Универзитет у Београду

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Мирјане Ф. Опачић, дипл. инж. маш., студенткиње докторских студија.

Одлуком бр. 836/2 од 01.06.2023. именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Мирјане Ф. Опачић за израду докторске дисертације под називом:

„Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама''

На основу наведене одлуке Комисија подноси следећи:

Реферат

1. Увод

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Мирјана Ф. Опачић, дипл. инж. маш., уписала је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године. Кандидаткиња је 28.12.2021. године поднела захтев за одобрење теме докторске дисертације бр. 2387/1 на Катедри за Технологију материјала Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидаткиња је за ментора предложила Проф. др Александра Седмака, проф. емеритуса Машинског Факултета у Београду.

На основу сагласности Катедре за Технологију материјала 136/1 од 10.2.2022. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 17.2.2022. године Одлуку број 136/2 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Александар Седмак, професор емеритус, Машински факултет Универзитета у Београду
- др Александар Грбовић, редовни професор, Машински факултет Универзитета у Београду
- др Гордана Бакић, редовни професор, Машински факултет Универзитета у Београду
- др Никола Миловановић, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета у Београду.

Комисија за оцену подобности теме и кандидаткиње за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 7.3.2022. поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај број 136/3, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом „Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама", наводећи да кандидаткиња испуњава све законом предвиђене услове за израду докторске дисертације и да је предложена тема научно утемељена, адекватна и да пружа могућност остваривања значајних научних доприноса. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у

Београду број 136/4 од 10.3.2022. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама'' кандидаткиње Мирјане Опачић и за ментора је именован др Александар Седмак, емеритус професор Машинског факултета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду 12.4.2022. године донело је Одлуку број 61206-1156/2-22 којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Мирјане Опачић, под насловом: „Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама".

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидаткиња Мирјана Ф. Опачић, завршила докторску дисертацију под насловом: „Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама" и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 1.6.2023. године донело је одлуку број 836/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Седмак, ментор, проф. емеритус Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Гордана Бакић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Зоран Радаковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Александар Грбовић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Симон Седмак, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама" припада области техничких наука – машинству, ужој научној области Технологија материјала, Механика лома, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

1.3. Општи биографски подаци

Мирјана Ф. Опачић, мастер инжењер машинства, рођена је 11.10.1986. године у Београду. Основну школу Слободан Бајић – Паја завршила је у Пећинцима, док је гимназију „Бранко Радичевић" завршила у Старој Пазови. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 2005. године. Дипломирала је мастер студије на Машинском факултету у Београду 2010. године, на смеру Ваздухопловство, са просечном оценом 9,00. Школске 2010/2011. године уписује докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду и тренутно је на другој години студија. Данас, Мирјана је инжењер са више од 12 година искуства у области одрживог развоја енергетских капацитета. Такође је била укључена у развојне и имплементационе пројекте у сектору обновљивих извора енергије као што су: „Биомаса у Србији", „Унапређење индустријског постројења са флуидизованим слојем у оквиру развоја технологије за енергетски ефикасно и технолошки оправдано сагоревање различитих отпадних материја у флуидизованом ложишту", „Иновативна употреба нискотемпературних геотермалних ресурса у Југоисточној Европи", „Развој политике употребе соларне енергије"; Координатор приоритетног домена у изради Стратегије паметне специјализације Србије, финансиране од стране ЕУ, Светске банке, ГИЗ,

ЛИЦА и др.; пројекти сарадње са привредом у виду консултантских услуга за потребе индустријског сектора у области контроле квалитета, индустријске опреме, опреме за испитивање без разарања, интеграције система, инспекције, сертификације итд. Последњих година активно учествује и спроводи ултразвучна испитивања конвенционалних и напредних техника као лиценцирани испитивач, ниво II и других напредних ИБР метода.

