

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1588/5
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)03.10.2013.
(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

АЕРОДИНАМИЧКО-СТРУКТУРАЛНА ОПТИМИЗАЦИЈА УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА ЛЕТЕЛИЦА
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: НЕНАДА (Драгиша) ВИДАНОВИЋА2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2006.4. 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 БеоградОдсек, смер или група: /Година уписа докторских студија: 2007.Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 03.10.2013
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: 1588/5
Датум: 03.10.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Ненада Видановића, дипл.инж.маш., бр. 1588/1 од 02.09.2013. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Бошко Рашуо, проф.др Александар Бенгин, доц.др Мирко Динуловић, доц.др Александар Грбовић и доц.др Гордана Кастратовић, Саобраћајни факултет Београд, број 1588/4 од 30.09.2013. 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 03.10.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«АЕРОДИНАМИЧКО-СТРУКТУРАЛНА ОПТИМИЗАЦИЈА УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА ЛЕТЕЛИЦА»** докторанта **НЕНАДА ВИДАНОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту Ненаду Видановићу, 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 **Ненада Видановића, дипл. маш. инж.** за израду докторске дисертације под насловом: **АЕРОДИНАМИЧКО-СТРУКТУРАЛНА ОПТИМИЗАЦИЈА УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА ЛЕТЕЛИЦА**, која је поднета од стране кандидата 26. 08. 2013. године и заведена под бројем: 1588/1, дана 02. 09. 2013.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 19. 09. 2013. године, бр. 1588/3, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ненада Видановића, дипл маш. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Аеродинамичко-структурална оптимизација узгонских површина летелица”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ненад Видановић, дипломирани инжењер машинства, рођен је 30.07.1979. у Београду где је завршио основну, као и средњу техничку школу „Петар Драпшин” са звањем Машински техничар за компјутерско конструисање. Матурски практичан рад је одбранио на изборном предмету Моделирање машинских елемената и конструкција, а који је имао за тему конструисање ручне дизалице са паром конусних зупчаника. Сви цртежи обухваћени матурким радом су израђени у AutoCAD LT-у.

По завршетку средње школе, 1998. године уписао је Машински факултет у Београду а дипломирао је 2006. године на Катедри за ваздухопловство са просечном оценом 8.59, док је дипломски рад одбранио са највишом оценом 10. У току израде дипломског рада био је ангажован на пројектима Катедре за ваздухопловство на моделирању и прорачуну елемената структуре летелица методом коначних елемената, са темом „Прелиминарна структурална анализа авионског крила”. Структура крила је реализована у CATIA V5 пакету, док је сам

прорачун коначним елементима спроведен и у CATIA V5 и у Nastran пакету. Током студија је био активни члан Удружења студената ваздухопловства EUROAVIA Београд.

Докторске студије уписао је 2007. године на Катедри за ваздухопловство на Машинском факултету у Београду а запосливиши се у Иновационом центру Машинског факултета д. о. о. на неодређено, засновао је радни однос као сарадник на пројектима које финансира Министарство науке и технолошког развоја. У радни однос је ступио 01.10.2007. године, док је Уговор о раду споразумно отказан 14.03.2008. из разлога промене радног ангажовања. Дана 16.03.2008. је ангажован као сарадник у настави на Саобраћајном факултету у Београду за ужу научну област Механика и Механика флуида на Катедри за општетехничке науке са пуним радним временом. Тачније, ангажован је на предметима Механика 1 (Кинематика и динамика), Механика 2 (Статика и отпорност) и Механика флуида, са максималним оптерећењем у настави. До 2010. је још једном реизабран као сарадник у настави, а у априлу 2010. је изабран у звање асистента. У априлу 2013. је реизабран на место асистента на раније поменути предметима и областима, а при истој Катедри. Као асистент на предмету Механика 1, вежбе држи целој првој години (око 360 бруцоша) којима је поменути предмет обавезан у другом семестру. На предмету Механика 2, који је обавезан предмет на три модула и изборни на једном, у трећем семестру вежбе држи групи од око 100 студената друге године. На предмету Механика флуида, који је обавезан за студенте два модула у четвртном семестру, вежбе држи групи од 50 студената друге године. Педагошки рад кандидата и квалитет наставе су на високом нивоу, што оправдава укупна вишегодишња просечна оцена 4.40 добијена од стране анкетираних студената на свим предметима које кандидат предаје.

Кандидат је у међувремену положио све испите који су предвиђени на докторским студијама, похађао је неопходну практичну наставу и одбранио лабораторијске вежбе предвиђене планом и програмом докторских студија.

