

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Образац 1.

956/6
(Број захтева)

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

03.07.2014.
(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

УНАПРЕЂЕЊЕ НЕЛИНЕАРНОГ ИЗОТРОПНОГ МАТЕРИЈАЛНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОРАЧУНЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ДРАГАН (Симеун) МАРИНКОВИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд

3. Година дипломирања: 1983.

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 03.07.2014.
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

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: 956/5
Датум: 03.07.2014. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Драгана Маринковића, дипл.инж.маш., бр. 956/1 од 05.05.2014. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Бошко Рашуо, проф.др Мирко Динуловић и проф.др Милорад Зрилић, ТМФ Београд, број 956/4 од 30.06.2014. године, а на основу чл. 30 Закона о високом образовању и чл. 30 Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 03.07.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«УНАПРЕЂЕЊЕ НЕЛИНЕАРНОГ ИЗОТРОПНОГ МАТЕРИЈАЛНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОРАЧУНЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА»** докторанта **ДРАГАНА МАРИНКОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту Драгану Маринковићу, именује се **проф.др Бошко Рашуо**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Драгана С. Маринковића**, дипл. маш. инж., студента докторских студија, за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 22. 05. 2014. године, бр. 956/3, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Драгана С. Маринковића, дипл. маш. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом: **„УНАПРЕЂЕЊЕ НЕЛИНЕАРНОГ ИЗОТРОПНОГ МАТЕРИЈАЛНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОРАЧУНЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА“**. Драган С. Маринковић је поднео захтев за израду дисертације под наведеним насловом 05. 05. 2014. године који је заведена под бројем: 956/1. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Драган Маринковић, дипл. инж. је рођен 24.10.1953. године у Дљину, Србија. Основну школу завршио је у Београду а машинску техничку школу у Чачку. Машински факултет Универзитета у Београду уписао је школске 1972./1973. године, где је и дипломирао на катедри за Аерокосмотехнику 1983. године.

Радну каријеру започео је у фабрици авиона Утва из Панчева септембра 1983. да би следеће године преашао у фабрику авиона и једрилица Јастреб у Вршцу. У периоду од 1986. до фебруара 2002. ради у Ваздухопловнотехничком институту у Жаркову као истраживач у одељењу прорачуна чврстоће. Од фебруара 2002. ради као инжењер прорачуна чврстоће широм Европе на великим међународним пројектима авиона компанија: Dornier, Dassault и Airbus. Неколико задњих година узима учешће на пројектима сателита Европске Свемирске Агенције ESA. Живи у Београду са супругом Весном.

Прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2012/2013. године. Након положених свих испита и испуњених свих осталих обавеза предвиђених Планом и програмом докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, као и Програмом усавршавања договореним са потенцијалним ментором, 05. маја 2014. године Комисији за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду поднео је захтев за пријаву докторске дисертације под радним називом „Унапређење нелинеарног изотропног материјалног модела за прорачуне применом методе коначних елемената“.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Током докторских студија кандидат је положио све испите предвиђене Планом и програмом докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду за прву и другу годину студија и искористио је право на додатних 30 бодова из 3. године студија. Преглед свих положених испита може се видети у наредној табели.

Шифра	Назив предмета	Наставник	ЕСПБ	Оцена
1.1.5	Виши курс математике	проф. др С. Радојевић	5	10 (десет)
1.2.5	Нумеричке методе	проф. др М. Спалевић	5	9 (девет)
1.3.5	ОМНИР и комуникација	проф. др М. Недељковић	5	10 (десет)
1.4.5	Бионика	проф. др Б. Рашуо	5	10 (десет)
1.5.10	Истраживање и публикување-I	проф. др Б. Рашуо	10	10 (десет)
2.1.5	Одабрана поглавља из механике	проф. др З. Митровић	5	9 (девет)
2.2.5	Динамика лета	проф. др Б. Рашуо	5	10 (десет)
2.3.5	Одабрана поглавља из структуралне анализе летилица	проф. др М. Динуловић	5	10 (десет)
2.4.15	Истраживање и публикување-II	проф. др Б. Рашуо	15	10 (десет)
3.1.5	Оптимизација аеродинамичких облика	проф. др А. Бенгин	5	10 (десет)
3.2.5	Технологија производње летелица	проф. др Б. Рашуо	5	10 (десет)
3.3.20	Истраживање и публикување-III	проф. др Б. Рашуо	20	10 (десет)
4.1.8	Истраживање и публикување-IV	проф. др Б. Рашуо	8	10 (десет)
4.2.22	Пројекат идеје докторске дисертације	проф. др Б. Рашуо	22	10 (десет)
5.1.10	Рад на тексту дисертације	проф. др Б. Рашуо	10	10 (десет)
5.2.20	Истраживање и публикување-V	проф. др Б. Рашуо	20	10 (десет)

Кандидат је током студија по наставном плану и програму урадио и пет истраживања у лабораторијама према следећем програму:

1.5.10 Истраживање и публикување-I (Лабораторија)

Назив истраживања: Испитивање чврстоће помоћног окова споилера број 2 авиона Аирбус А380 израђеног од висококвалитетне легуре алуминијума 7010-T7451.

