

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Михајла С. Аранђеловића, мастер инжењер машинства.**

Одлуком 650/2 од 05.05.2022.године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата кандидата **Михајла С. Аранђеловића, мастер инжењер машинства** под насловом

**„УТИЦАЈ ВИШЕСТРУКИХ ГРЕШАКА У ЗАВАРЕНОМ СПОЈУ НА ИНТЕГРИТЕТ ЗАВАРЕНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ”**

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

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Михајло С. Аранђеловић– мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2017/2018. године. На основу захтева студента Михајло С. Аранђеловића, маст. инж. маш., бр. 1447/1 од 09.09.2021. године да му се одобри израда докторске дисертације и реферата., а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултетета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.10.2021. године, донело је одлука бр. 1147/4 да се прихвата научна заснованост теме докторске дисертације и да студент **Михајло С. Аранђеловић**, маст. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **„УТИЦАЈ ВИШЕСТРУКИХ ГРЕШАКА У ЗАВАРЕНОМ СПОЈУ НА ИНТЕГРИТЕТ ЗАВАРЕНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ“**. Такође се именује комисија у саставу: др Зоран Радаковић, ред. проф., др Гордана Бакић, ред. проф., др Ана Петровић, доцент, др Зијаж Бурзић, научни саветник Војнотехничког института и др Симон Седмак, научни сарадник.

За ментора студенту Михајлу С. Аранђеловићу наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.10.2021. године, донело је одлука бр. 1147/3, именује се др Александар Седмак, ред. проф. машинског факултета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-4793/2-21 од 10.12.2021. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Михајла С. Аранђеловића, под насловом: „**Утицај вишеструких грешака у завареном споју на интегритет заварене конструкције**“.

На основу обавештења проф. др Александра Седмака да је кандидат Михајло С. Аранђеловић, завршио докторску дисертацију, и предлога Катедре за Технологију материјала, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 05.05.2022. године донело Одлуку број 650/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Зоран Радаковић, редовни професор, Машински факултет у Београду
- др Гоградана Бакић, редовни професор, Машински факултет у Београду
- др Ана Петровић, доцент, Машински факултет у Београду
- др Зијаж Бурзић, научни саветник, Војнотехнички институт, Београд
- др Симон Седмак, научни сарадник, Иновациони центар Машинског факултета, Београд

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом ” **УТИЦАЈ ВИШЕСТРУКИХ ГРЕШАКА У ЗАВАРЕНОМ СПОЈУ НА ИНТЕГРИТЕТ ЗАВАРЕНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ** ”, припада области техничких наука - машинству, ужој научној области **ТЕХНОЛОГИЈА МАТЕРИЈАЛА**, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Михајло С. Аранђеловић рођен је 23.10.1985 у Београду, Република Србија. По националности Србин и држављанин Републике Србије. Основну школу је завршио у Параћину са одличним успехом и награђен је Вуковом дипломом. Гимназију је завршио у Параћину, смер математички, такође је завршио са одличним успехом.

Мастер академске студије на смеру Заваривање и заварене конструкције је завршио у предвиђеном року од две године. Дипломски Рад из предмета Технологија заваривања са насловом „Репарација кранских точкова у железари Смедерево и техно-економска анализа“ одбранио са оценом 10.

Након завршетка основних студија ступа у радни однос у ФГМ Матокс Параћин као шеф градилишта 2011 године, а 2018. ступа у радни однос у Иновационом центру машинског факултета као истраживач-приправник Иновационом центру Машинског Факултета у Београду, као сарадник и помоћник приликом организовања наставе на енглеском језику, техничка подршка приликом аудио и видео снимања наставе (за потребе фирме SGM из Берлина) под руководством проф. др Александра Седмака. 2017. године уписао је докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду као истраживач приправник на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја TR35040 „Развој савремених метода дијагностике и испитивања машинских структура“. 2020 почиње да ради у контлоном телу као инспектор за посуде под притиском.

Такође је активно помагао изради неколико докторских дисертација и мастер радова. Кандидат је учествовао бројним домаћим и међународним конференцијама са својим и радовима својих колега. Такође је учествовао у организовању ECF22 (водећа међународна конференција посвећена лому).