број	Назив предмета	Предметни наставник	Година студија				Оцена
			Прва година		Друга година		
			I (11)	II (12)	III (13)	IV (14)	
1	Виши курс математике (парцијалне диференцијалне једначине и линеарна алгебра)	проф. др Стојан Раденовић	5				10 (десет)
2	Нумеричке методе	проф. др Слободан Радојевић	5				10 (десет)
3	ОМНИР и комуникација	проф. др Милош Недељковић	5				10 (десет)
4	Механика лета	проф. др Бошко Рашуо	5				10 (десет)
5	Лабораторија 1	проф. др Бошко Рашуо	10				10 (десет)
6	Одабрана поглавља из механике	проф. др Јосиф Вуковић		5			10 (десет)
7	Динамика лета	проф. др Бошко Рашуо		5			10 (десет)

8	Ваздухопловно-техничко обезбеђење	проф. др Бошко Рашуо		5			10 (десет)
9	Лабораторија 2	проф. др Бошко Рашуо		15			10 (десет)
10	Интегритет и век конструкција	проф. др Александар Седмак			5		10 (десет)
11	Технологија производње летелица	проф. др Бошко Рашуо			5		10 (десет)
12	Лабораторија 3	проф. др Бошко Рашуо			20		10 (десет)
13	Лабораторија 4	проф. др Бошко Рашуо				25	10 (десет)

Кандидат је коаутор штампане уџбеничке литературе за студенте основних студија на Саобраћајном факултету за предмете Механика 1 и Механика 2, док је литература за предмет Механика флуида у припреми. Литература је штампана латиничним писмом и тако ће бити реферисана:

MEHANIKA I, Kinematika i Dinamika: Dragoslav Kuzmanović, Gordana Kastratović, **Nenad Vidanović**, (Saobraćajni Fakultet), 2011,

Zbirka zadataka iz MEHANIKE I: Dragoslav Kuzmanović, Gordana Kastratović, **Nenad Vidanović**, (Saobraćajni Fakultet), 2012,

MEHANIKA II, Statika i Otpornost: Dragoslav Kuzmanović, Gordana Kastratović, **Nenad Vidanović**, (Saobraćajni Fakultet), 2012.

Кандидат активно користи и влада следећим програмским алатима за пројектовање применом компјутера: AutoCAD, CATIA V5, Gambit, ANSYS (Geometry-Design Modeler, Mesh-Meshing, Static Structural, Modal, Harmonic Response, Transient Structural, Linear Buckling, FLUENT, CFD Post, Shape Optimization, Design Exploration) и Tecplot.

Кандидат пасивно користи следеће алате за пројектовање применом компјутера: Franc2D, Franc3D, MSC. Nastran, XFOIL.

Кандидат чита, пише и говори енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је био учесник на научном пројекту, бр. EE18033-TP под именом „Оптимизација рада фарми ветрогенератора-контрола граничног слоја и турбуленције у вртложном трагу, активна контрола облика и струјања”, а у периоду од 2008. до 2010. године.

Киндидат је експерименталну и лабораторијску наставу похађао на Машинском факултету, као учесник при експерименталној анализи замора рамењаче и као сарадник Војнотехничког института на пројектима експерименталне и нумеричке анализе при аеродинамичкој лабораторији и лабораторији за експерименталну чврстоћу.

Кандидат је утрошио више хиљада сати на овладавање и усавршавање нумеричким методама и алатима. За параметарско моделирање, креирање прорачунских мрежа коначних запренина и коначних елемената, као и за саме аеродинамичке и структуралне симулације и оптимизационе поставке, коришћени су различити модули кода *ANSYS*. Спроведене су

симулације над различитим 2д и 3д системима из области биомеханике, транспортних система, обновљивих извора енергије и ваздухопловства. Посебна пажња је посвећена аеродинамичко-структуралној анализи и оптимизацији (CFD/CSD/FSI/MDO).

У току свог научно-истраживачког рада кандидат је објавио следеће радове:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја

- **Радови у истакнутим међународним часописима (M22):**

1. **Vidanović N.**, Kastratović G.: *3D finite element modeling of sling wire rope in lifting and transport processes*, - Transport, Accepted in January 2012, ID: 816364, DOI:10.3846/16484142.2013.816364, 1-8.

- **Радови у међународним часописима (M23):**

1. **Vidanović N.**, Rašuo B., Damljanić D., Vuković Đ., Ćurčić D.: *Validation of the CFD code used for determination of aerodynamic characteristics of nonstandard AGARD-B calibration model*, - Thermal Science, 2013, OnLine-First (00):104-104, DOI:10.2298/TSCI130409104V, 1-12.

- **Радови у међународним часописима (M24):**

1. Dabić S., Miljuš M., Bojović N., **Vidanović N.**: *Decision Support for The Choice of Tire Manufacturer*, - FME Transactions, Vol 41, No 1, 2013, Beograd, pp. 72-76.

- **Радови у часописима националног значаја (M51):**

1. Kastratović G., **Vidanović N.**: *Some aspects of 3D finite element modeling of independent wire rope core*, - FME Transactions, Vol 39, No 1, 2011, Beograd, pp. 37-40,
2. Grbović A., Rašuo B., **Vidanović N.**, Perić M.: *Simulation of Crack Propagation in Titanium Mini Dental Implants (MDI)*, - FME Transactions, Vol 39, No 4, 2011, Beograd, pp. 165-170.

- **Радови у часописима националног значаја (M52):**

1. Kastratović G., **Vidanović N.**: *The analysis of frictionless contact effects in wire rope strand using the finite element method*, - Transport&Logistics, Vol 19, 2010, Beograd, pp. 33-40.

