

12.02.2014			
ИМЕ	ОСТАТИ	ОСТАТИ	ОСТАТИ

0111479

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације кандидата Александра Николића.

Одлуком стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-692/4 од 11.12.2013. именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности кандидата **Александра Николића**, дипл. маш. инж. и теме докторске дисертације под насловом:

**СИМУЛАЦИЈА ЛАМИНАРНОГ И ТУРБУЛЕНТНОГ СТРУЈАЊА НА РЕАЛНОМ
МОДЕЛУ АРТЕРИЈСКЕ БИФУРКАЦИЈЕ СА СТЕНОЗАМА**

На основу увида у приложену документацију, Комисија подноси Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

а) Лични подаци

Рођен је 16.08.1983. године у Крагујевцу, Република Србија, СФРЈ. Основну школу "Станислав Сремчевић" завршио је са одличним успехом. Прву крагујевачку гимназију, смер природно-математички, завршио је школске 2001/2002 са врло добрим успехом.

Машински факултет у Крагујевцу уписао је 2002. године. Дипломски рад под насловом "ПАК-Т интерфејс за софтвер GiD" одбранио је 12.11.2007. године под менторством професора Др Мирослава Живковића са оценом 10 (десет) на дипломском раду и средњом оценом 9,30 (девет и 30/100) у току студија. Добитник је награде "Студент генерације 2002". У току студија имао је истакнуте резултате и 2 пута је био награђиван за освајање другог места на Машинијадама 2004. и 2005. године из предмета Механика флуида и Отпорност материјала. Био је учесник Summer Academy 2005, одржане у Петровцу на мору, Црна Гора, организоване од стране Техничког Универзитета у Минхену.

Након дипломирања уписао је постдипломске студије школске 2007/2008 године на Машинском факултету у Крагујевцу, смер Примењена механика. Школске 2011/2012 прешао је на нови акредитовани програм докторских студија и положио све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.

Од 24.01.2008. године до 27.01.2011 био је стипендиста и истраживач на пројекту Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије TP12005. Од 01.01.2011. године и данас ради на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу као истраживач-сарадник на пројекту TP32036 Министарства просвете, науке и технолошког развоја. У току свог рада на радном месту истраживача-сарадника учествовао је у наставним активностима из више предмета: Рачунарски алати, Техничко цртање са компјутерском графиком, Механика 2, Метод коначних елемената 1 и Моделирање и симулације.

б) Научно-истраживачки рад

Научно-истраживачка активност кандидата припада области примењене механике и рачунарског инжењеринга, а уско је везана за нумеричке методе као што је метод коначних елемената. Кандидат је објавио **22** рада у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима. Учествовао је у реализацији једног техничког решења.

б.1) Објављени радови

M23 Рад у међународном часопису (3):

1. Živković Miroslav, **Nikolić Aleksandar**, Slavković Radovan, Živić Fatima, NONLINEAR TRANSIENT HEAT CONDUCTION ANALYSIS OF INSULATION WALL OF TANK FOR TRANSPORTATION OF LIQUID ALUMINUM, Thermal Science, Vol.14, No.No. 3, pp. S299-S312, ISSN 0354-9836, Doi 10.2298/TSCI100506029Z, 2010
2. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Milorad Živković, Miroslav Živković, Goran Stanković, INFLUENCE OF BLOCKS' TOPOLOGIES ON ENDOTHELIAL SHEAR STRESS OBSERVED IN CFD ANALYSIS OF ARTERY BIFURCATION, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol.15, No.1, pp. 97-104, ISSN 1509-409X, Doi 10.5277/abb130112, 2013
<http://www.actabio.pwr.wroc.pl/Vol15No1/12.pdf>
3. Radovan Nikolić, Miroslav Radovanović, Miroslav Živković, **Aleksandar Nikolić**, Dragan Rakić, Milan Blagojević, Modeling Of Thermoelectric Module Operation In Inhomogeneous Transient Temperature Field Using Finite Element Method, Thermal Science, Vol. 17, Suppl. 1, pp. S239-S250, ISSN 0354-9836, DOI:10.2298/TSCI130112185N, 2013
<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2013%20OnLine-First/0354-98361300185N.pdf>

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини (8):