Кандидат поседује знања из програмских пакета Microsoft Office, Solid Works, ABAQUS. Од страних језика, познаје енглески језик (писање, читање) и основе руског и немачког. Кандидат поседује сертификате IWE/EWE (међународни инжењер заваривања), IWI-C (међународни инспектор заваривања), VT2 (сертификат за визуелну контролу)

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата кандидата Михајла С. Аранђеловића под називом **”Утицај вишеструких грешака у завареном споју на интегритет заварене конструкције”** садржи: 138 страна формата А4 (заједно са додатком), 188 слика (заједно са додатком), 69 табела (заједно са додатком), 9 једначина и списак коришћене литературе који садржи 74 референце. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Контрола квалитета, грешке и испитивање заварених спојева
4. Основе стереометрије и методе коначних елемената
5. Технологија заваривања
6. Експериментала испитивања
7. Поставка нумеричког модела
8. Анализа резултата
9. Закључак
10. Литература
11. Додатак дисертацији

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

#### **Поглавље 1: Увод**

У првом поглављу кандидат Михајло С. Аранђеловић (у даљем тексту кандидат) је приказао нека уводна разматрања везаних на тему докторске дисертације, тј. реалних инжењерских проблема везаних за присуство вишеструких грешака у завареном споју. Осим тога приказан је кратак опис поглавља дисертације.

#### **Поглавље 2: Преглед литературе**

Урађен је преглед литературе која је служила као основ за израду докторске дисертације. Литература је обухватила следеће области:

- Утицај геометрије на коцентрацију напона у завареном спојевима, која је анализирана у овим радовима углавном применом методе коначних елемената,
- Примену метод за бесконтактно мерење деформација, која се базира на дигиталној корелација слика (ДИЦ), у испитивању заварених спојева и
- Утицај грешака на коцентрацију напона у завареном споју.

### **Поглавље 3:** Контрола квалитета, грешке и испитивање заварених спојева

Урађен је преглед релевантих стандарда о контроли квалитета заварених спојева, класификацији грешака, критеријума њихове прихватљивости, испитивање методама без и са разарањем.

### **Поглавље 4:** Основе стереометрије и методе коначних елемената

Четврто поглавље ове докторске дисертације пружа информације принципима и концептима теоријских основа испитивања дигиталним корелацијама слика и основе метода коначних елемената.

### **Поглавље 5:** Технологија заваривања

У петом поглављу описан је начин израде заварених спојева плоче из које су узимани узорци (епрувете) за механичка испитивања. Детаљно су приказани кораци приликом израде заварених спојева намењених за механичка испитивања, као што је избор основног и додатног материјала, технологија и поступак заваривања, одређивање температуре предгревања, припрема жлеба, одређивање параметара заваривања итд.

### **Поглавље 6:** Експериментала испитивања

У шестој глави су приказани резултати експерименталног испитивања:

- Испитивање основног материјала челика S275JR,
- План испитивања заварених епрувета
- Поставка експеримента
- Приказ резултата испитивања једноосним затезањем,
- Приказ резултата испитивања тврдоће
- Приказ миcroструктуре завареног споја.

### **Поглавље 7:** Поставка нумеричког модела

У осмом поглављу су формиран и описани нумерички модели. Развијени су почетни модели који су потом унапређвани, тако што су грешке на завареним спојевима су прецизно измерене, и укључено је поље деформације добијено експерименталним истраживањима. Тако је итеративно развијен нови реални нумерички модел, који је омогућио како одређивање напона при којем долази до појаве прслине као и напона у зони утицаја топлоте. Нумеричке симулације су рађење за више различитих фаза испитивања једноосним затезањем, укључујући:

- Ниво пластичне деформације који одговара тренутку када епрувета улази у пластичну област током стварног експеримента

- Поређење расподеле напона на модел без грешака са сваком групом модела са одређеном комбинацијом грешака
- Расподеле напона и/или деформацијама у моделима које одговарају максималним силама измереним током испитивања затезањем
- Ниво деформације у моделима који одговара тренутку кад почиње раст прслине током испитивања