Зборници међународних скупова

- **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):**

1. Grbović A., Tanasković M., **Vidanović N.**: *Comparative analzsis of stress distribution on the toothless alveolar ridge at the bottom of the complete denture prosthesis and overdenture retained with mini implants*, - Proceedings of the 2nd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Palić 2009., D-14, 1-14, On CD,
2. Mirkov N., **Vidanović N.**, Rašuo B.: *Numerical simulation of separated turbulent flow in asymmetric diffusers*, - Proceedings of The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake 2011., pp. 312-320,

3. Grbović A., **Vidanović N.**, Čolić K., Jevremović D.: *The use of finite element method (FEM) for analyzing stress distribution in adhesive inlay bridges*, - Proceedings of The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake 2011., pp. 481-489,
4. Grbović A., **Vidanović N.**, Kastratović G.: *The use of finite element method (FEM) for simulating crack growth in mini dental implants (MDI)*, - Proceedings of The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake 2011., pp. 490-501,
5. **Vidanović N.**, Kastratović G., Grbović A.: *The analysis of contact effects in wire rope strand using the finite element method*, - Proceedings of The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake 2011., pp. 836-845,
6. Kastratović G., Grbović A., **Vidanović N.**, Rašuo B.: *A finite element calculation of stress intensity factors in structures with multi-site damage (MSD)*, - Proceedings of The First International Conference on Damage Mechanics, Belgrade 2012., pp. 161-164,
7. Kastratović G., **Vidanović N.**, Bakić V., Pezo M., Marković Z.: *Cross section optimization of a guyed mast under wind loading*, - Proceedings of the International Conference Power Plants 2012, Zlatibor 2012., pp. 1039 - 1048,
8. Pezo M., Bakić V., Marković Z., Kastratović G., **Vidanović N.**: *Stability analysis of a guyed mast subjected to wind action by using finite element method*, - Proceedings of the International Conference Power Plants 2012, Zlatibor 2012., pp. 1128 - 1137,
9. Grbović A., Kastratović G., **Vidanović N.**, Rašuo B.: *Review of modern numerical methods for stress intensity factor determination*, - Proceedings of The 4th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vrnjačka Banja 2013., pp. 467 - 472.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

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

2. Предмет и циљ истраживања

Развој и унапређивање метода нумеричких симулација допринели су да је у оквиру мултидисциплинарних анализа могуће извршити спрезање аеродинамичких и структуралних прорачуна. На тај начин је омогућен вернији приказ механизма генерисања оптерећења и одзива структуре наспрам генерисаног оптерећења, тј. реалније моделирање феномена аероеластичности. Уједно, тиме се постигао и напредак на пољу оптимизације, поготово оних система чији је процес експлоатације строго дефинисан мултидисциплинарним поставкама и критеријумима. Нумеричком оптимизацијом су се постигле значајне уштеде у развојним процесима, као и ефикасније унапређивање перформанси наспрам рационалније употребе материјала, а уз повећан степен сигурности. Нумеричка оптимизација је допринела и рационалнијем упошљавању компјутерских ресурса коришћењем метамодела - сурогат модела, чије се дефинисање базира на иницијалној популацији. Генерисање иницијалне популације захтева значајна улагања у компјутерске ресурсе и захтевају верну представу и симулацију проблема, еквивалентну стварном сценарију. Метамоделима се уз минимална ангажовања хардвера креирају апроксимативни модели на основу постављених циљева и ограничења, а тек над неколико глобално оптималних спроводи верификација робустним нумеричким, аеродинамичким и структуралним симулацијама и њиховим спрезањем у оквиру мултидисциплинарних анализа. У основи *Multifield* проблема, спрега аеродинамичке и структуралне анализе, односно „размена информација“ на релацији флуид-структура,

представља површински проблем. Моделирање феномена аероеластичности представља доминантан фактор при пројектовању и оптимизацији делова летелица. Петља која описује природу проблема је затворена. Генерисана аеродинамичка оптерећења која „нападају“ еластичну структуру, а последица су кретања исте кроз флуидну средину, деформишу структуру иницирајући промену аеродинамичког облика. Тако деформисана структура при даљем кретању кроз флуидну средину иницира промену аеродинамичког оптерећења које је узроковано новонасталим обликом еластичне структуре. Овај механизам интеракције флуида и структуре даље може да доведе до повећања статичке деформације или нестационарног понашања, те коначно и могућег отказа. Поступак се, како је то већ поменуто, у основи заснива на тзв. купловању и анализи две средине - бидисциплинарна анализа - односно анализи интеракције флуида и структуре. Купловање на релацији флуид-структура је метод, тј. механизам, којим се са једне стране генерише, тј. структури „додељује“ оптерећење услед струјања и анализира могуће понашање структуре - њен одзив, док се са друге стране може анализирати и понашање флуидне средине услед дејства деформисане структуре на исту, као и утицај пригушења средине. Механизам „размене“ оптерећења са аеродинамичке на структуралну прорачунску мрежу је описан интерполаторима, а резултат интеракције је функција параметара струјања, односно услова експлоатације летелице, функција карактеристика флуида и структуре, као и облика структуре. Дакле, главне компоненте које карактеришу проблем аероеластичности јесу аеродинамичка, еластична и инерцијална оптерећења, а у функцији карактеристика средине и материјала, облика и убрзања. Непожељне појаве које су резултат различитих комбинација наведених оптерећења могу бити статичке, квазистатичке или динамичке природе. Анализа уопште, дакле, подразумева различите приступе у процесу моделирања проблема: анализа стационарности или нестационарности, као и линеарности или нелинеарности - у односу на средину и понашање исте (када се анализира флуид), те и карактеристика материјала и стања под оптерећењем (када се анализира структура). Описани механизам и природа генерисања проблема дефинишу метод и начин на који ће се моделирати критична понашања која ће представљати оквире од интереса, а унутар којих ће се дефинисати и спровести поступак, те и компаративно приказивати и тумачити резултати мултидисциплинарне оптимизације дефинисане мултикритеријумским поставкама и ограничењима.