1. Dragan Rakić, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Radovan Slavković, GiD-PAK INTERFACE, 4th Conference on Advances and Applications of GiD, Ibiza, Spain, 2008
2. **Aleksandar Nikolić**, Vladimir Dunić, Miroslav Živković, Radovan Slavković, NEUTRAL FILE GENERATION FOR GiD POST-PROCESSING USING PAK SUBROUTINES IMPLEMENTED IN FEAP, 5th Conference On Advances And Applications Of GiD & 1st Kratos Workshop, Barcelona, Spain, 2010, May, pp. 17-20, ISBN 978-84-96736-90-0
3. **Aleksandar Nikolić**, Milan Blagojević, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, PAK-FS – MULTIPHYSICS SOFTWARE MODUL FOR FLUID-STRUCTURE INTERACTION SIMULATIONS, 12th International Conference Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2012, Vrnjacka Banja, Serbia, 2012, 13-17. September, pp. 804-809, ISBN 978-86-6075-037-4
4. **Aleksandar Nikolić**, Milan Blagojević, Miroslav Živković, Aleksandar Aleksić, Radovan Petrović, INFLUENCE OF MESH QUALITY ON FLUID FLOW CALCULATED WITH SOFTWARE PAK-F EXPLICIT, 6th International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, 2012, June 8th 2012., pp. 561-568, ISBN 978-86-86663-82-5
5. **Aleksandar Nikolić**, Milan Blagojević, Vladimir Milovanović, Miroslav Živković, Miroslav Milutinović, ANALYSIS OF HEAT TRANSFER THROUGH THE BEAM SUPPORT OF THE WAGON STRUCTURE CALCULATED BY SOFTWARE PAK MULTYPHYSICS, "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2012, East Sarajevo - Jahorina 2012, Jahorina, B&H, 2012, 28-30.11, pp. 251-254, ISBN 978-99938-655-5-1

6. M. Blagojević, **A. Nikolić**, M. Živković, M. Živković and G. Stanković, REMOTE VISUALIZATION OF FINITE ELEMENT CALCULATION RESULTS IN VASCULAR INTERVENTIONS DECISION MAKING, International Conference on Applied Internet and Information Technologies ICAIT 2012, Zrenjanin, 2012, October 26, 2012, ISBN 978-86-7672-173-3
7. Milan Blagojević, Miroslav Živković, **Aleksandar Nikolić**, THE INFLUENCE OF THE DSLR CAMERA SHUTTER COUNT ON THE ACCURACY OF THE PHOTOGRAMMETRIC MEASUREMENTS, "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2012, East Sarajevo - Jahorina 2012, Jahorina, B&H, 2012, 28-30.11, pp. 601-606, ISBN 978-99938-655-5-1
8. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, ROLE OF OSCILLATORY SHEAR INDEX IN PREDICTING THE OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF PLAQUE, Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vrnjačka Banja, Serbia, 2013, 4-7 June, pp. 821-824, ISBN 978-86-909973-5-0

M45 Поглавље у монографији националног значаја (1):

1. Nikola Tonić, Dragan Rajković, **Aleksandar Nikolić**, Sonja Grubor, Snezana Nestić, Primena QMS-a u poslovanju prometno servisne organizacije, BEZBEDNOST PREHRAMBRENIH PROIZVODA I KVALITET USLUGA: USLOV ZA OSTVARIVANJE KONKURENTNOSTI, Monografija, Urednik prof. Slavko Arsovski, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Centar za kvalitet, ISBN 978 - 86 -86663 - 53 -5, Kragujevac, 2010

M52 Рад у часопису националног значаја (3):

1. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Slobodan Savić, Interakcija solida i fluida na primeru realne geometrije arterijske bifrukacije slučajno izabranog pacijenta, Tehnika, Vol.68, No.3, pp. 459-466, ISSN 0040-2176, 2013
2. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Ana Pavlović, Role of Oscillatory Shear Index in Predicting the Occurrence and Development of Plaque, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol.7, No.2, pp. -, ISSN 1820-6530, 2013
3. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Slobodan Savić, Fluid Structure Interaction On The Example Of Real Artery Bifurcation Of Random Selected Patient, Technics - Mechanical Engineering, Vol.68, No.1, pp. 59-66, ISSN 0040-2176, Doi UDC: 616.154:532.54, 2013