### **Поглавље 8: Анализа резултата**

У овом поглављу кандидат је урадио одговарајућу анализу добијених резултата из експерименталног дела. Урађена је одговарајућа дискусија добијених резултата:

- Анализа испитивања једноосним затезањем
- Анализа испитивања тврћом и микроструктуре
- Упоредна анализа нумеричких прорачуна и мерења деформација бесконтактном методом (метода дигиталне корелације слика - DIC)

### **Поглавље 9: Закључак**

У овом поглављу кандидат је приказао закључке целокупне студије на основу добијених резултата и методе обраде резултата, као и анализе из поглавља 8 (осам). Поред тога, дат је пажљиво и осврт на отворена питања која су наметнута целокупном студијом и формуланом методологијом испитивања заварених спојева са вишеструким грешкама.

### **Поглавље 10: Литература**

Ово поглавље садржи списак литературе која је коришћена у изради ове докторске дисертације

### **Поглавље 11: Додатак дисертацији**

У додатку дисертацији се налазе фотографије испитивања као и табеле резултата померања приликом испитивања једноосним затезањем као и табеле мерене тврдоће за све испитане узорке који ниси били детаљно обухваћени у анализи ове дисертације.

## **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **3.1. Савременост и оригиналност**

Истраживања која се тичу испитавања утицаја вишеструких грешака на интегритет завареног споја изискују посебну пажњу, а предложена методологија нумеричко-експерименталог испитивања и анализе резултата су у спрези са тренутним технолошким напретком. У конкретном примеру, испитавања утицаја вишеструких грешака на интегритет завареног споја који су тема ове дисертације је тема великог броја истраживања, највише због присуства вишеструких грешака у које су честа појава у реалним инжењерским свакодневним условима рада. Кандидат је на оригиналан начин спојио методе испитивања и анализирања резултата како експерименталним испитивањима (механичка испитивања) тако савременим алатима ( софтверски пакети ABAQUS и ARAMIS) у циљу добијања валидних поновљивих резултата нумеричко-експерименталних испитивања.

Успостављена је потпуно нова методологија испитивања утицаја вишеструких грешака на интегритет завареног споја. Оригинално добијених резултата у оквиру ове студије се осим нове оригиналне методологије потврђује и радовима који су објављени и саопштени на научним скуповима или објављени у часописима.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У овој докторској дисертацији коришћена је литература из различитих области који су у спрези са темом дисертације. Због комплексног карактера теме докторске дисертације, референтне и обрађене области обухватале су утицај геометрије на коцентрацију напона у завареном спојевима, која је анализирана у овим радовима углавном применом методе коначних елемената, примену метод за бесконтактно мерење деформација, која се базира на дигиталној корелација слика (ДИЦ), испитивању заварених спојева и утицај грешака на коцентрацију напона у завареном споју.

Поменута литература је кандидату послужила као полазна основа за формирње прегледа постојећих истраживања. Литература, односно референце, коришћене у раду приказане су на крају дисертације у виду листе, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради докторске дисертације примењене су и експериментално-нумеричке методе испитивања и анализа добијених резултата. Са тим циљем формиран су нумерички прорачунски модели и физички модели епрувета. Итеративно је развијен нови реални нумерички модел, док је нумерички прорачуни урађен за више различитих фаза испитивања једноосним затезањем. Софтверски пакети поменути у докторату су коришћени у циљу добијања валидних резултата. Софтверски рачунарски пакети су коришћени у циљу упоредне анализе добијених резултата. Анализитање резултата је урађено адекватним методама.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру ове докторске дисертације, поред научне вредности и доприносу научној дисциплини механика, имају и значајну практичну примену. Поред тога што је формулисана нова методологија испитивања заварених спојева са вишеструким грешкама, развијени су нумеричко-експериментални модели за испитивање заварених спојева са вишеструким грешкама; одређене су вредности напона при којем долази до појаве прелине у завареном споју са вишеструким грешкама; поуздано је утврђено најопаснија комбинација грешака у завареном споју, као и механичке карактеристике зона утицаја топлоте нумеричко-експерименталним приступом итеративним.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат је показао способност за самостални научно-истраживачки рад, као и способност да решава научне проблеме, аналитички приступа, односно да има изузетено знање у оквиру области науке о материјалима, затим теоријске механике лома и генерално механике. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним објављеним радовима.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни допринос кандидата Михајла С. Аранђеловића и његовог доктората под називом **”УТИЦАЈ ВИШЕСТРУКИХ ГРЕШАКА У ЗАВАРЕНОМ СПОЈУ НА ИНТЕГРИТЕТ ЗАВАРЕНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ“** је предвиђање понашања завареног споја са вишеструким грешкама на основу утврђеног напонско-деформационог стања. При томе је експериментално анализирано напонско-деформационо стање завареног споја у присуству вишеструких грешака помоћу корелације дигиталних слика, а затим нумерички моделирано понашање заварених спојева са различитих комбинацијама грешака. Научни допринос, резултати испитивања и поменута анализа су приказани у поглављима 6-8, а објављени су у раду категорије **M21** у часопису **MDPI Materials**, доступан на линку <https://doi:10.3390/ma14174832>, или (<https://www.mdpi.com/1996-1944/14/17/4832>) где су дати закључци истраживања. Овај рад је наведен под бројем 1 у списку радова.