Радно искуство

2011. – 2011. Група Застава возила, Крагујевац

2014. – 2015. GIZ GmbH, Београд, стручни саветник у области обновљивих извора енергије

2019. – 2021. Републички секретаријат за јавне политике, Координатор приоритетног домена „Машине и производни процеси будућности"

2011. – Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду

2012. - Strojírenský zkušební ústav, Брно, стручни саветник у области тестирања и сертификације уређаја за сагоревање на чврсто гориво

2018. - Трокут Тест доо, Београд, стручни саветник за опрему за контролу квалитета

2. Опис дисертације

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Мирјане Ф. Опачић под називом **„Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама"**, садржи 105 страна формата А4, 47 слика, 14 табела и списак коришћене литературе који садржи 70 референци. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Основни принципи ултразвучних испитивања
4. Ултразвучне технике
5. Испитивања и резултати ултразвучних испитивања
6. Нумерички модели
7. Процена интегритета и века заварених спојева применом параметара механике лома, а на основу резултата ултразвучног испитивања
8. Анализа и дискусија добијених резултата
9. Закључак
10. Литература

Поред наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију ауторке, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље 1: Увод

Приликом процеса заваривања, у завареном споју могу настати различити типови грешака у металу шава. Поменуте грешке дефинисане су стандардом а као најчешће могу се

јавити непотпуна пенетрација корена; порозност - појединачне поре, поре у гнезду, поре у низу, издужене и цевасте поре; неспојена места (налепљивања), на ивици жлеба, између суседних завара; смакнуће лимова и профила који могу бити праћени заједима, надвишењима лица метала шава; могу се наћи укључци шљаке, поре, прслине и многе друге грешке. Као таква, појава грешака у металу шава представља један од најбитнијих утицајних фактора на даље понашање завареног споја у реалним условима експлоатације. У зависности од типа грешке, њене величине, позиције и оријентисаности у металу шава, оне могу и не морају битно угрозити (нарушити) интегритет конструкције.

Важан аспект докторског рада чине испитивање без разарања (ИБР), посебно јер су се применом конвенционалног ултразвучног тестирања (УТ) пронашли неприхватљиве индикације дефеката. Како њихова величина може бити прекомзервативно процењена, сматра се да је поузданост резултата добијена конвенционалном методом УТ испитивања, не више од 50%, па се често величина откривеног дефекта удвостручује у даљој анализи да би се добила конзервативна процена интегритета конструкције. Да би се превазишли неки од конвенционалних недостатака УТ, у докторском раду испитивања су поновљена напредним техникама ултразвучног испитивања ПА (техника фазног низа) и ТоФД (техника времена прелета дефракције звука).

У докторској дисертацији примењен је инжењерски приступ како би се добио поуздан и брз одговор шта учинити у ситуацији када се на већ оперативној опреми пронађу неприхватљиве грешке методама испитивања без разарања, што може бити пресудно у постројењу (нпр. суд под притиском у РХЕ Бајина Башта), где није погодно и доступно за репарацију пронађених индикација грешака.

Докторска дисертација је показала да применом напредних метода ултразвучног испитивања ради карактеризације индикација, нумеричких метода и анализом механике лома можемо добити прихватљиву основу за допуштени изузетак од постојећих стандарда, ако таква анализа даје убедљиву и конзервативну процену интегритета конструкције.

Поглавље 2: Преглед литературе

Овим поглављем приказан је преглед литературе из области ултразвучних испитивања и интегритета конструкција. Разматрани су случајеви недостатака конвенционалне методе ултразвучних испитивања и проблеми који се јављају у реалној инжењерској пракси, а проузроковани су непоузданошћу добијених резултата испитивања. Дат је и преглед радова из области механике лома и процене интегритета конструкције за посуде под притиском.

Поглавље 3: Основни принципи ултразвучних испитивања

У овом поглављу детаљно су објашњени основни принципи испитивања без разарања, историјат ултразвучне методе испитивања у различитим областима примене. У поглављу су такође објашњени основни принципи ултразвучних испитивања, предности и мане технике у уопштеном смислу, основне поставке савремених уређаја као и осврт на будуће правце ултразвучне инспекције.