Аеродинамичке и структуралне анализе методама нумеричких симулација могу предвидети и предупредити различита критична понашања летелица, а која могу довести и до отказа појединих компоненти. Нумеричко моделирање интеракције на релацији флуид-структура може се дефинисати тројако, што се заправо односи на ниво софтверског купловања аеродинамичких и структуралних прорачуна, тј. ниво на коме се анализира конкретан проблем аероеластичности. Поступак нумеричких симулација пружа широк спектар информација о пореклу, утицају и последицама услед дејства оптерећења које се генерише кретањем кроз флуидну средину (као и широк спектар информација о понашању саме средине, тј. флуида), односно одзива структуре у односу на дејство моделираног оптерећења. Мултидисциплинарном студијом предложене структуре ће се демонстрирати и повезивање различитих нумеричких алата, као вид трагања за најоптималнијим алгоритмом. Истраживање ће бити засновано на дефинисању нумеричких алгоритама базираних на спрезању различитих дисциплина којима би се омогућило ефикасније и реалније симулирање и предвиђање понашања изабране структуре, са повишеном тачношћу, а према дефинисаним ограничењима, односно у дефинисаним условима експлоатације. Круну истраживања представљаће оптимизована структура, која ће бити резултат спроведене мултидисциплинарне оптимизације. Она би требало и да представља глобално најбоље решење када се узму у обзир односи параметара цена-маса-перформансе-сигурност. Евалуацијом добијених резултата дошло би се до коначне - оптимизоване структуре, а која би представљала компромис између свега наведеног. Спровешће се и упоредна анализа резултата (евалуација вредности улазних параметара) аеродинамичке наспрам

аеродинамичко-структуралне оптимизације. У оквиру аеродинамичке оптимизације трагаће се за аеродинамичким обликом којим ће се постићи већи узгон и мањи отпор, као и боља дистрибуција притиска, а што би резултирало максимизацијом њиховог односа, на основу кога се процењују финеса, пењање и долет. У оквиру аеродинамичко-структуралне оптимизације, поред унапређеног аеродинамичког облика кроз максимизацију перформанси, извршиће се и минимизација масе, а уз рестрикцију примењену на деформацију или напонско стање. Оба наведена оптимизациона приступа се спроводе за фиксиране услове лета који представљају карактеристичне режиме у процесу експлоатације летелице, као и са ограничењима - доменама, примењеним на улазне параметре. Трагање за оптималним обликом биће извршено за сваки појединачни случај лета, као и упоредна анализа, тј. трагањем над свим карактеристичним режимима. Тиме би се тежило постизању глобално оптималне структуре летелице која би задовољавала и покривала све услове лета у процесу експлоатације.

Приступ аеродинамичко-структуралној анализи, која ће представљати иницијални проблем, може се генерално поделити у три групе, при чему сваки од њих може бити посматран или са аспекта линеарности или са аспекта нелинеарности, док ће неки од њих представљати домене у оквиру којих ће бити дефинисан и спроведен поступак аеродинамичко-структуралне оптимизације:

- **Анализа статичке и квазистатичке аероеластичности**, узроковане интеракцијом аеродинамичких и еластичних сила са утицајем на перформансе и стабилност. Овај приступ узима у обзир последице дистрибуције и појачања аеродинамичких сила иницираних деформацијом структуре, што доводи до нестабилности и отказа (дивергенција) или смањења ефикасности команди (реверс);
- **Анализа структуралних вибрација**, насталих као последица интеракције еластичних и инерцијалних сила које узрокују деформације и убрзања, а где се као критични проблем може јавити резонантно осциловање. Значајна пажња се мора посветити моделирању аероеластичног пригушења које представља вид превенције да не дође до отказа конструкције;
- **Анализа динамичке аероеластичности**, узроковане интеракцијом структуралних вибрација и нестационарних аеродинамичких сила. Овде је реч о критичним појавама као што су флатер, бафетинг, ударна оптерећења, вибрације узроковане интеракцијом са турбуленцијом и осцилације које, за разлику од флатера, аероеластични систем пригуши. Може се анализирати у временском или фреквентном домену, што даље утиче на линеарно или нелинеарно моделирање проблема.

