-3216)

Kategorija M34:

- Aleksić, B.**, Aleksić, V., Milović, L.: „Finite element method pressure vessel calculation and analysis of the effects of the butt welded joints on a carrying capacity of a structure“, Book of Abstracts, 16th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture (NT2F16), , Dubrovnik, Croatia, 2016, p. 153 – 154. (ISBN 978-953-7738-39-6)
1. **Aleksić, B.**, Hemer, A., Jančić Heinemann, R., et al.: „The analysis of SEM photographs of fractured surfaces of steel P91 and compared with the mechanical properties such as impact energy (toughness)“, Programme & Book of Abstracts, FIFTEENTH YOUNG RESEARCHERS' CONFERENCE (15YRC 2016), MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 2016, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, 2016. p. 6-5. (ISBN 978-86-80321-32-5)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Бојане Зечевић, мастер инжењера технологије под називом „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прелина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења”, представља значајан оригиналан научни допринос у области Техничких наука, а што је потврђено објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја. Комисија сматра да је кандидаткиња дефинисањем теме, приступом експерименталном раду, као и детаљним разматрањима добијених резултата остварила задате циљеве и да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да овај Реферат прихвати и да га заједно са поднетом дисертацијом **Бојане Зечевић**, мастер инжењера технологије, под називом „Утицај радне температуре на отпорност на настанак и раст прелина нискоугљеничног микролегираног челика за термоенергетска постројења”, изложи на увид јавности у законски предвиђеном року и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да након завршетка ове процедуре, позове кандидаткињу на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у истом овом саставу.

У Београду, 18.4.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Љубица Миловић, редовна професорка
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Славиша Путић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Бојан Међо, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Грбовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Зијаж Бурзић, научни саветник
Војнотехнички институт у Београду