Место: Static Test Laboratory - Patria Finavicom Oy, Halli, Finland.

Време: Истраживања су урађена у јуну 2005. године а објављена 30.09.2005. године.

2.4.15 Истраживање и публикување-II (Лабораторија)

Назив истраживања: Упоредно испитивање основних карактеристика материјала стандардних епрувета, конвенционалном и неконвенционалном методом, израђених од висококвалитетне легуре алуминијума 7075-T7351.

Место: Технолошко-Металуршки факултет Универзитета у Београду, Београд.

Време: Истраживање је обављено у септембру 2013. године.

3.3.20 Истраживање и публикување-III (Лабораторија)

Назив истраживања: Испитивање основних карактеристика материјала коришћењем специјалних епрувета, неконвенционалном методом, израђених од висококвалитетне легуре алуминијума 7075-T7351.

Место: Технолошко-Металуршки факултет Универзитета у Београду, Београд.

Време: Истраживање је обављено у децембру 2013. године.

4.1.8 Истраживање и публикување-IV (Лабораторија)

Назив истраживања: Испитивање епрувета изложених комплексном напонском стању, израђених од висококвалитетне легуре алуминијума 7075-T7351, у циљу верификације прорачуна применом методе коначних елемената (МКЕ).

Место: Технолошко-Металуршки факултет Универзитета у Београду, Београд.

Време: Истраживање је обављено у јануару 2014. године.

5.2.20 Истраживање и публикување-V (Лабораторија)

Назив истраживања: Додатна испитивање епрувета изложених комплексном напонском стању, израђених од висококвалитетне легуре алуминијума 7075-T7351, у циљу верификације прорачуна применом методе коначних елемената (МКЕ).

Место: Технолошко-Металуршки факултет Универзитета у Београду, Београд.

Време: Истраживање је обављено од марта до јуна 2014. године.

Основна област рада кандидата током докторских студија као и током рада на неким од пројеката, уваженог произвођача ваздухоплова - Airbus, била је експериментално испитивање механичких карактеристика висококвалитетних легура материјала примењених у ваздухопловним структурама у циљу проналажења начина за претстављање криве напон - релативна деформација (σ, ϵ), која би у прорачуна применом МКЕ повећала тачност прорачуна лома структуре под дејством статичког или квазистатичког оптерећења као и понашања материјала у области великих пластичних деформација.

Аутор је више научних студија и радова објављених у часописима и на међународним конференцијама, као и већег броја научних и стручних пројеката, највећим делом, из ваздухопловства и свемирске технологије. У области пројектовања применом рачунара користио је напредне софтверске пакете: AutoCAD, Catia, I-DEAS, Fluent, Femap, Patran, Nastran итд. који је често надграђивао програмима писаним језицима Fortran и PCL.

У току свог научноистраживачког рада кандидат је објавио следеће радове:

Радови кандидата објављени у научним часописима:

1. **Драган Маринковић**, Бошко Рашуо, Изотропни материјални модели у прорачунима применом методе коначних елемената, Техника, Година LXVIII, бр. 6, 2014, прихваћен за штампу, стране 1-6.

Радови објављени на међународним конференцијама:

2. Zijah Burzić, Milorad Zrilić, Miodrag Obradović, **Dragan Marinković**, Experimental monitoring of deformation and stress state in exploitation with excavator, IBR 2002: Evropski trendovi - Primena u eksploataciji, Tara, 25 - 29. 11. 2002., pp 219-225,
3. Zijah Burzić, Milorad Zrilić, Miodrag Obradović, **Dragan Marinković**, Construction structural integrity evaluation rotor excavator after repair, The 4th International Scientific Conference of Producing Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF PRODUCTION RIM 2003, Bihać, pp 93-98.

Научне студије:

1. **Драган Маринковић**, „О Галоа групама“, Машински факултет Универзитета у Београду, 01, 04, 2013, стр. 1-25,

2. **Драган Маринковић**, „Грешке у одређивању параметара Ramberg-Osgood криве“, Машински факултет Универзитета у Београду, 07, 04, 2013, стр. 1-11,
3. **Драган Маринковић**, „Парцијалне диференцијалне једначине“, Машински факултет Универзитета у Београду, 14, 04, 2013, стр. 1-7,
4. **Драган Маринковић**, „Програм за одређивање параметара Ramberg-Osgood криве“, Машински факултет Универзитета у Београду, 22, 04, 2013, стр. 1-16.

