

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

232/3
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)18.03.2021.
(Датум)**ЗАХТЕВ**
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЉИВОГ И УДАРНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНИХ ЧЕЛИЧНИХ КОНСТРУКЦИЈА ИЗРАЂЕНИХ ОД СУПЕР ДУПЛЕКС ЧЕЛИКА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Заваривање и заварене конструкције

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: СРЂА (ЉУБОДРАГ) ПЕРКОВИЋ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2000.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2012.Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 18.03.2021
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.**ДЕКАН**
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАпроф. др Радивоје Митровић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 232/3
Датум: 18.03.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Срђе Перковића**, дипл. инж. маш., бр. 1618/1 од 26.10.2020. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Зоран Радаковић, ред. проф., др Александар Грбовић, ред. проф. и др Ивица Чамагић, ванр. проф., ФТН Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици број 232/2 од 12.03.2021. године, 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 факултета (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 18.03.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **СРЂА ПЕРКОВИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЉИВОГ И УДАРНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ПОНАШАЊЕ ЗАВАРЕНИХ ЧЕЛИЧНИХ КОНСТРУКЦИЈА ИЗРАЂЕНИХ ОД СУПЕР ДУПЛЕКС ЧЕЛИКА»**.

За ментора студенту **Срђи Перковићу**, именује се **др Зоран Радаковић, ред. проф.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Срђе Перковића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 232/1 од 21.01.2021, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Срђе Перковића, дипл. инж. маш., студента Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“**.

На основу материјала предложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Срђа (Љубодраг) Перковић, дипломирани инжењер машинства, је рођен 06.08.1973. године у Београду. Основну и средњу школу је завршио у Београду. Средњи ниво образовања је стекао у Београду, са одличним успехом. Машински факултет Универзитета у Београду уписао је 1992. године, а завршио студије 2000. године, на Одсеку за ваздухопловство са оценом 10 (десет) са дипломским радом под називом „Одређивање и дефинисање облика летелице у почетној фази пројектовања“, и просечном оценом током студија 8,13 (осам и 13/100). Докторске студије на Катедри за технологију материјала уписује 2012. године. Просечна оцена кандидата током докторских студија је 9,64 (девет у 64/100).

Од 2011. године до данас је запослен у Војнотехничком институту у Београду, а тренутно се налази на позицији начелника Лабораторије за експерименталну чврстоћу

1.2. Сечено научно-истраживачко искуство

Срђа Перковић је школске 2012. године уписао докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду и тренутно је на трећој години студија. Потенцијални ментор кандидата је Проф. др Зоран Радаковић. У складу са Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ, чиме је испунио основни услов за пријаву докторске дисертације. Кандидат је до сада положио све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,64 У наставку текста дата је табела у којој су наведени положени предмети, предметни наставници, остварени ЕСПБ и добијене оцене.

Бр.	Назив предмета	Фонд часова	ЕСПБ	Оцена
1.	Виши курс математике	35	5	10 (десет)
2.	Нумеричке методе	35	5	8 (осам)
3.	ОМНИР и К	35	5	10 (десет)
4.	Основни принципи механике лома	35	5	10 (десет)
5.	Истраживање и публикавање 1	70	10	10 (десет)
6.	Одабрана поглавља из механике	35	5	9 (девет)
7.	Интегритет и век конструкција	35	5	10 (десет)
8.	Компјутерско моделирање и прорачун структура	35	5	8 (осам)
9.	Истраживање и публикавање 2	95	15	10 (десет)
10.	Примена механике лома на интегритет конструкција	35	5	10 (десет)
11.	Рачунарска механика лома	35	5	10 (десет)
12.	Истраживање и публикавање 3	95	20	10 (десет)
13.	Истраживање и публикавање 4	56	8	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације	95	22	10 (десет)

Сагласно програму за докторске студије, кандидат је са положеним испитима, истраживањима и публикованим радовима и одбрањеним Пројектом идеје докторске дисертације, остварио потребан број бодова и уписао трећу годину, чиме је испунио услов за пријаву докторске дисертације.

Тренутно је ангажован на пројекту ТР 36050 „Истраживање и развој система беспилотних летелица у функцији надзора саобраћајне инфраструктуре“

Активности у стручним и професионалним организацијама

Срђа Перковић је члан Друштва за механику и Друштва за Интегритет и век конструкција „Проф. др Стојан Седмак“ (ДИВК), Београд, Србија.

Додатно образовање

Кандидат је завршио курсеве за софтверски пакет CATIA, као и обуке за рад на уређајима за испитивање механичких карактеристика материјала.

Познавање језика

Енглески - читање, писање, говор.

Познавање рада на рачунару

Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), CATIA, AutoCAD.

Списак објављених радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

Категорија М20

1. Sedmak, A., Eramah, A.M.M., Tadić, S., Perković, S., Dascau, H. (2014), *Impact Toughness of Friction Stir Welded Al-Mg Alloy*, Materials Testing, 56(10): 837-841. ISSN: 0025-5300, doi: 10.3139/120.110638. IF = 0.45