Поглавље 4: Ултразвучне технике

У овом поглављу детаљно су разјашњени принципи испитивања и физика извођења свих коришћених техника (конвенционална техника испитивања – Импулс – ехо, техника фазног низа – PA техника и техника времена прелета дефракције – ToFD. За сваку од наведених техника дат је осврт на критеријуме прихватљивости везаних за предметну технику. У поглављу су такође разрађене предности и недостаци за сваку технику појединачно. Дата је и шема вероватноћа детекције и поузданост добијених резултата различитим IBR методама.

Поглавље 5: Испитивања и резултати ултразвучних испитивања

У поглављу 5 дати су резултати и анализа примењених метода ултразвучних испитивања посуда под притиском за компримовани ваздух у реверзибилној хидроелектрани Бајина Башта (РХЕ ББ). Дат је конкретан приказ кључних резултата ултразвучног испитивања заварених спојева коришћењем конвенционалне технике и напредних техника PA и ToFD.

Поглавље 6: Нумерички модели

У овом поглављу израђени су нумерички модели заварених спојева са димензијама грешака измерених методама без разарања. Резултати из претходног поглавља служили су као улазни подаци. За моделовање индикација несавршености унутар метал шава суда под притиском SP 970, коришћен је софтверски пакет Абакус. Геометријски подаци добијени УТ испитивањима и механички подаци карактеристика материјала, били су основа за нумеричке симулације раста прслине применом закона линеарно-еластичне механике лома.

Израђена нумеричка симулација је показала комплетно напонско стање у делу материјала где је индикација грешке (прслине) највећа, а налази се у вертикалном завареном споју посуде под притиском 970 и може имати највећи утицај на интегритет завареног споја односно интегритет конструкције. У нумеричком моделу узето је у разматрање заварени спој под редним бојем 5, који је рађен поступком електро-лучно заваривање под прашком (ЕПП).

Поглавље 7: Процена интегритета и века заварених спојева

Поглавље објашњава да су основу опсежних конвенционалних, PA и ToFD УТ тестирања СП, за детаљну анализу применом принципа механике лома одабране су посуде: СП 970, дефект 5.6 и СП 971, дефект 1.1. Урађени су прорачуни према параметрима механике лома за вредности добијене конвенционалним УТ испитивањем и дат је приказ резултата. Након тога поновљени су прорачуни према параметрима механике лома за улазне вредности које су добијене напредним техникама УТ испитивања и дат је приказ резултата.

Поглавље 8: Анализа и дискусија добијених резултата

Ово поглавље се надовезује на претходно и у њему је дата свеобухватна анализа и дискусија добијених резултата УТ испитивањима, нумеричком симулацијом и анализом параметра механике лома. Анализа је урађена за сваки суд појединачно. Формирана је матрица ризика.

Поглавље 9: Закључак

У овом поглављу дати су основни закључци свеукупно изведеног истраживања. Резултати експерименталних истраживања и нумеричких симулација у оквиру ове

дисертације пружиле су бољи увид и полазну основу за анализу индикација несавршености откривених напредним техникама методе ултразвучног испитивања заварених спојева као и процена утицаја индикација које су неприхватљиве према важећим критеријумима прихватљивости СРПС ЕН ИСО 11666 и СРПС ЕН ИСО 19 285.

Поглавље 10: Литература

У овом поглављу дат је преглед цитиране литературе у оквиру доктората

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом **„Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама”** кандидаткиње Мирјане Ф. Опачић, дипл. инж. маш., представља савремен и оригиналан допринос у области карактеризације завареног споја са аспекта процене његовог интегритета у случају поседовања неприхватљивих индикација према важећим стандардима, односно критеријумима прихватљивости према СРПС EN ISO 11666 и СРПС EN ISO 19285. Објављени научни радови потврђују оригиналност добијених резултата у оквиру докторске дисертације.