Научни и стручни пројекти:

5. **D.Marinkovic i drugi**, „Projektovanje sistema hlađenja motora AEIO L1B5D aviona Lasta“, Fabrika Aviona Utva, Pančevo, Jugoslavija, 1983,
6. **D.Marinkovic i drugi**, „Projektovanje sistema za hlađenje ulja motora AEIO L1B5D aviona Lasta“, Fabrika Aviona Utva, Pančevo, Jugoslavija, 1984,
7. **D.Marinkovic T. Dragović**, „Modifikacija konstrukcije krmila pravca jedrilice Vuk-T“, Fabrika Aviona i Jedrilica Jastreb, Vršac, Jugoslavija, 1985,
8. **D.Marinkovic**, „Proračun čvrstoće konstrukcije trupa i unutrašnjeg krila bespilotne letilice BL“, Vazduhoplovnotehnički Institut, Žarkovo, Jugoslavija, 1989,
9. **D.Marinkovic**, „Proračun čvrstoće glavnog stajnog trapa kompozitne konstrukcije bespilotne letilice BL2“, Vazduhoplovnotehnički Institut, Žarkovo, Jugoslavija, 1991,
10. **D.Marinkovic**, „Proračun čvrstoće rotirajućih delova (prvi stepen kompresora i turbina) mikro-turbo-mlaznog motora TMM20“, Jet Propulsion Laboratory, Bubanj Potok, Jugoslavija, 1996,
11. **D.Marinkovic**, „Post-buckling analiza vertikalnog stabilizatora aviona Lasta 95 primenom metode konačnih elemenata“, Vazduhoplovnotehnički Institut, Žarkovo, Jugoslavija, 1999,
12. **D.Marinkovic**, „Proračun čvrstoće krilca aviona Lasta 95“, Vazduhoplovnotehnički Institut, Žarkovo, Jugoslavija, 2000,
13. **D.Marinkovic**, Dornier 728JET „Rear Fuselage Aft Pressure Dome Structure - Buckling stability analysis under negative pressure“ SJR7A535-92503, Issue 1, Fairchild-Dornier, Munich, Germany, 01.03.2002,
14. **D.Marinkovic**, Dornier 728JET „Standard Floor Beam Stability Analysis“ FEM7A532-92254, Issue A, Fairchild-Dornier, Munich, Germany, 03.05.2002,
15. **D.Marinkovic**, Dassault Falcon 7X „Side Nacelle FE Model Description and Validation Vol. 2 - Fan Cowl Doors“ MHD7X1004, Issue 02, AerMacchi, Varese, Italy, 23.05.2003,
16. **D.Marinkovic G.Zarbo**, Dassault Falcon 7X „Static Analysis Report - Fan Cowl Doors“ MHD7X1401, Issue 04, AerMacchi, Varese, Italy, 23.07.2003,
17. **D.Marinkovic**, Airbus A319 CJ „Interior Panels - Static stress Report A319 CJ / Associated Air Center Aravak“ SSR-D-25-2563, Issue 03, Airbus – Aircabin, Laupheim, Germany, 06.03.2004, pp 1-61,
18. **D.Marinkovic**, Airbus A320 CJ „Interior Panels - Static stress Report A320 CJ / Sogerma-NAS“ SSR-D-25-2751, Issue 03, Airbus – Aircabin, Laupheim, Germany, 12.08.2004, pp 1-63,
19. **D.Marinkovic T.Ross**, Airbus A380 „A380 Spoiler Project MSN1 SP4 Stress Dossier“ PFC-AX-AR-0170, Issue 1, Patria Finavicom Oy, Tampere, Finland, 25.01.2005,