2. Petronić, S., Burzić, M., Čolić, K., Perković, S. (2015), *Surface Modification of Laser Welded Nimonic 263 Sheets*, Structural Integrity and Life, 15(3): 153-156. ISSN: 1451-3749
3. Burzić, Z., Burzić, M., Grabulov, V., Perković, S. (2018), *Influence of Crack on Welded Joint Characteristics in Different Types of Loads*, Scientific Technical Review, 68(1): 50-58. doi: 10.5937/str1801050B. ISSN: 1820-0206
4. Čabrilo, A., Sedmak, A., Burzić, Z., Perković, S. (2019), *Fracture Mechanics and Fatigue Crack Propagation in Armor Steel Welds*, Engineering Failure Analysis, 106: 104155. doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.104155. ISSN: 1350-6307. IF = 2.897
5. Džindo, E., Sedmak, S.A., Čamagić, I., Burzić, Z., Perković, S., Cvetković, I. (2019), *Experimental Determining of Fracture Behaviour of P460NL1 Steel Welded Joint Specimens*, Procedia Structural Integrity, 18: 231-236. doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.158. ISSN: 2452-3216
6. Sedmak, S.A., Burzić, Z., Perković, S., Jovičić, R., Arandelović, M., Radović, Lj., Ilić, N. (2019), *Influence of Welded Joint Microstructures on Fatigue Behaviour of Specimens with a Notch in the Heat Affected Zone*, Engineering Failure Analysis, 106: 104162. doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.104162. ISSN: 1350-6307. IF = 2.897

Категорија M30

1. Ilić, I., Perković, S., Ilić, D., Bojanić, M., *Strength Analysis of Main Landing Gear Type Layered Composite Leaf Spring for Unmanned Aerial Vehicle*, OTEH 2012, 5th Int. Sci. Conf. on Defensive Technologies, Military Technical Institute, Belgrade, 18-19, September 2012, pp. 192-195, ISBN 978-86-8123-58-4.
2. Perković, S., Blažić, M., Boljanović, S., Vasović, I., Stefanović, V., *Determination of Crack Growth Trajectory: Experimental and Numerical Comparisons*, 4th Serbian (29th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, ICoSSM 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June 2013, pp. 377-382. ISBN: 978-86-909973-5-0
3. Ilić, I., Ilić, Lj., Perković, S., Blažić, M., *Strength Analysis of Composite Structural Elements for Unmanned Aerial Vehicle*, 4th Serbian (29th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June 2013, pp. 431-436. ISBN: 978-86-909973-5-0
4. Hrnjica, B., Islamović, F., Gačo, Dž., Manjgo, M., Perković, S., *Experimental Determination of Fracture Mechanics Parameters in Elastic-Plastic Conditions*, OTEH 2014, 6th Int. Sci. Conf. on Defensive Technologies, Belgrade, Serbia, 9-10 Oct. 2014. ISBN 978-86-81123-71-3.
5. Beganović, M., Perković, S., Islamović, F., Burzić, Z., Gačo, Dž., *The Impact of the Type and Mode of Glass Fibers Stacking on the Mechanical Properties of Composite Materials*, OTEH 2014, 6th Int. Sci. Conf. on Defensive Technologies, Belgrade, Serbia, 9-10 Oct. 2014. ISBN 978-86-81123-71-3.
6. Petronić, S., Burzić, M., Milovanović, D., Čolić, K., Perković, S., *Laser Peening of Laser Welded Nickel Based Superalloy Sheets*, Proc. of TEAM 2015 (7th Int. Sci. Expert Conf. of the Int. TEAM Society, 15-16 October 2015, Belgrade, Serbia. ISBN 978-86-7083-876-5
7. Burzić, I., Sobczak, L., Perković, S., Totovski, Lj., *Effect of the Thermal History on the Fracture Behavior of PLA*, Danube Vltava Sava Polymer Meeting – DVSPM 2017, Wien, 2017; ISBN: 978-3-9504017-6-9; S. OP-70
8. Burzić, Z., Burzić, M., Grabulov, V., Perković, S., Manjgo, M., *Fatigue of High Strength Steel Weldment in Pressure Vessels Application*, 9th Int. Sci.-Prof. Conf. - SBW 2017, Slavonski Brod, Croatia, 25-27 Oct. 2017.
9. Grabulov, V., Burzić, Z., Burzić, M., Perković, S., Manjgo, M., *Testing of Impact Properties of Welded Joints by Notched and Precracked Specimens*, 9th Int. Sci.-Prof. Conf. - SBW 2017, Slavonski Brod, Croatia, 25-27 Oct. 2017.

10. Marjanović, M., Simić, D., Perković, S., Galović, J., Burzić, Z., Tasić, A., Grga, S., *Analysis of Use of Carbon-Epoxy Composites Reinforced with Nano-Structures of Tungsten Disulfide for Aircraft Structures*, OTEH 2018, 8th Int. Sci. Conf. on Defensive Technologies, Belgrade, Serbia, 11-12 Oct. 2018. ISBN 978-86-81123-88-1.

Техничка решења

1. Степановић, З., Новакович, З., Медар, Н., Стевановић, Д., Перковић, С., Бојанић, М., Антонић, В., Систем лутке за испитивање падобрана, Војнотехнички институт, Београд, 2015.
2. Николић, М., Марјановић, А., Трајковски, И., Здравковић, М., Огњановић, О., Перковић, С., Велимировић, К., Антонић, В., Миленковић-Бабић, М., Пито-статички мерач брзине и висине, Војнотехнички институт, Београд, 2015.

Учешће у националним пројектима

Тренутно је ангажован на пројекту ТР 36050 „Истраживање и развој система беспилотних летелица у функцији надзора саобраћајне инфраструктуре“

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим истраживачким активностима кандидат је испољио квалитет, заинтересованост и стручност за научни и истраживачки рад. Публиковани и изложени радови у часописима и на конференцијама указују на смисао кандидата да се бави научним истраживањима. Досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидата су суштински повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације и квалификују кандидата за успешан и ефикасан теоријски и експериментални рад на предложеној теми.