Предложеном темом кандидат ће тежити да демонстрира ширину нумеричког моделирања проблема интеракције на релацији флуид-структура. То подразумева креирање једног или више параметрски дефинисаних и модуларно оријентисаних окружења. Нумеричке симулације су, свакако, нашироко распрострањен метод и више него квалитетна замена за бројне, скупе и некада тешко изводљиве експерименте, поготово када је потребно извршити мултидисциплинару оптимизацију производа, а где је неопходно остварити више репрезентативних узорака од којих се бира глобално најоптималнији. У том смислу је доминантна економска оправданост нумеричког моделирања проблема наспрам експерименталних анализа. При томе, нумеричке симулације демонстрирају висок степен аутономије и флексибилности, контроле и манипулација, као и висок степен адаптивности, дајући тако квалитетну и верну представу о самој физици проблема и његовој природи, те и подизање нивоа тумачења, поређења, разумевања и процена у оквиру проблема који се моделира. Такође, симулацијама се избегавају и паразитни утицаји који у експерименту

утичу на тачност мерења, али сама симулација мора бити квалитетно постављена. Фаза постпроцесирања, у смислу ширине дијапазона могућих резултата и њиховог приказивања, представља значајну предност у односу на експерименте. Приказ и сам поступак евалуације резултата су подигнути на висок ниво, чиме је омогућен детаљнији увид и прецизнија представа физике и природе проблема. Оно што је, можда, и највећа предност јесте спрегнута анализа на нивоу интеракција различитих дисциплина - модуларно оријентисани приступ. Као резултат поменуте спреге омогућава се приказ појединачног и сумарног стања након анализе. Такав приказ је велика предност при моделирању нумеричких алгоритама за поступке мултидисциплинарне оптимизације, као и процене нивоа оптималности, јер је поред задовољених услова и ограничења неопходно представити дистрибуцију моделираних величина зарад стицања комплетног увида у квалитет оптималног облика и структуре.

Поред наведених предности, нумеричко моделирање има и недостатака. Наиме, у анализама се често користе упрошћени модели, па се последице апроксимација минимизирају, превазилазе и/или процењују упоредним анализама са доступним експерименталним вредностима - дакле калибрисањем и еталонирањем. То је један од разлога зашто ће у оквиру тезе бити моделирана аероеластична структура, која ће представљати последње приближење финалној (реалној, детаљној) и заправо представљати компромис између прелиминарне и коначне структуре ваздухоплова. Са друге стране, и са научне тачке гледишта, као и због циљева теме и истраживања, није ни потребно моделирати комплетну, тј. реалну конструкцију. То је поткрепљено и оправдано уштедама на више нивоа. Наравно, биће могуће прибећи и дефинисању верније конструкције, или дела исте (уколико се покаже да је то неопходно), али то може довести до неприхватљивог повећања прорачунског времена и значајнијег улагања у хардвер и друге ресурсе, а без значајног помака у смислу постизања доприноса на било ком нивоу. Веома је битно добро проценити ниво дозвољеног упрошћења структуре и струјања, јер ће од тога зависити прихватљивост и тачност резултата симулација, док сама упрошћења не утичу на постизање доприноса на нивоу моделирања и процесирања оптимизационог алгорита.

Да би симулације представљале што вернији приказ стварног проблема, неопходно је коришћењем доступних експерименталних резултата калибрисати нумеричке алате којима ће се аеродинамичке и структуралне симулације спроводити. То значи да ће аеродинамички и структурални нумерички методи бити најпре квалитативно и квантитативно евалуирани. Евалуација нумерике наспрам постојећих аеродинамичких и структуралних експерименталних испитивања летелица и њихових делова, спровешће се пре него што се започне са параметарским моделирањем облика за који се спроводи поступак оптимизације, а који ће се анализирати калибрисаним аеродинамичким и структуралним нумеричким методама. Упоредна експериментална и нумеричка анализа се у пракси подразумевају и неће бити одвојено посматране, док ће сама теза бити прожета и унапређена експериментима из поља аеродинамике и чврстоће. Једноставно, експеримент представља позитиван допринос симулацији, као што је и симулација позитиван допринос и смерница експерименталном поступку.

Мултидисциплинарна анализа, у оквиру предложене теме, базираће се на нумеричком моделирању феномена аероеластичности. Дефинисањем карактеристичних режима, на основу услова експлоатације и пројектоване анvelope лета, извршиће се избор, односно предлагање одговарајућег аеродинамичког облика који испуњава прописане тактичко-техничке захтеве. Летелица ће бити параметарски дефинисана - измоделирана, а потом нумеричким методама анализирана у оквиру дефинисаних случајева лета. Поједини случајеви лета ће представљати режиме у оквиру којих је могућа појава критичног понашања структуре. Коначно, путем једне мултидисциплинарне студије, спровешће се поступак оптимизације над свим карактеристичним режимима током процеса експлоатације летелице -

режим крстарења и сви они случајева лета у оквиру којих се јављају критична понашања структуре. Део истраживања који подразумева пројектовање применом компјутера (CAD/CAE - Computer-aided design/Computer-aided engineering), тј. параметарско моделирање и нумеричке аеродинамичке и структуралне анализе, биће остварено у оквирима пројектованог модуларног окружења, користећи се појединим алатима софтвера ANSYS.