20. **D.Marinkovic** M.Johnson, Airbus A380 „A380 Spoiler Project MSN1 SP6 Stress Dossier“ PFC-AX-AR-0175, Issue 1, Patria Finavicom Oy, Tampere, Finland, 31.10.2005,
21. **D.Marinkovic**, Airbus A380 „A380 FLE BATHTUB - RIB 2 stress report“ 23574112-L021BRP050851-8, Issue 1.0, EADS, Munich, Germany, 1 Dec 2006,
22. **D.Marinkovic**, Airbus A380 „A380 SRM ALLOWABLE DAMAGE JUSTIFICATION REPORT - RIB 2“ L57D5N000140198, Issue 2.0, EADS, Munich, Germany, 26 Jan 2007,
23. **D.Marinkovic**, Airbus A380 „A380 SRM ALLOWABLE DAMAGE - SUBSPAR“, R-L-574-M-0054, Issue 1.0, EADS, Munich, Germany, 28 Feb 2007,
24. **D.Marinkovic**, Airbus A380 „A380 FLE BATHTUB - RIB 1 stress report“ 23574112-L021BRP050850-8, Issue 1.0, EADS, Augsburg, Germany, 13 Mar 2008,
25. **D.Marinkovic**, Airbus A350 „Design concept study of the A350 Rear Pressure Bulkhead and supporting structures“, Premium-Aerotec, Augsburg, Germany, Apr 2009,
26. **D.Marinkovic**, Sentinel-3 Satellite „SLSTR SLOSU - Structural Analysis Report“, S3-AN-JOP-SL-31010, Issue 02, Jena-Optronik, Jena, Germany, 26.09.2009, pp 1-28,
27. **D.Marinkovic**, BepiColombo Satellite „Auxiliary fuel tank - Structural Analysis Report“, Issue 01, MT Aerospace, Augsburg, Germany, 10.2010,
28. **D.Marinkovic**, HR EOS Satellite „Propellant tank - Structural Analysis Report“, Issue 01, MT Aerospace, Augsburg, Germany, 02.2011,
29. **D.Marinkovic**, Airbus A400M „A400M RF PARATROOPER DOOR AIR DEFLECTOR“, M53RP1000504J, Issue 1.0, Premium-Aerotec, Augsburg, Germany, 3 Feb 2012,
30. **D.Marinkovic**, Airbus A400M „A400M REAR FUSELAGE STIFFENED PANELS AND JOINTS“, M53RP1000489J, Issue 1.0, Premium-Aerotec, Augsburg, Germany, 18 Feb 2012,
31. **D.Marinkovic**, „LiQuaRD Scankopf (scanning unit) - Structural Analysis Report“, Issue 01, Jena-Optronik, Jena, Germany, 11.2012,
32. **D.Marinkovic**, „LiQuaRD Scankopf (recording box) - Structural Analysis Report“, Issue 01, Jena-Optronik, Jena, Germany, 07.2013,
33. **D.Marinkovic**, „LiQuaRD Scankopf (electronic box) - Structural Analysis Report“, Issue 01, Jena-Optronik, Jena, Germany, 07.2013,
34. **D.Marinkovic**, Sentinel-4 Satellite „UVN Instrument - Mechanical Mathematical Model and Description of Optical Instrument Module“, GS4-KTH-UVN-OIMS-RP-0005, Issue 02, Kayser Threde, Munich, Germany, 27.02.2014, pp 1-36.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа изузетних резултата досадашњег научног и стручног рада и остварених резултата оцењујемо да је кандидат Драган С. Маринковић, дипл. инж. маш. способан и подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Развојем компјутерске технологије уводе се нумеричке методе и у прорачуне ваздухопловних конструкција где методе коначних елемената (МКЕ) постаје не заобилазна.

Она укључује и нелинеарност изотропних материјала, попут легура метала коришћених у ваздухопловним конструкцијама, најчешће претстављена кривом материјала напон - релативна деформација (σ, ϵ) добијеном конвенционалним испитивањем епрувета материјала једноосним истезањем. Ради побољшања тачности прорачуна, тзв. „инжењерска крива“ материјала, која не узима у обзир контракцију попречног пресека епрувете, замењена је „true stress - true strain“ кривом материјала. Ова крива је то кориговала све до момента кад на тестираној епрувети почне да се јавља локално сужење попречног пресека; додатна нелинеарност изражена у промени попречног пресека по дужини епрувете, које одговара достизању максималне силе истезања епрувете дефинисане на тест кривој сила - издужење, што се у прорачунима применом МКЕ узима као лом структуре. Но ако погледамо тест криву материјала: сила - издужење, која практично представља деформациону енергију епрувете, уочљиво је да је део криве од достизања максималне силе до лома значајан, те ако би се на погодан начин за прорачуне применом МКЕ узео у обзир, то би побољшало тачност прорачуна лома структуре елиминишући конзервативност до сада коришћених материјалних модела.

Циљ ове тезе је да истражи могућност повећања тачности прорачуна чврстоће металних ваздухопловних конструкција до лома структуре прилагођавањем улазних податка материјала; криве напон - релативна деформација (σ, ϵ), на начин погодан за прорачуне применом МКЕ, која би се одредила неконвенционалним лабораторијским тестом.