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, научних и стручних активности, као и објављених радова, Комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљеви истраживања

Предмет докторске дисертације у основи је анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на процену интегритета и преосталог радног века заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика S32750, према UNS стандарду, или W.Nr. 1.4410, према EN стандарду. Ова врста материјала је превасходно намењена за високо одговорне динамички оптерећене конструкцијске елементе у хемијској и петрохемијској индустрији. Спада у ред најчешће употребљених супер дуплекс челика на светском тржишту. Поседује врло добру отпорност ка локализованој корозији и према појави прслина услед напонске корозије. Налази широку употребу у експлоатацији нафте и гаса, хидроелектранама, посудама под притиском, у производњи пулпе и папира, а у новије време значајну примену налази и у ваздухопловству, посебно код израде хидроинсталација.

По добијању резултата испитивања, уследиће анализа утицаја присуства грешака типа прслине, на понашање основног материјала и компонената завареног споја,

предвиђених за рад у условима деловања променљивог и ударног optereћeња, а све у циљу процене интегритета и преосталог века конструкције, односно ревитализације и продужења радног века.

Опште је познато да су машинске конструкције у експлоатацији доминантно изложене деловању променљивог optereћeња, а проблем се додатно усложњава присуством завареног споја и могућим и реално вероватним присуством грешака типа прслине. У случају постојања оштећења, потребно је прецизно проценити интегритет конструкције и донети одлуку о њеној даљој експлоатацији. Због тога је порастао значај процене интегритета и продужења радног века, као и ревитализације, као начина да се старије машинске конструкције задрже у експлоатацији.

У наставку се наводи део актуелних референци, помоћу којих се даје анализа до сада изведених испитивања ове врсте материјала, са аспекта експлоатационих и структурних карактеристика, које обухватају проблематику референтну за формулисање предмета и циљева ове докторске дисертације:

1. Do, Jae Yoon; Kim, Jin Hwan; Ahn, Seok Hwan; et al. (2002), *Fatigue crack propagation behavior and acoustic emission characteristics of the heat affected zone of super duplex stainless steel*, Journal of the Korean Institute of Metals and Materials, 40(9): 924-931. ISSN 0253-3847
2. Van Nassau, L., Meelker, H., Hilkes, J. (1994), *Welding of duplex and super-duplex stainless steels*, Souder, 18(4): 35-51. ISSN 0246-1900
3. Johansson, R., *Fatigue and Fracture Properties of Duplex Stainless Steels*, in: ASM Handbook Vol.19, Fatigue and Fracture, 1997,
4. Tavares, S.S.M., Silva, V.G., Pardal, J.M., Corte, J.S. (2013), *Investigation of stress corrosion cracks in a UNS S32750 superduplex stainless steel*, Engineering Failure Analysis, 35: 88-94. ISSN 1350-6307. doi: 10.1016/j.engfailanal.2012.12.013
5. Pereira, H.B., Panossian, Z., Baptista, I.P., de Farias Azevedo, C.R. (2019), *Investigation of stress corrosion cracking of austenitic, duplex and super duplex stainless steels under drop evaporation test using synthetic seawater*, Materials Research, 22(2): e20180211. ISSN 1516-1439. doi: 10.1590/1980-5373-mr-2018-0211
6. Cojocaru, E.M., Raducanu, D., Vintila, A.N., et al. (2020), *Influence of ageing treatment on microstructural and mechanical properties of a solution treated UNS S32750/EN 1.4410/F53 Super Duplex Stainless Steel (SDSS) alloy*, Journal of Materials Research and Technology, 9(4): 8592-8605. ISSN 2238-7854. doi: 10.1016/j.jmrt.2020.05.127
7. Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels, 3rd Ed. (2014), Published by the Int. Molybdenum Assoc. (IMOA), London, UK. ISBN 978-1-907470-09-7, p.68.
8. Lage, M.A., Assis, K.S., Mattos, O.R. (2015), *Hydrogen influence on fracture toughness of the weld metal in super duplex stainless steel (UNS S32750) welded with two different heat input*, Int. J Hydrogen Energy, 40(2015): 17000-17008. ISSN 0360-3199. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.150
9. Serafimov, S., Chavdarov, P. (2007), *Electron beam welding of superduplex stainless steel S32750*, Originally presented at the Stainless Steel World 2007 Conf., Maastricht, the Netherlands, p.24.
10. Gunn, R., Duplex Stainless Steels, 1st Ed. Microstructure, Properties and Applications, Woodhead Publishing, 1997, p.216, ISBN: 9781855733183
11. Johansson, J., *Residual stresses and fatigue in a duplex stainless steel*, Doctoral dissertation, Division of Eng. Mater., Dep. of Mech. Eng., Linkopings Universitet, Linkoping, Sweden, (1999) p.110.

12. Camerini, C., Sacramento, R., Areiza, M.C. (2015), *Eddy current techniques for super duplex stainless steel characterization*, J Magnetism and Magnetic Materials, 388(2015): 96-100. ISSN 0304-8853. doi: 10.1016/j.jmmm.2015.04.034
13. Li, J., Shen, W., Lin, P., et al. (2020), *Effect of solution treatment temperature on microstructural evolution, precipitation behavior, and comprehensive properties in UNS S32750 super duplex stainless steel*, Metals, 10(2020): 1481. ISSN 2075-4701. doi: 10.3390/met10111481
14. Kotecki, D.J. (2011), *Neke klopke pri zavarivanju dupleks nerđajućih čelika*, (prevod s engleskog), Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 2/2011, str. 63-69. ISSN 0354-7965
15. Karlsson, L. (2018), *Zavarivanje dupleks čelika- pregled sadašnjih preporuka*, (prevod s engleskog), Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 1/2018, str. 29-35. ISSN 0354-7965
16. Čabrilo, A., *Mehaničke osobine i brzina rasta zamorne prsline u zavarenom spoju pancirnog čelika*, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad (2018), str. 258.
17. Jegdić, B.V., Bobić, B.M. (2007), *Korozija zavarenih spojeva*, Integritet i vek konstrukcija, 7(2): 101-104. ISSN 1451-3749
18. Dimčić, B.D., Cvijović, Z.M., Radenković, G.M. (2003), *Stabilnost δ ferita u strukturi dupleks nerđajućih čelika*, XLI Savetovanje Srpskog hemijskog društva, Beograd, 2003. ISBN 86-7132-014-6
19. Tahchieva, A.B., Llorca-Isern, N., Cabrera, J.-M. (2019), *Duplex and superduplex stainless steels: microstructure and property evolution by surface modification processes*, Metals, 9 (2019): 347. ISSN 2075-4701. doi: 10.3390/met9030347
20. Gennari, C., Pezzato, L., Simonetto, E., et al. (2019), *Investigation of electroplastic effect on four grades of duplex stainless steels*, Materials, 12(2019): 1911. ISSN 1996-1944. doi: 10.3390/ma12121911
21. Gennari, C., Pezzato, L., Tarabotti, G., et al. (2020), *Influence of electropulsing treatments on mechanical properties of UNS S32750 duplex stainless steel*, Materials, 13(2020): 1613. ISSN 1996-1944. doi:10.3390/ma13071613