Генерално, циљ истраживачког рада у оквиру ове докторске тезе биће детаљна анализа појединих феномена из области аероеластичности, а у односу на које ће се извршити мултидисциплинарна оптимизација са мултикритеријумским ограничењима, њихово нумеричко моделирање, предвиђање и праћење, а у сврху развијања поуздане и прецизније методе - алгоритма, која ће довести до дефинисања оптималне структуре, а која би са аспекта аероеластичности током експлоатације била веома поуздана, унапређених перформанси и са минимизираним трошковима производње, експлоатације и одржавања.

Према томе, основни циљеви истраживања били би:

- моделирање и калибрација предложених алгоритама, који би представљали интеракцију између различитих алата - нумеричких модула, а који ће са минималном грешком моћи да анализирају и предвиђају поједине проблеме аероеластичности;
- спровођење мултидисциплинарне студије над појединим феноменима из области аероеластичности методом купловања, њихово нумеричко моделирање, предвиђање и праћење, а у сврху дефинисања критичних режима у процесу експлоатације летелице зарад дефинисања услова, критеријума и циљева на основу којих ће се спровести поступак оптимизације;
- дефинисање оптималне аероеластичне структуре до које би се дошло мултидисциплинарном/мултикритеријумском оптимизацијом, а која би представљала компромис на релацији цена-маса-перформансе-сигурност и којом би се проценио ниво осетљивости улазних параметара наспрам излазних;
- давање предлога модификација развијених алгоритама, да би се они могли применити и на друге структуре и у другим научно-истраживачким областима, као и примарно истицање њихове практичне примене и имплементације у процесе развоја и производње.

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

1. Hicks R. M., Henne P. A.: *Wing Design by Numerical Optimization* - Journal of Aircraft, Vol. 15, No. 7, 1978, pp. 407-412,
2. Sasaki D., Obayashi S., Nakahashi K.: *Navier–Stokes Optimization of Supersonic Wings with Four Objectives Using Evolutionary Algorithm* - Journal of Aircraft, Vol. 39, No. 4, 2002, pp. 621-629,
3. Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T.: *A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II* - IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 2, 2002, pp. 182-197,
4. Epstein B., Peigin S.: *Robust Hybrid Approach to Multiobjective Constrained Optimization in Aerodynamics* - AIAA Journal, Vol. 42, No. 8, 2004, pp. 1572-1581,
5. Kim Y., Jeon Y. H., Lee D. H., *Multi-objective and multidisciplinary design optimization of supersonic fighter wing* - Journal of Aircraft, Vol. 3, No. 43, pp. 817–824,

6. Peigin S., Epstein B.: *Computational Fluid Dynamics Driven Optimization of Blended Wing Body Aircraft* - AIAA Journal, Vol. 44, No. 11, 2006, pp. 2736-2745,
7. Jing C., Shuo T.: *Research on integrated optimization design of hypersonic cruise vehicle* - Aerospace Science and Technology, Vol. 7, No. 12, 2008, 567–572,
8. Tianyuan H., Xiongqing Y.: *Aerodynamic/Stealthy/Structural Multidisciplinary Design Optimization of Unmanned Combat Air Vehicle* - Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 22, 2009, pp. 380-386,
9. Park C., Joh C. Y., Kim Y. S.: *Multidisciplinary Design Optimization of a Structurally Nonlinear Aircraft Wing via Parametric Modeling* - International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 10, No. 2, 2009, pp. 87-96,
10. Nikbay M., Öncü L., Aysan A.: *Multidisciplinary Code Coupling for Analysis and Optimization of Aeroelastic Systems* - Journal of Aircraft, Vol. 46, No. 6, 2009, pp. 1938-1944,
11. Nikbay M., Acar P.: *Integrating analytical aeroelastic instability analysis into design optimization of aircraft wing structures* - Turkic World Mathematical Society Journal of Applied Engineering Mathematics, Vol. 1, No. 2, 2011, pp. 237-253.

3. Полазне хипотезе

На основу изложеног прегледа о предмету и циљевима тезе, као и предвиђеним истраживањем заснованог на цитираним библиографским изворима, у дисертацији ће се поћи од основне хипотезе, да је адекватним дефинисањем и спрезањем одговарајућих нумеричких алата и алгоритама, као и дефинисањем критеријума и циљева оптимизације, могуће извршити моделирање циљане структуре и одредђивање најутицајнијих параметара за дефинисање оптималне структуре коришћењем нумеричких прорачуна и симулација, тј. да је могуће извршити дефинисање поузданог и флексибилног окружења које ће унапредити инжењерску праксу. Хипотезе специфичне за предмет тезе су:

- главне компоненте које карактеришу проблем аероеластичности су аеродинамичка, еластична и инерцијална оптерећења;
- анализа се у основи иницира и заснива на купловању тј. интеракцији флуида и структуре, при чему је сама интеракција функција параметара струјања, односно услова експлоатације и карактеристика флуида и структуре, као и облика структуре;
- истраживање се заснива на основним хипотезама теорије аероеластичности и метода коначних елемената и запремина, а на основу којих ће се извршити моделирања феномена из поља аероеластичности;
- коришћењем и дефинисањем одговарајућих алгоритама могуће је моделирати понашање структуре са прихватљивом тачношћу;
- анализирани апроксимативни модел је довољно близак реалном моделу, тако да ниво упрошћења обезбеђује прихватљиву тачност резултата симулација;
- карактеристике материјала којима се моделира структура не зависе од услова који владају у околини;
- флуид се сматра стишљивим;
- оптимизациони метод је прилагођен мултикритеријумским захтевима, руковођен дискретним и континуалним параметрима, а базира се на Дарвиновој теорији еволуције.