- За потребе испитивања биће анализирани постојећи материјални модели коришћени у прорачунима применом МКЕ на основу чега ће се дефинисати захтеви за материјални модел који би омогућио превазилажење слабости постојећих материјалних модела и који ће довести до унапређења тачности резултата прорачуна применом методе МКЕ.
- У следећој фази истраживања, базирано на претходно дефинисаним захтевима за унапређени нови материјални модел, дефинисаће се техника мерења којом се ти захтеви могу остварити са анализом тачности методе мерења. Биће одабран материјал за израду епрувета који својим особинама претставља што је могуће општији тип, а за који постоји инжењерски интерес за такву врсту комплексног прорачуна. Лабораторијско испитивање епрувета једноосним истезањем на стандардним епруветама ће се обавити на начин да се истовремено прикупе подаци мерења за обе методе; стандардну и нову, унапређену, како би се могла извести поређења.
- Основна верификација исправности предложеног материјалног модела биће урађена уношењем карактеристике материјала добијених овим мерењима у МКЕ саме епрувете. За нелинеарну статичку анализу епрувете изложене једноосном истежућем оптерећењу до лома ће се користити најраспрострањенији комерцијални програм МКЕ: MSC/Nastran користећи при том и параметар за геометријску нелинеарност како би и овај, довољно значајан, ефекат био обухваћен у поређењу са лабораторијским испитивањем.
- У следећој фази ће се приступити дефинисању епрувете од истог материјала са комплекснијим напонским стањем од оног код стандардне једноосне истежуће епрувете коришћене претходно за добијање основних карактеристика материјала. Епрувета ће бити лабораторијски испитана до лома па ће се извршити поређење са резултатима анализе применом МКЕ како би се предложени материјални модел верификовао за примену у реалним металним ваздухопловним конструкцијама изложеним комплексном напонском стању.

- У финалној фази истраживања анализираће се могућности за унапређења у домену технике лабораторијских мерења претстављеног материјалног модела с' обзиром на развој, овде примењених, оптичких метода мерења. Биће предложен нови облик епрувете за испитивање карактеристика металних материјала овом методом, који ће побољшати ефикасност мерења у односу на претходно коришћене стандардне епрувете, што ће бити потврђено и лабораторијски испитивањем ових епрувета. Анализираће се и могућност унапређења обраде резултата мерења што ће довести до добијања квалитетних резултата мерења у реалном времену, непосредно по завршетку лабораторијских мерења.

Релевантни библиографски извори и резултати на које се надовазују истраживања из ове тезе:

1. Wei Qin Shen and Norman Jones, *Uniaxial true stress-true strain curve for a ductile metal*, Nuclear Engineering and Design, Volume 140, Issue 2, May 1993, Pages 153-158.
2. H. Hoffmann, C. Vogl, *Determination of True Stress-Strain-Curves and Normal Anisotropy in Tensile Tests with Optical Strain Measurement*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 1, 2003, Pages 217-220.
3. G. Mirone, D. Corallo, *Stress-strain and ductile fracture characterization of an X100 anisotropic steel: Experiments and modelling*, Engineering Fracture Mechanics, Volume 102, April 2013, Pages 118-145.
4. Sören Ehlers, Petri Varsta, *Strain and stress relation for non-linear finite element simulations*, Thin-Walled Structures, Volume 47, Issue 11, November 2009, Pages 1203-1217.
5. Fu-Pen Chiang, *Super-resolution digital speckle photography for micro/nano measurements*, Optics and Lasers in Engineering, Volume 47, Issue 2, February 2009, Pages 274-279.
6. Stijn Hertelé, Wim De Waele, Rudi Denys, Matthias Verstraete, *Full-range stress-strain behaviour of contemporary pipeline steels: Part I. Model description*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 92, April 2012, Pages 34-40.
7. Stijn Hertelé, Wim De Waele, Rudi Denys, Matthias Verstraete, *Full-range stress-strain behaviour of contemporary pipeline steels: Part II. Estimation of model parameters*, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 92, April 2012, Pages 34-40.
8. J.-H. Kim, A. Serpantié, F. Barlat, F. Pierron, M.-G. Lee, *Characterization of the post-necking strain hardening behavior using the virtual fields method*, International Journal of Solids and Structures, Volume 50, Issue 24, November 2013, Pages 3829-3842.
9. Mansoo Joun, Insu Choi, Jaegun Eom, Mincheol Lee, *Finite element analysis of tensile testing with emphasis on necking*, Computational Materials Science, Volume 41, Issue 1, November 2007, Pages 63-69.
10. ManSoo Joun, Jea Gun Eom, Min Cheol Lee, *A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method*, Mechanics of Materials, Volume 40, Issue 7, July 2008, Pages 586-593.
11. Carlos García-Garino, Felipe Gabaldón, José M. Goicolea, *Finite element simulation of the simple tension test in metals*, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 42, Issue 13, September 2006, Pages 1187-1197.