По правилу дуплекс нерђајући челици имају добру чврстоћу и отпорност према корозији. Њихова примена је порасла у индустрији услед захтева за дужим веком у тешким условима средине. Понашање заморног раста прсline у зони утицаја топлоте (ЗУТ) завареног споја је проучено у раду /1/. Аутори добијају много бржи раст прсline у ЗУТ код супер дуплекс челика у односу на основни материјал. Испитивање замора је обављено акустичном емисијом у режиму временске фреквенције.

Скуп технологија заваривања са обрадом комерцијалних означавања дуплекс или супер дуплекс челика, са аспекта металуршких особина (фазни дијаграми, микро-структура, садржај ферита, термичка обрада и старење) је обрађено у раду /2/.

Испитивања у условима температуре, напона, и средине са ниским рН, високим садржајем хлорида и H₂S, разарање супер дуплекс челика је могуће развојем прсline под утицајем средине, /4/. Узорци челика типа UNS S32750 су подвргнути критичним условима средине, са изазивањем прсline услед напонске корозије. Анализирани су резултати статичких испитивања затезањем и савијањем у 4 тачке у сличним условима, а добијене прсline показале су различито понашање параметара механике лома, што је допунски истражује оптичком и скенинг електронском микроскопијом. Механизми оштећења супер дуплекс челика зависе од средине (у овом случају H₂S), где се јавља водонична кртост, а и од методе испитивања, са изазивањем анодног растварања ферита при испитивању савијањем у 4 тачке у сличној средини.

Прсline услед напонске корозије код аустенитног нерђајућег челика UNS S31603, дуплекс нерђајућег челика UNS S32205 и супер дуплекс челика UNS S32750 су истражене

методом са капљицама синтетичке морске воде (DET - *drop evaporation test*, односно, испитивањем испарљивим капљицама), /5/. Овде дуплекс и супер дуплекс челици не показују склоност ка појави прслина услед напонске корозије при оптерећењу 50% напона течења. При највећем оптерећењу (100% напона течења), овај лом је присутан, транскристалним напредовањем прслина, а посебно код супер дуплекс челика, прслине напредују дуж фазне границе ферит/аустенит, премда је такође присутан и интеркрис-тални крти лом. Ово су важни аспекти лома везани за методе механике лома у линеарно еластичној области.

У раду /6/ се изучава утицај температуре и времена изотермског старења на микро-структуру и механичке особине растворно ојачаног UNS S32750 супер дуплекс нерђајућег челика (SDSS легуре). Испитивања су обављена методама SEM-EBSD микроскопијом (*Scanning Electron Microscopy - Electron Backscatter Diffraction*, односно, скенинг елек-тронска микроскопија - дифракцијом унатраг расејаних електрона), затезањем и ударним испитивањем. Анализиране су микроструктурне карактеристике (расподела и морфо-логија конституената, мапе расподеле модалне оријентације зрна) и добијене су механичке особине комерцијалне UNS S32750 SDSS легуре након термичких обрада старењем. Термичка обрада старењем не изазива промене у вези са морфологијом фаза, величином зрна и расподелом модалне оријентације зрна, а значајне промене настају у механичким особинама (затезна чврстоћа, конвенционални напон течења, и издужење при лому) услед издвајања секундарних фаза. Најутицајнија секундарна фаза је R-фаза, уочена код старења. Ово стање, у односу на стање после растварајућег жарења, показује смањење пластичности пре лома, као и пораст затезне чврстоће и напона течења. У раду /13/ се показује повећање удела ферита уз пад садржаја аустенита са порастом температуре растварајућег жарења. Ударна енергија и питинг потенцијал легуре UNS S32750 прво се побољшавају, а затим слабе, док се тврдоћа понаша супротно, услед комбинованих ефеката расподеле хемијских елемената, микроструктура и издвајања преципитата. Отпорност према корозији и механичке особине су директно повезане са уделом σ фазе. Пораст температуре изазива фазну трансформацију $\gamma \rightarrow \alpha$, а удели Cr и Mo који утичу на издвајање елемената опадају, чиме се смањују жилавост и отпорност према корозији, уз пораст тврдоће. Најповољнији однос α/γ код челика UNS S32750 је био 1:1, са најбољим постигнутим свим особинама. Ова истраживања дају увид у стање термички обрађеног челика пре било којих испитивања.