4. Научне методе истраживања

У оквиру истраживања на приложеној теми, а у поступку реализације научних резултата користиће се следеће опште и посебне научне методе:

- метода индукције и дедукције
- метода анализе
- метода синтезе
- метода генерализације
- метода класификације
- метода дескрипције
- метода компилације
- метода компарације
- математичке и статистичке методе
- метода моделирања
- метода симулације
- метода калибрације (валидизације и верификације)
- метода купловања
- метода коначних запремина
- метода коначних елемената
- метода оптимизације
- метода експертског мишљења.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да истраживачки рад током израде ове дисертације резултира следећим научним доприносима:

- Креирањем модуларног окружења, које ће се базирати на купловању аеродинамичког, структуралног и оптимизационог алгорита, а којим би се остварило комплетније и прецизније предвиђање, моделирање и симулирање сложених феномена аероеластичности.
- Такође, остварио би се научни допринос у аеродинамичко-структуралној анализи узгонских површина и носеће структуре и њиховој оптимизацији.
- Креирани алгоритми и методологија би требало да унапреде и инжењерску праксу, а такође и понуде нове смернице и оквире у развојним и производним процесима савремених летелица.

6. План истраживања и структура рада

За мултидисциплинарну анализу кроз предложену тезу користиће се алати и модули за аеродинамичке и структуралне прорачуне. Модул за аеродинамичку анализу је базиран на методи коначних запремина, док су модули за структуралну анализу базирани на методи коначних елемената (као што су модул за статичку линеарну и нелинеарну анализу, модул за динамичку/нестационарну анализу, модули за модалну анализу, хармонијску анализу и анализу извијања у линеарној области). Купловањем појединих модула, посредно и непосредно, зависно од анализе коју би требало спровести и критичне појаве које би требало моделирати, спровешће се механизам интеракције на релацији флуид-структура.

Поступак оптимизације ће се базирати на коришћењу еволутивног - генетског алгорита. Генетски алгоритам је метахеуристички метод оптимизације који симулира природну селекцију и еволуцију, односно процес базиран на Дарвиновој теорији еволуције.

Метод дефинишу генетски оператори селекција, укрштање и мутација над генерисаном популацијом, односно метамоделима. Коришћењем оптимизационог метода MOGA (Multi-Objective Genetic Algorithm) који је доступан и за континуалне и за дискретне проблеме, може се руководити са више циљева и представља глобални оптимизатор те је и подеснији за случајеве трагања за глобалним оптимумом, а што је у овом истраживању за поступак оптимизације од примарног значаја. MOGA представља хибридную варијанту NSGA-II (*Fast Non-dominated Sorted Genetic Algorithm-II*) базираног на Парето рангирању (Парето оптималности) и контролисаном елитизму. Сам метод MOGA је доступан у оквиру GDO (Goal Driven Optimization) модула који представља интегрисано окружење, односно скуп алата за дефинисање оптималног производа на основу сета узорака и флексибилних и нефлексибилних ограничења и циљева, тј. поступак којим је могуће анализирати и пратити понашање улазних параметара на основу одговарајућих критеријума и ограничења примењених на излазне параметре. Алати и технике (математичке, статистичке и апроксимативне методе) који опслужују GDO, чине DOE (Design of Experiments), RS (Response Surface) и селектовани оптимизатор MOGA.

Структура рада би требало да задовољи следећи концепт:

- Уводна разматрања на нивоу мотивација, потреба и прегледа литературе
- Преглед и дефинисање критичних појава које ће се моделирати и над којима ће се извршити аеродинамичка и аеродинамичко-структурална оптимизација
- Преглед потребних нумеричких метода и алата који ће се користити за аеродинамичке и структуралне прорачуне и оптимизацију
- Калибрација (валидизација и верификација) предложене нумерике и нумеричких симулација наспрам доступних аеродинамичких и структуралних експерименталних испитивања и других прорачунских метода (нпр. панелни метод)
- Креирање модуларно оријентисаног окружења за мултидисциплинарни оптимизацију
- Параметарско моделирање аеродинамичког облика и носеће структуре предложене за аероеластичну анализу
- Мултидисциплинарна анализа која подразумева моделирање појединих феномена аероеластичности методама нумеричких симулација на селектованој летелици
- Спровођење поступка оптимизација у дефинисаним оквирима спроведене аероеластичне студије над појединим феноменима
- Приказивање, процена и тумачење резултата мултидисциплинарне оптимизације
- Предлози за унапређивање и прилагођавање развијених алгоритама за могућу примену и на друге структуре као и за могућу примену и у другим научно-истраживачким областима
- Финална разматрања

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације Ненада Видановића, дипл. инж. машинства, а сходно одлуци број 1588/3 Наставно-научног већа донетој 19. 09. 2013. 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:

Ненаду Видановићу, дипл. инж. машинства, одобри израду докторске дисертације са темом:

**АЕРОДИНАМИЧКО-СТРУКТУРАЛНА ОПТИМИЗАЦИЈА УЗГОНСКИХ
ПОВРШИНА ЛЕТЕЛИЦА**

научна област: **машинство.**

За ментора кандидата Ненада Видановића, дипл. инж. Машинства, током рада на овој докторској дисертацији предлаже се **др Бошко Рашуо, редовни професор,** на катедри за Ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бошко Рашуо,
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

.....
Др Александар Бенгин,
ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

.....
Др Мирко Динуловић,
доцент Машинског факултета Универзитета у Београду

.....
Др Александар Грбовић,
доцент Машинског факултета Универзитета у Београду

.....
Др Гордана Кастратовић,
доцент Саобраћајног факултета Универзитета у Београду

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Ненада Видановића

Име и презиме ментора: Др БОШКО РАШУО

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. 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,
2. Title: T-38 Wind-Tunnel Data Quality Assurance Based on Testing of a Standard Model, Authors: Damljanić, D., Isaković, J., Rašuo, B., **JOURNAL OF AIRCRAFT**, Vol.50, Issue 4, July 2013, AIAA, Pages: 1141-1149, 10.2514/1.C032081, na SCI listi; IF 0.632, - M22,
3. Title: Failure analysis of an aircraft engine cylinder head, **ENGINEERING FAILURE ANALYSIS**, Authors: Krstić, B., **Rašuo, B.**, Trifković, D., Radišavljević, I., Rajić, Z., Dinulović, M., Volume 32, September 2013, Elsevier Ltd., ISSN: 1350-6307, Pages: 1-15, na SCI listi; IF 1.086, - M21,
4. 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,
5. 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,
6. Title: FEM based fatigue crack growth predictions for spar of light aircraft under variable amplitude loading, Authors: Grbović, A., **Rašuo, B.**, **ENGINEERING FAILURE ANALYSIS**, Volume 26, December 2012, Elsevier Ltd., ISSN: 1350-6307, Pages: 50-64, na SCI listi; IF 1.086, - M21,
7. 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, Pages: 557-562, na SCI listi; IF 0.347, - M23,
8. 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,
9. Title: Experimental Techniques for Evaluation of Fatigue Characteristics of Laminated Constructions from Composite Materials: Full-Scale Testing of the Helicopter Rotor Blades, Author: Rašuo, B., **JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION (JTE)**, Volume 39, Issue 2 (March 2011), ISSN: 0090-3973, (strane: 237-242), Paper ID: JTE102768, ASTM International,

West Conshohocken, PA, USA, DOI: 10.1520/JTE102768, pp. 237-242,, na SCI listi; IF 0.366, - M23,

10. Title: Dielectric modeling of multiphase composites, **COMPOSITE STRUCTURES**, Authors: Dinulović, M., Rašuo, B., Volume 93, Issue 11 October 2011, Pages: 3209-3215, Elsevier Ltd, DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.05.036, na SCI listi; IF 2.028, - M21,

11. 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,

12. 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,

13. 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,

14. Title: Some analytical and numerical solutions for the safe turn manoeuvres of agricultural aircraft - an overview, Author: **Rašuo B.** Source: **THE AERONAUTICAL JOURNAL**, Volume: 111, Issue: 1123, Pages: 593-599, ISSN: 0001-9240, Published: SEP 2007., IF: 0.415.

15. Title: On sidewall boundary layer effects in two-dimensional subsonic and transonic wind tunnels, Author: **Rašuo B.** Source: **ZEITSCHRIFT FUR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK**, Volume: 81, pages: S935-S936, ISSN: 0044-2267, Supplement: Suppl. 4, Published: 2001., IF: 0.801.

16. Title: Two-dimensional wall interference in transonic wind tunnels, Author: **Rašuo B.** Source: **ZEITSCHRIFT FUR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK** Volume: 77, Pages: S275-S276, ISSN: 0044-2267, Supplement: Suppl. 1, Published: 1997., IF: 0.801.

17. Title: On boundary layer control in two-dimensional transonic wind tunnel testing, Author: **Rašuo B.** Book Editor(s): Meier, GEA; Sreenivasan, KR, Conference: IUTAM Symposium on One Hundred Years of Boundary Layer Research Location: DLR, Gottingen, GERMANY Date: AUG 12-14, 2004, Source: **IUTAM SYMPOSIUM ON ONE HUNDRED YEARS OF BOUNDARY LAYER RESEARCH**, Book Series: Solid Mechanics and its Applications, Volume: 129, **Springer**, Pages: 473-482, Published: 2006.

18. Title: On solving boundary value problem in fluid mechanics by Fourier's method: Wall interference of transonic wind tunnels: **Rašuo B.** Book Editor(s): Wendyland, WI; Efendiev, M, Conference: International Conference on Multifield Problems Location: Univ Stuttgart, Stuttgart, GERMANY Date: APR 08-10, 2002, Source: **ANALYSIS AND SIMULATION OF MULTIFIELD PROBLEMS**, Book Series: LECTURE NOTES IN APPLIED AND COMPUTATIONAL MECHANICS, Volume: 12, **Springer**, Pages: 317-322, Published: 2003.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _20. 09. 2013._

М.П.