12. Eduardo E. Cabezas, Diego J. Celentano, *Experimental and numerical analysis of the tensile test using sheet specimens*, Finite Elements in Analysis and Design, Volume 40, Issues 5–6, March 2004, Pages 555-575.
13. D.M. Norris Jr, B. Moran, J.K. Scudder, D.F. Quiñones, *A computer simulation of the tension test*, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Volume 26, Issue 1, February 1978, Pages 1-19.
14. Norman E. Dowling, *MECHANICAL BEHAVIOUR OF MATERIALS - Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue*, Third Edition, Pearson Prentice Hall, 2007.

3. Полазне хипотезе

За постизања веће тачности у прорачунима лома металних конструкција изложених статичком оптерећењу, применом МКЕ, потребно је искористити целокупан потенцијал материјала претстављен кривом: напон - релативна деформација (σ, ϵ). Логаритамска крива: стварни напон - стварна релативна деформација („true stress - true strain“) добро описује понашање материјала и у нелинеарној области све до тачке која на тесту епрувете материјала једноосним истезањем одговара максималној достигнутој сили где почиње да се јавља локално сужење попречног пресека; додатна нелинеарност напона и релативне деформације по дужини епрувете, све до лома. С' обзиром да је удео деформационе енергије тест епрувете од достизања максималне силе до лома значајан, потребно је и криву материјала стварни напон - стварна релативна деформација надоградити у овом делу на начин погодан за примену у МКЕ.

Општа хипотеза од које се полази у дисертацији је, да ако код испитивања карактеристика материјала, криву материјала: стварни напон - стварна релативна деформација, дефинишемо сужавајући посматрану дужину епрувете са репрезентативне на зону што ближе лому (тежећи практичној диференцијалној величини са прихватљивом грешком) добиће се крива материјала која у прорачунима применом МКЕ правилно репрезентује понашање материјала у целом опсегу релативних деформација све до лома уколико је и локална мрежа коначних елемената у зони лома довољно фина да та појава може бити уочена.

На основу тако дефинисане опште хипотезе неопходно је извршити следеће активности:

- Проучити све постојеће материјалне моделе примењене у МКЕ, са посебним освртом на високо квалитетне легуре коришћене у ваздухопловству;
- Анализирати све чиниоце материјалног модела битне за прорачуна лома металних конструкција применом МКЕ;
- Анализирати постојећих метода лабораторијских мерења у циљу добијања основних карактеристика материјала.
- Дефинисање новог метода лабораторијских мерења у циљу добијања основних карактеристика материјала у складу са захтевима изнесеним у општој хипотези.

Додатна хипотеза, која треба да потврди универзалност примене опште хипотезе, је да се за било који попречни пресек на стандардној цилиндричној епрувети, непосредно пре лома епрувете као и у било ком претходном тренутку, стварни напон и стварна релативна деформација се могу наћи на кривој стварни напон - стварна релативна деформација, дефинисаној у попречном пресеку лома епрувете.

Верификација ваљаности опште и додатне хипотезе ће се обавити поређењем резултата анализе применом МКЕ, коришћењем стандардног програмског пакета

MSC/Nastran, са резултатима лабораторијских мерења обављених у лабораторији за материјале Технолошко-Металуршки факултета Универзитета у Београду.

4. Научне методе истраживања

У раду ће се користити основни научни метод у коме се на основу познавања чињеница хипотеза поставља методом индукције. Након постављања хипотезе, логичком анализом се предвиђа како се разматрани научни проблем уклапа у опште законе. На крају процеса анализе се кроз експериментална испитивања у лабораторији одређују неопходни улазни подаци о материјалу за нумеричку симулацију. Верификација теоријске поставке врши се нумеричким симулацијама која се пореде са лабораторијским тестовима.

За истраживања у овој докторској дисертацији користиће се теоријске и експерименталне научно-истраживачке методе.

Теоријске научне методе које ће бити примењене при изради дисертације су:

- Метода дескрипције у описивању метода, коришћене опреме, елемената, појава, стања и добијених резултата лабораторијских мерења механичких карактеристика изотропних металних материјала;
- Метода моделирања, као и методе апстракције и конкретизације у разматрању и дефинисању нове методологије за дефинисање и употребу пуног опсега криве: стварни напон - стварна релативна деформација у МКЕ;
- Метод анализе и синтезе, као и индуктивно-дедуктивни метод при изучавању односа између физичких карактеристика материјала у разним фазама оптерећења до појаве лома;
- Статистичке методе за обраду и приказивање резултата лабораторијских мерења;
- Методе за одређивање грешаке мерења;
- Методе за одређивање грешаке нумеричких метода;
- Метода коначних елемената у домену напонско-деформационе анализе која обухвата материјалну и геометријску нелинеарност.