Микроструктура супер дуплекс нерђајућих челика се састоји из две фазе, феритне (α) и аустенитне (γ), чиме се истовремено побољшавају механичке особине и отпорност према корозији. Међутим, заваривање ових челика је критична операција, и стога се одређује жилавост лома испитивањем критичног отварања врха прслине (CTOD) у завареном споју (на пример, стандардима BS 7448-1 и BS 7448-2), са задатим уносом топлоте, на ваздуху, и у присуству водоника, /8/. Анализом микроструктуре се одређују релевантни аспекти (α/γ баланс, унутар-аустенитно међурастојање и γ морфологија), који се пореде са резултатима CTOD. До смањења CTOD долази због разлика у γ морфологији, а велико статистичко расипање аустенитних растојања указује на малу поузданост у примени појединих стандарда у присуству велике анизотропије. У овом раду се разма-трају најбољи приступи у процени параметара механике лома код дуплекс нерђајућих челика са унетим водоником: линеарно еластична механика лома и/или еластопластична механика лома.

Утицај параметара заваривања електронским снопом без примене додатног материјала на облик шави, микроструктуру, издвајање секундарних фаза код супер дуплекс челика је приказан са варирањем уноса топлоте и истраживањем насталих интерметалних фаза, /9/. Легуре типа SDSS по правилу задржавају своја својства после термичке обраде контролисаним растварајућим жарењем, чиме се одржава сличан удео δ

ферита и аустенита (γ). Сваки нови поступак термичке обраде или заваривања мења удео почетних фаза или доводи до појаве штетне фазе (на пр. σ) и тада, опадају својства отпорности према корозији, /12/. Овде су за испитивања, карактеризацију узорака и одређивање присуства σ и δ фаза показале поузданим примењене електромагнетне методе: конвенционална метода вртложних струја (*Eddy Current Testing - ECT*) и вртложним струјама ниске фреквенције са засићењем (*Saturated Low Frequency Eddy Current - SLOFEC*).

У раду /14/ се разматрају проблеми при заваривању услед непожељних особина зоне утицаја топлоте (ЗУТ), углавном везани за гранични садржај азота. Мали садржај азота успорава стварање аустенита у ЗУТ, што има за последицу превише ферита, таложене хром нитрида, лошу жилавост и лошу отпорност на корозију. Неодговарајућа количина топлоте при заваривању најчешће се појављује због захтева већег уноса топлоте. Као резултат, може се појавити талог хром нитрида и/или створити секундарни аустенит и/или се могу таложити интерметална једињења у металу шав, изложеном поновљеним термичким циклусима при вишеслојном заваривању. Опет је резултат лоша жилавост и лоша корозиона отпорност. Додатни материјал са вишком никла захтева више температуре да би се растворила сигма фаза, која настаје током загревања до температуре жарења. Резултат може бити врло крт шав са лошом корозионом отпорношћу.

Дуплекс нерђајући челици, током последње деценије, су проширени новим класама и високолегираним хипердуплексима, /15/. Већина препорука за заваривање је веома слична онима из деведесетих. Овај рад говори о најсавременијим трендовима у заваривању дуплекс нерђајућих челика и заснован је на искуствима светске заваривачке асоцијације, укључујући кориснике и произвођаче челика и потрошног материјала за заваривање, као и литературу. У већини случајева постоји консензус о препорукама, али разлике у пракси постоје, посебно за нове категорије челика где су границе за, на пр. дозвољени унос топлоте, мање документоване.

У раду /17/ су приказани најчешћи облици корозије заварених спојева: галванска, питинг, интеркристална и напонска корозија и водонична кртост. Описане су методе испитивања приказаних облика корозије заварених спојева и дати су поступци спречавања корозије заварених спојева, што је основ за разумевање утицаја корозије у општем случају. Појава метастабилног δ ферита у структури дуплекс нерђајућих челика може довести током загревања у производним и експлоатационим условима до издвајања низа секундарних фаза, што има за последицу хетерогенизацију структуре и погоршање својстава. Степен деградације материјала зависи од врсте и удела образованих секундарних фаза и посебан проблем представља издвајање σ фазе, која поред тога што драстично смањује корозиону постојаност доводи до појаве кртости. Зато је важно познавати температурну област стабилности секундарних фаза и кинетику њиховог образовања. У раду /18/ је учињен покушај да се утврди дејство полазног микроструктурног стања челика и параметара термичке обраде на процес разлагања δ ферита, као и међудејство разматраних фактора. Показало се да је δ ферит присутан у структури испитиваног челика термодинамички нестабилан и интензивно се разлаже на секундарни аустенит, $M_{23}C_6$ карбид и σ фазу, која је доминантна. Фактори највећег утицаја на издвајање σ фазе и $M_{23}C_6$ карбида нису исти. У случају σ фазе најутичајнији фактор је време, док издвајање карбида показује највећу зависност од полазног стања челика. Од могућих интеракција, највећи утицај на издвајање ове фазе показује садејство полазног стања и температуре загревања челика.

У раду /19/ дат је преглед површинских термохемијских обрада дуплекс и супер дуплекс нерђајућих челика дифузијом, посебно нитрирањем, у периоду од протеклих неколико година. Обрађена је оптимизација нитрирања у циљу побољшања механичких особина и отпорности према хабању, али не на уштрб антикорозивних особина.

У раду /20/ се пажња поклања ефекту електричне струје са Цуловом топлотом на деформацију метала, тзв. електропластични ефекат (ЕРЕ). Данас се овај ефекат користи код тзв. процеса са електричним асистираним обликовањем (ЕАФ), али разумевање овог феномена још увек није довољно разјашњено. Дуплекс нерђајући челици имају микроструктуру састављену из две фазе са врло различитом енергијом грешке у редоследу (SFE), где је ниска SFE за аустенит и висока SFE за ферит. Испитивања су обављена са разним вредностима густине струје при затезању, између осталог, и код челика UNS S32750. Резултати су показали пораст униформног издужења код испитивања електричном струјом у односу на топлоту, као и пораст укупног издужења, а да притом није дошло до промене у напону течења нити у затезној чврстоћи. Дата објашњења позитивних ефеката ЕРЕ доприносе у оправданој примени ове методе.