Остали научни доприноси су:

- Методологија испитивања заварених спојева са вишеструким грешкама.
- Нумеричко-експериментални модели за испитивање заварених спојева са вишеструким грешкама;
- Утврђена је најопаснија комбинација грешака у завареном споју;
- Утврђен је утицај различитих комбинација грешака на интегритет завареног споја

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом релевантне научне литературе и постојећих решења који се тичу области и теме докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати и метод истраживања, као и методологија анализирања експериментално-нумеричких резултата, изузетно значајни и научно утемељени. Увидом у задате циљеве истраживања и резултате представљене у овој целокупној студији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања. Кандидат је научним методама дефинисаним овом дисертацијом дао допринос разумевању специфичне теме која је обрађена. Закључци целе студије могу послужити за даљи ток испитивања које се тичу разумевања утицаја вишеструких грешака у завареном споју на интегритет заварене конструкције.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси доктората верификовани су следећим радовима:

1. **M. Arandelović**, S. Sedmak, R. Jovičić, S. Perković, Z. Burzić, D. Radu, Z. Radaković: *Numerical and Experimental Investigations of Fracture Behaviour of Welded Joints with Multiple Defects*, MDPI Materials, Vol.14 No 17, pp 1-15, 2021. doi:10.3390/ma14174832 (**категорија M21**)
2. **M. Arandelović**, S. Sedmak, R. Jovičić, S. Perković, Z. Burzić, B. Đorđević, Z. Radaković : *Numerical Simulation Of Welded Joint With Multiple Various Defects*, Vol.21, Structural Integrity And Life No.1, 2021, pp. 103–107 (**категорија M24**)

3. **M. Arandelović**, S. Sedmak, R. Jovičić, A. Sedmak, Z. Radaković: *Finite element analysis of effects of multiple defects on welded joint integrity*, 8<sup>th</sup> International congress of Serbian society of Mechanics, Kragujevac, Serbia, pp. 172 - 173 2021 (**категорија М33**)
4. **M. Arandelović**, S. Sedmak, R. Jovičić, D. Kozak, B. Đorđević: *Numerical simulation of crack growth in a welded joint with defects*, Procedia Structural Integrity, Vol. 33, 2021, pp 850-857. 10.1016/j.prostr.2021.10.095 (**категорија М33**)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под **”Утицај вишеструких грешака у завареном споју на интегритет заварене конструкције”** кандидата Михајла С. Аранђеловића, маг. 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 кандидат Михајло С. Аранђеловић, успешно завршио 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**.

У Београду, 23.05.2022. год

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Зоран Радаковић, ред. проф.  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
др Гордана Бакић, ред. проф.  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
др Ана Петровић, доцент  
Машински факултет Универзитета у Београду

.....  
др Зијаж Бурзић, научни саветник  
Војнотехнички институт, Београд

.....  
др Симон Седмак, научни сарадник  
Иновациони центар Машинског факултета, Београд