Експерименталне методе се односе на испитивања криве материјала: стварни напон - стварна релативна деформација у пуном опсегу до лома а обавиће се у лабораторији Технолошко-Металуршки факултета у Београду. Експериментални део истраживања ће имплементирати следеће експерименталне методе:

- Методе испитивања механичких карактеристика материјала;
- Без-контактна оптичка метода мерења геометријских величина.

Нумеричка метода коначних елемената примениће се у сврху верификације. Урадиће се симулација веродостојних 3D модела са лабораторијских тестова до лома и поређење са резултатима испитивања. За ово ће се користити комерцијални програмски пакет: MSC/Nastran.

5. Очекивани научни допринос

Израдом предложене докторске дисертације могу се очекивати следећи научни доприноси:

- Развој потпуно нове методологије прорачуна ломног оптерећења металних ваздухопловних конструкција изложених статичком / квазистатичком оптерећењу повећане тачности,
- Развој потпуно нове методологије испитивања епрувета металних материјала једноосним истезањем имплементацијом без-контактних оптичких метода мерења,
- Имплементација новог концепта криве материјала: стварни напон - стварна релативна деформација пуног опсега, у све прорачуне применом МКЕ где се јављају велике пластичне деформације металних конструкција блиских лому.

6. План истраживања и структура рада

Предмет докторске дисертације је истраживање у домену прорачуна чврстоће применом МКЕ у циљу прецизног одређивања ломног оптерећења код металних ваздухопловних структура изложених статичком / квазистатичком оптерећењу. Предвиђено истраживање ће се спровести на основу теоријске анализе могућности побољшања тачности анализе коришћењем постојећих изотропних материјалних модела имплементираних у МКЕ. Дефинисаће се тест метод лабораторијских мерења потребних за добијање неопходних података о материјалу на начин погодан за примену у МКЕ користећи стандардне епрувете и конвенционални тест метод истовремено како би се могло направити поређење добијених резултата мерења. За мерење геометријских величина испитиваних епрувета у функцији силе истезања користиће се оптички метод мерења. Урадиће се симулација нумеричког модела поступка лабораторијских мерења тест епрувета помоћу стандардног програмског пакета МКЕ: MSC/Nastran. Спроведена испитивања ће обухватити поређење резултата прорачуна ломног оптерећења добијених применом МКЕ са одговарајућим резултатима експерименталних лабораторијских испитивања. У циљу побољшања ефикасности лабораторијских мерења потребних карактеристика материјала биће предложен нови облик епрувета чија ваљаност ће се потврдити лабораторијским тестом и нумеричком симулацијом. Завршна потврда ваљаности обавиће се на специјалним епруветама са комплексним напонским стањем које ће бити поређено са нумеричким тестом применом МКЕ.

План истраживања у оквиру ове докторске дисертације обухвата следеће фазе:

- Поставка проблема испитивања; идентификација узрока конзервативности у прорачунима ломног оптерећења применом МКЕ;
- Опис изотропних материјалних модела примењених у МКЕ;
- Основне поставке методе коначних елемената;
- Анализа погодности различитих техника и метода мерења у циљу добијања основних карактеристика материјала у складу са захтевима који су предмет овог рада;
- Опис поступка лабораторијских мерења и специфичности опреме коришћене у ту сврху;
- Компаративна напонско-деформациона анализа ломног оптерећења применом МКЕ симулирана на моделима коришћеним у лабораторијским испитивањима;
- Верификација резултата истраживања;
- Област примене, ограничења и правци даљих истраживања;
- Закључак.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације **Драгана С. Маринковића**, дипл. инж., студента докторских студија, а сходно одлуци број 956/3 Наставно-научног већа донетој 22. 05. 2014. године, Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат - студент докторских студија, испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату Драгану С. Маринковићу, дипл. инж. одобри израду докторске дисертације са темом „**УНАПРЕЂЕЊЕ НЕЛИНЕАРНОГ ИЗОТРОПНОГ МАТЕРИЈАЛНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОРАЧУНЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА**“.

За ментора кандидата током рада на докторској дисертацији предлаже се **редовни професор др Бошко Рашуо** са Катедре за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бошко Рашуо,
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Ван. проф. др Мирко Динуловић,
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
Ван. проф. др Милорад Зрилић,
Технолошко-Металуршки факултет
Универзитета у Београду

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Драгана Маринковића, дипл.инж.маш.