Рад /21/ је наставак истраживања у раду /20/, где се узорци челика UNS S32750 подвргавају електроимпулсној обради са већим густинама струје. Испитивања затезањем, корозије, рендгенском дифракцијом, микротврдоће и заосталих напона се обављају пре и после електроимпулсне обраде. Резултати показују пораст издужења и пад микротврдоће, чиме се ова метода може применити за умањење ефеката деформационог ојачавања, без потребе за термичком обрадом жарењем у одговарајућим пећима.

Докторска дисертација /11/ се односи на истраживање заосталих напона и њихов утицај на механичке особине дуплекс нерђајућих челика. Примењена је симулација методом коначних елемената за промене напона у једној фази са утицајем на еластичну и пластичну анизотропију појединих фаза, и то у условима цикличног оптерећења.

Докторска дисертација /16/ се односи на проблематику заваривања панцирног челика, због високог процента угљеника у основном материјалу, присуства грешака у виду прслина и пора, које настају у зони метала шава у току процеса заваривања. Прслина у металу шава, услед динамичког оптерећења, лако пропада према осетљивој линији стапања, након чега може наступити њен убрзани раст. Инструментираним ударним испитивањем на Шарпи „V“ епруветама се одређује иницирање и раст прслине. Динамичка ударна испитивања показују високу енергију за иницирање и пропагацију прслине у зонама метала шава и линије стапања. Због велике дуктилности у зони метала шава и у ЗУТ, жилавост лома се одређује преко вредности J_{IC} интеграла и мери се брзина раста прслине у свим подручјима. У зони метала шава се повећава отпорност на раст прслине јер при расту заморне прслине долази до трансформације меканог аустенита у мартензит. Због споре дифузије, задржани водоник у зони метала шава може имати штетан утицај и убрзати раст прслине у овој по затезним карактеристикама најслабијој зони.

Књига /3/ даје сажета основна сазнања о замору и лому дуплекс нерђајућих челика, док се у књизи /10/ даје преглед кључних радова са битних конференција о дуплекс нерђајућим челицима, одржаним у Глазгову (Glasgow) и у Бојну (Beaune) у првој половини деведесетих. Књига /7/ представља приручник за израду компонената од дуплекс нерђајућих челика. Дате су практичне информације за успешну примену ових материјала, уз претпоставку да корисници већ имају одређена искуства.

Као полазни податак о применљивости конструкцијских материјала и заварених спојева служе карактеристике, које се добијају затезним испитивањем (напон течења, затезна чврстоћа, издужење при лому), а оне су и основа за конструкцију делова. Ове карактеристике описују глобално механичко понашање материјала, које се добија испитивањем глатких епрувета. Допунски подаци о понашању материјала се добијају ударним испитивањем (енергија лома епрувете са зарезом). Она представља локално понашање материјала, условљено постојањем концентрације напона у виду зареза. Код

ударних испитивања могућност раздвајања укупне енергије удара на енергију стварања и енергију ширења прслине (лома) унела је нови приступ у процени понашања материјала.

За експлоатацијску сигурност конструкције, због појаве пластичне деформације на локалном нивоу, најважније су микромеханичке карактеристике, које описују појаву и раст прслина под утицајем променљивог оптерећења. Појаву заморних прслина на конструкцијски глатким и хомогеним облицима услед локалне концентрације напона на неизбежним конструкцијским прелазима и променама попречних пресека још увек није могуће описати неким једноставним зависностима оптерећења, напона, карактеристика материјала и величине попречног пресека, па се користе емпиријски изведене зависности, по правилу условљене обимним експерименталним и лабораторијским испитивањима.

Данас постоје две опште прихваћене методе за одређивање заморног века инжењерских конструкција. Традиционални, S-N приступ, коришћен већ дуги низ година, заснован је на експерименталном одређивању зависности амплитуде напона од броја циклуса до лома. Опште прихваћена карактеристика у том случају је заморна чврстоћа, која одређује ниво напона при коме не долази до појаве прслине. У складу са тим, пројектовање конструкцијских делова на основу могућег замора материјала засновано је на коришћењу заморне чврстоће и искуственим препорукама, изведеним из анализе отказа делова у експлоатацији и обимних испитивања. Појава заморне прслине условљава да се даље понашање материјала око врха прслине разматра на основу микромеханичког аспекта уместо глобалног аспекта, који је применљив на глатке и хомогене конструкцијске облике делова.

Други, новији и сложенији метод односи се на употребу параметара механике лома, заснована на различитим моделима заморног раста прслине и деловања импулсног оптерећења на материјал који у себи садржи грешку типа прслине. Једна од главних предности овог приступа је коришћење врло малих епрувета, и могућност одређивања преосталог века делимично поломљених комада или оштећене конструкције.

Први модел, заснован на линеарно еластичној механици лома (ЛЕМЛ), потиче од Парисовог рада из 1962. године, и још је у широкој примени. Парисов закон раста прслине, који успоставља зависност делујућег променљивог оптерећења, односно, његовог опсега и одговарајућег опсега фактора интензитета напона, и раста прслине по циклусу, је данас опште прихваћен, јер начелно описује микромеханичко понашање растуће прслине. Међутим, велики број утицајних фактора микромеханичког аспекта чини закон Париса недовољно детаљним, што је довело до развоја великог броја зависности, углавном искуственим проширењем Парисове једначине. Ово указује на то да микромеханички аспект понашања материјала, односно иницијација и раст прслине, још увек нису потпуно проучени. Томе у прилог говори и микромеханичка карактеристика материјала, названа праг замора, чијом се величином описује ниво опсега оптерећења, односно, опсега фактора интензитета напона, при којем нема раста постојеће прслине. Ова карактеристика указује на подручје у којем закон Париса не важи, па тада треба тражити друге зависности у оквиру микромеханичког аспекта, с обзиром да сингуларитет на врху прслине већ постоји.