3.2. Осврт на референтну коришћену литературу

Анализом списка литературе која је коришћена током израде докторске дисертације може се закључити да је кандидат имао на располагању веома обимну, савремену и релевантну литературу из области механике лома и испитивања без разарања, као основу за истраживања у испитиваној области. Већина референци представљају научне радове објављене у врхунским међународним часописима са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Истраживања приказана у наведеним референцама, као и наведени стандарди, коришћени су за планирање експерименталног рада, анализу и тумачење резултата добијених током израде докторске дисертације и извођење закључака. Такође су наведене и књиге и релевантни прегледни радови ранијег датума, који су представљали базична сазнања из предметне области и полазну основу за тумачење експерименталних резултата.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су експерименталне, нумеричке и аналитичке методе. У оквиру реализације експерименталног дела докторске дисертације коришћене су методе испитивања без разарања на нов и оригинал начин, тако што су напредне ултразвучне технике (PA и ToFD) примењена на испитивање тешко доступних заварених спојева на посудама под притиском.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и изузетну практичну примену, пре свега у процени интегритета посуда под притиском са неприхватљивим грешкама у завареним спојевима. Успостављени модел прецизне и поуздане процене интегритета заварених спојева је универзалан и примењив на све заварене конструкције.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације докторанткиња је показала способност за самостални научно истраживачки рад, као и смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. То је потврђено како положеним испитима на докторским студијама, тако и објављеним научно-стручним радовима у престижним часописима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни допринос кандидата Мирјане Ф. Опачић и њеног доктората огледу се првенствено у следећем:

- успостављен је модел прецизне и поуздане процене интегритета заварених спојева и конструкција у присуству грешака које су неприхватљиве према стандарду, а на основу прецизнијег утврђивања индикација грешака и анализе напонског стања у критичним областима, што је приказано у поглављима 7.2, 8.1 и 8.2, а верификовано у раду 1, стр. 4-5, и делимично у радовима 2-4.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе из области докторске дисертације, Комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва питања и да су решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања. На основу критичке анализе резултата дата је препорука за даљи рад.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси верификовани су у следећим радовима:

1. Опачић, М., Седмак, А., Бакић, Г., Милошевић, Н., Миловановић, Н. (2024). Risk Assessment of Pressure Vessels by Using Fracture Mechanics and Advanced Ultrasonic Testing. Technical Gazette, 31(1), DOI: 10.17559/TV-20230227000386, online first: https://www.tehnicki-vjesnik.com/#!/articles/EN/5971b0a8-03d7-4e16-b4ce-039518755b6b, **M23, IF=0,9**
2. Мирјана Опачић, Лазар Јеремић, Никола Миловановић, Александар Седмак, Application of advanced NDT method to assess structural integrity of welded joints in a pressure vessel - MedFrac 2 – Catania (Italy) and Online February 14–16, 2022, **M51**
3. М. Аранђеловић, Л. Јеремић, Б. Ђорђевић, С.А. Седмак, М. Опачић: Integrity assessment of ammonia storage tank by non-destructive testing, Structural Integrity and Life, Vol. 21, No. 3, 2021, pp. 295–300. **M24, IF=0,4**
4. М. Опачић, А. Седмак, Г. Бакић, Н. Милошевић, Н. Миловановиц, Application of advanced NDT methods to assess structural integrity of pressure vessel welded joints, Procedia Structural Integrity, 42, 1185 – 1189, 2022, 23. European Conference on Fracture - ECF23, **M51, cite score=2,1**

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом **„Процена интегритета заварених спојева са неприхватљивим грешкама“** кандидата Мирјане Опачић, дипл. инж. маш, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је Мирјане Опачић, дипл. инж. маш., завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да докторска дисертација представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Технологија материјала, Механика лома.

У Београду, 18.7.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

....
др Александар Седмак, ментор, професор емеритус
Машински факултет Универзитета у Београду

....
др Гордана Бакић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

....
др Зоран Радаковић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

....
др Александар Грбовић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

....
др Симон Седмак, научни сарадник
Иновациони центар Машинског факултета у Београду