Име и презиме ментора: др Бошко Раשו

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Title: Potential connections of cockpit floor - seat on passive vibration reduction at a piston propelled airplane, Authors: Zoran Ilic, **Boško Rašuo**, Miroslav Jovanovic, Sladjan Pekmezovic, Aleksandar Bengin, Mirko Dinulovic, **TECHNICAL GAZETTE**, Volume 21, No.3, June 2014, ISSN: 1330-3651, Pages: 471-478, na SCI listi; IF 0.601, - M23,

2. Title: Optimization of the Aircraft General Overhaul Process, **AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY**, Authors: **Rašuo, B.**, Djuknić, G., Volume: 85, Issue 5, 2013, Emerald Group Publishing Limited, UK, ISSN: 0002-2667, Pages: 343-354, na SCI listi; IF 0.441, - M23,

3. Title: An investigation of the repetitive failure in an aircraft engine cylinder head, **ENGINEERING FAILURE ANALYSIS**, Authors: Krstic, B., **Rasuo, B.**, Trifkovic, D., Radisavljevic, I., Rajic, Z., Dinulovic, M., Volume 34, December 2013, Elsevier Ltd., ISSN: 1350-6307, Pages: 335-349, na SCI listi; IF 1.086, - M21,

4. Title: Failure analysis of an aircraft engine cylinder head, **ENGINEERING FAILURE ANALYSIS**, Authors: Krstic, B., **Rasuo, B.**, Trifkovic, D., Radisavljevic, I., Rajic, Z., Dinulovic, M., Volume 32, September 2013, Elsevier Ltd., ISSN: 1350-6307, Pages: 1-15, na SCI listi; IF 1.086, - M21,

5. Title: Review of impact damages modelling in laminated composite aircraft structures, Authors: Kreculj, D., **Rašuo, B.**, **TECHNICAL GAZETTE**, Vol. 20 No.3, June 2013, ISSN: 1330-3651, Pages: 485-495, na SCI listi; IF 0.601, - M23,

6. Title: Numerical investigation of pulverized coal jet flame characteristics under different oxy-fuel conditions, Authors: Jovanović R., **Rašuo B.**, Stefanović P., Cvetinović D., Swiatkowski B. Source: **INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER**, Elsevier Ltd., Vol 58, No 1-2, Published: March 2013., Pages: 654-662, ISSN: 0017-9310, IF 2.315, - M21,

7. Title: FEM based fatigue crack growth predictions for spar of light aircraft under variable amplitude loading, Authors: Grbovic, A., **Rasuo, B.**, **ENGINEERING FAILURE ANALYSIS**, Volume 26, December 2012, Elsevier Ltd., ISSN: 1350-6307, Pages: 50-64, na SCI listi; IF 1.086, - M21,

8. Title: Extended finite element method (XFEM) applied to aircraft duralumin spar fatigue life estimation, Authors: Petrašinović, D., **Rašuo, B.**, Petrašinović, N., **TECHNICAL GAZETTE**, Vol.19 No.3, September 2012, ISSN: 1330-3651, (str.557-562), na SCI listi; IF 0.347, - M23,

9. Title: Scaling between Wind Tunnels—Results Accuracy in Two-Dimensional Testing, Author: **Rašuo B.**, Source: **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL & SPACE SCIENCES**, The Japan Society for Aeronautical and Space

Sciences, Vol. 55, No.2, Published: March 2012., Pages: 109-115, ISSN: 0549-3811, IF 0.397, - M23,

10. Title: The influence of Reynolds and Mach numbers on two-dimensional wind-tunnel testing: An experience, Author: **Rašuo, B.**, Source: **THE AERONAUTICAL JOURNAL**, Volume 115, Number 1166, Paper No. 3542, The Royal Aeronautical Society, ISSN: 0001-9240, London, Published: April 2011, Pages: 249-254, IF 0.414, - M23,

11. Title: A New General Approach to Airplane Rotation, Authors: Bajović, M., Živanović, M., **Rašuo, B.**, Stojaković, P., Source: **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL & SPACE SCIENCES**, The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.53, No.180, Published: August 2010. Pages: 130-137, ISSN: 0549-3811, IF 0.397,

12. Title: On-Condition Maintenance for Nonmodular Jet Engines: An Experience, Authors: Siladić, M., **Rašuo, B.**, The **ASME JOURNAL OF JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINES AND POWER**, 131, Issue 3, 032502, ISSN: 0742-4795, New York, NY, May (2009) (7 pages), na SCI listi; IF 0.735 - M22,

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум, 28. 06. 2014.

М.П.