Други, савременији модел спада у категорију еластопластичне механике лома (ЕПМЛ) где се суштина испитивања материјала заснива на одређивању енергије удара. Та метода је у данашњој примени, добила нове прилазе и нове погледе и размишљања. При одређивању енергије удара, као нови прилаз се појављује инструментирање, а нови погледи и размишљања припадају механици лома, односно, деловању импулсног (ударног) оптерећења на материјал, који у себи садржи грешку типа прслине.

Прикупљена сазнања о расту заморне прслине би омогућила да се са довољном сигурношћу, утврди преостали век компоненте са прслином и на тај начин процени да ли компонента може да ради до следеће контроле. У складу са тим, чак и најодговорније

компоненте се не замењују пре него што се редовним контролама открију прслине или сличне грешке.

Значај ових истраживања посебно добија на тежини имајући на уму актуелне трендове ревитализације заварених конструкција, а о чему данас пише више еминентних научних радника из Европе и света. Због тога се у новије време велика пажња поклања испитивањима материјала намењених за рад у условима деловања променљивог и ударног оптерећења, испитивању самих конструкција, а све у циљу процене интегритета и преосталог века коришћења.

Основни научни циљ истраживања у оквиру ове дисертације је да се на основу извршених механичко експлоатацијских испитивања, а пре свега ударним испитивањима епрувета са прслином, коришћењем тзв. “Crack Intensity” методе, изврши избор критеријума прихватљивости грешака у основном материјалу и компонентама завареног споја, што представља основни услов за поуздану процену интегритета и преосталог века заварене челичне конструкције у току експлоатације. На основу добијених резултата испитивања биће анализиран утицај експлоатационих услова на понашање основног материјала и завареног споја супер дуплекс челика, при деловању променљивог и ударног оптерећења, и дат практичан допринос побољшању квалитета заварених спојева, а све у циљу ревитализације и продужења радног века виталних компонената заварених конструкција.

3. Полазне хипотезе

За савремене заварене конструкције постављају се све строжији захтеви у погледу нивоа сигурности у експлоатацији и отпорности према лому, нарочито код високолегираних челика у који спада и супер дуплекс челик W.Nr. 1.4410. За развој нових, али и за безбедну експлоатацију постојећих заварених конструкција, неопходно је знати њихово понашање у зони концентрације напона (заварени спој је највећа концентracија напона на завареној конструкцији), као и у присуству грешке типа прслине.

Основна хипотеза од које се полази у предлогу дисертације је да код заварених конструкција израђених од високолегираних челика изложених променљивом и ударном оптерећењу, проблеми у експлоатацији се по правилу јављају у завареним спојевима, односно, у компонентама заварених спојева, металу шава (МШ) и зони утицаја топлоте (ЗУТ). Анализу оваквог проблема отежава хетерогеност структурних и механичких особина појединих подручја заварених спојева и њихово понашање у експлоатацији. Ови проблеми намећу да се да одговор, у каквом је стању основни материјал компоненте завареног споја и сама конструкција након дугогодишње експлоатације, и да ли је на основу обимних експерименталних истраживања могуће дати процедуру којом се може извршити процена интегритета и преосталог века коришћења заварене конструкције, намењене за рад у условима деловања променљивог и ударног оптерећења.

Да би се до решења дошло постављају се следеће хипотезе:

- Освајањем “Crack Intensity” методе, за одређивање параметара механике лома ударним испитивањем малих епрувета са прслином, као што су критични фактор интензитета напона и раст заморне прслине da/dN , могу да се примене на анализу понашања заварених компонената изложених експлоатационим условима, и да је могуће применити ове изразе при процени интегритета заварених конструкција.
- Могуће је поставити методолошке основе за израду и оцену интегритета заварених конструкција израђених од супер дуплекс челика W.Nr. 1.4410. Добијени експериментални резултати истраживања у оквиру овог рада могу се практично применити и постати солидна основа за израду и експлоатацију заварених

конструкција, првенствено намењених за експлоатацију у условима деловања променљивог и ударног оптерећења.

- Да би се обезбедила сигурност заварених компонената, потребно је разјаснити њихово понашање у присуству грешке типа прслине (брзина раста заморне прслине da/dN , и праг замора ΔK_{th}), као и понашање при деловању ударног (импулсног) оптерећења на делове који у себи садрже концентрацију напона типа зарез. Проблем деловања променљивог и импулсног оптерећења у присуству грешке типа прслине треба разматрати са теоријског и експерименталног аспекта, имајући у виду велики број истовремено делујућих фактора. Познавање ових карактеристика материјала и компонената завареног споја, треба да као коначно решење, да већу сигурност од појаве лома, као и мању масу уграђеног материјала у конструкцију.

Познавање статичких и динамичких параметара механике лома, односно, могућности примене параметара прслине у оцени интегритета заварене конструкције, у коначној варијанти треба да омогући дефинисање оптималних параметара као што су избор одговарајућег материјала и технологије заваривања за израду нових заварених конструкција.

На основу представљеног предмета, циља, као и метода истраживања и испитивања, очекује се да основни допринос ове дисертације буде у освајању и увођењу нове методе одређивања параметара механике лома (*Crack Intensity* методе), имплементацији изведених истраживања, као и у дефинисању основних параметара и критеријума прихватљивости, који ће омогућити сигурност у експлоатацији заварених конструкција за рад у условима деловања променљивог и ударног оптерећења.

4. Научне методе истраживања

Основне методе у току истраживања односе се на теоријске, нумеричке и експерименталне, где је предвиђено истраживање утицаја деловања променљивог и ударног оптерећења на промену механичко-експлоатацијских и структурних својстава основног материјала и компонената завареног споја, израђеног од супер дуплекс челика W.Nr. 1.4410.

Полазна основа за ове методе истраживања су већ постојећи поступци за процену интегритета и преосталог века конструкције, који ће се допунити експлоатационим испитивањима, а све у циљу ревитализације и продужења радног века виталних компонената заварених машинских конструкција израђених од дуплекс челика.

Посебно треба истаћи освајање и увођење најновије “Crack Intensity” методе за одређивање параметара механике лома ударним испитивањем малих епрувета са прслином, што треба да буде и један од основних циљева ове дисертације.

5. План истраживања и структура рада

Експериментално нумеричка анализа процене интегритета и преосталог века заварене челичне конструкције од супер дуплекс челика би се радила кроз следеће фазе:

1. Испитивања параметара основног материјала (ОМ), компонената завареног споја (метала шави -МШ и зоне утицаја топлоте -ЗУТ), као и самог завареног споја у целини, израђеног од супер дуплекс челика W.Nr. 1.4410:
 - макро и микроструктуре,
 - тврдоће,

- затезних карактеристика,
 - ударних карактеристика на инструментираном Шарпијевом клатну, са раздвајањем укупне енергије удара на енергију стварања и енергију ширења прслине,
 - одређивање прелазне температуре, односно, температуре нулте пластичности основног материјала и компонената завареног споја,
 - параметара механике лома, коришћењем „Crack Intensity“ методе ударним испитивањем малих епрувета са прслином,
 - параметара раста заморне прслине.
2. Дефинисање критичних места у експлоатацији заварене челичне конструкције применом методе коначних елемената (МКЕ).

За потребе експерименталних истраживања ће бити урађен велики број стандардних епрувета са циљем да се дефинишу основне карактеристике испитиваног материјала и завареног споја. Епрувете ће бити дефинисане на основу важећих стандарда понаособ за свако испитивање.

6. Очекивани научни допринос

С обзиром да важећи прописи и стандарди не дефинишу у довољној мери поступак оцене интегритета заварених конструкција и продужења века експлоатације. На основу представљеног програма, метода истраживања и испитивања очекује се допринос у науци и техници у имплементацији изведених истраживања, као и у дефинисању основних параметара и критеријума прихватљивости, који ће омогућити сигурност у експлоатацији у погледу оштећења заварених конструкција израђених од супер дуплекс челика W.Nr. 1.4410.

Дефинисање критеријума прихватљивости грешака у различитим облицима завареног споја, имајући у виду истовремено деловање више фактора (концентрација напона, статичко оптерећење, нискоциклични замор) представља основни услов за поуздано пројектовање, израду и испитивање заварених конструкција у експлоатацији. Посебан допринос треба да буде освајање и увођење најновије “Crack Intensity” методе за одређивање параметара механике лома ударним испитивањем малих епрувета са прслином.

7. Закључак и предлог

Анализом релевантних података из пријаве теме кандидата Срђе Перковића, дипл. инж. маш., студента Докторских студија, Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је кандидат успешно положио све испите предвиђене Планом усавршавања и објавио значајан број научних радова, чиме испуњава све предвиђене услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета и да има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Предложена тема, сходно предмету и циљевима, полазним хипотезама, методама истраживања и очекиваним научним доприносима, представља недовољно истражену област и може да се реализује као успешна докторска дисертација. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату Срђи Перковић, маг. инж. маш., студенту докторских студија, одобри израда докторске дисертације под називом

„Анализа утицаја променљивог и ударног оптерећења на понашање заварених челичних конструкција израђених од супер дуплекс челика“

Тема припада научној области техничких наука – машинство, ужој научној области - Заваривање и заварене конструкције, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. За ментора током израде докторске дисертације предлаже се др Зоран Радаковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 9.03.2021. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Др Александар Грбовић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Др Ивица Чамагић, ванр. проф.,
Факултет техничких наука Универзитета у Приштини,
са привременим седиштем у Косовској Митровици

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Зоран Радаковић

Звање: редовни професор _____

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Nejkić, V.M., Milićević, M.S., Radaković, Z. (2018), Temperature distribution in thermal processes, *Welding in the World*, ISSN 0043-2288. doi: 10.1007/s40194-018-0672-9. IF2018 = 1.482
2. Džindo E., Sedmak S.A., Radaković Z., Cvetković I., Crack growth resistance of weldment constituents, *Procedia Structural Integrity* (2018), Vol.13, pp.420-423, doi:10.1016/j.prostr.2018.12.070, ISSN 2452-3216.
3. Aburuga T., Sedmak A., Radaković Z., Numerical aspects for efficient welding computational mechanics, *Thermal Science* (2013), Vol.18, Issue suppl.1, pp.139-148, doi:10.2298/TSCI130227180A, ISSN 0354-9836. IF2013=0.962
4. Lazić V., Ivanović I., Sedmak A., Rudolf R., Lazić M., Radaković Z., Numerical analysis of temperature field during hardfacing process and comparison with experimental results, *Thermal Science* (2014), Vol.18, pp.113-120, doi:10.2298/TSCI130117177L, ISSN 0354-9836. IF2014 = 1.222
5. Kalaba D., Radaković Z., Đorđević M., Kirin S., Determining the theoretical reliability function of thermal power system using simple and complex Weibull distribution, *Thermal Science* (2014), Vol.18, Issue suppl.1, pp.229-238, doi:10.2298/TSCI120611168K, ISSN 0354-9836. IF2014 = 1.222

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