M53 Рад у научном часопису (2):

1. **Aleksandar Nikolić**, Milan Blagojević, Miroslav Živković, Aleksandar Aleksić, Slobodan Savić, SOFTWARE TECHNOLOGIES FOR THE ANALYSIS OF BLOOD FLOW IN THE HUMAN BODY, International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM), Vol.3, No.2, pp. 99-104, ISSN 2217-2661, Doi UDK 616.1:004, 2012
2. Milan Blagojević, **Aleksandar Nikolić**, Miroslav Živković, Milorad Živković, Goran Stanković, Remote Visualization of Finite Element Calculation Results in Vascular Interventions Decision Making, E-society - research and applications, Vol.3, No.1, pp. -, ISSN 2217-3269, 2013

M63 Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (4):

1. Dragan Rakić, **Aleksandar Nikolić**, Dragan Čukanović, PAK-T INTERFACE FOR SOFTWARE GiD, YU INFO 2008, 14th Conference on information and technology communications, Kopaonik, Serbia, 2008, 09th - 12th March 2008, pp. 91, ISBN 978-86-85525-03-2
2. **Aleksandar Nikolić**, Snežana Vulović, DEVELOPMENT OF INTERFACE IN GiD FOR ANALYSIS OF CONTACT PROBLEMS IN PROGRAM PAK/EXPLICIT, YU INFO 2010, 16th Conference on information and technology communications, Kopaonik, Serbia, 2010, March, pp. 03 - 06 March, ISBN 978-86-85525-05-6
3. Nikola Tonic, Dragan Rajković, **Aleksandar Nikolić**, IMPLEMENTATION OF QMS IN BUSINESS OF SERVICE – SALES ORGANIZATION, 4. International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, 2010, May, pp. 90, ISBN 978-86-86663-52-8
4. Blagojević Milan, **Nikolić Aleksandar**, Živković Miroslav, PRIKAZ POLJA STRUJANJA IZRAČUNATOG MKE PROGRAMOM PAK-F U PROGRAMU ZA POST-PROCESIRANJE PARAVIEW, YU INFO 2012, konferencija o računarskim naukama i informacionim tehnologijama, Kopaonik, 2012, 29. 2. - 3. 3. 2012., pp. 76

M85 Техничка и развојна решења (1):

1. Miroslav Živković, Milan Blagojević, Goran Stanković, **Aleksandar Nikolić**, Milorad Živković, Softver za brzo generisanje modela konačnih elemenata krvnih sudova - STL2FEM, TR-71/2012, Klinički centar Srbije, Beograd, Kragujevac, 2012
http://mfkg.rs/sajt/Downloads/tehnicka_resenja/TR-71-2012.pdf

6.2) Учешће на научно-истраживачким пројектима

Учествовао је у реализацији 4 научноистраживачка пројекта.

- [2006-2007] “Развој софтвера за анализу чврстоће и процену радног века конструкција”, Министарство науке и заштите животне средине, TP6204
- [2007] “Нелинеарна нестационарна анализа преноса топлоте кроз алу резервоар”, Машински факултет у Крагујевцу
- [2008-2011] “Развој софтвера за експлицитну нелинеарну динамичку анализу”, Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије, TP12005
- [2001-2014] “Развој софтвера за решавање спрегнутих мултифизичких проблема”, Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, TP32036

2. ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

2.1 Наслов докторске дисертације

Комисија се слаже са предложеним насловом докторске дисертације

СИМУЛАЦИЈА ЛАМИНАРНОГ И ТУРБУЛЕНТНОГ СТРУЈАЊА НА РЕАЛНОМ МОДЕЛУ АРТЕРИЈСКЕ БИФУРКАЦИЈЕ СА СТЕНОЗАМА

2.2 Предмет дисертације

Турбуленција у динамици вискозног флуида представља неправилно вртложно струјање које се јавља када брзина струјања прелази одређену границу или када се брзина флуида успорава због проласка поред чврстих тела. Типичне инжењерске примене су фокусиране на одређивање основних величина као што су средњи смицајни напон на зиду, притисак или брзина струјања флуида. За турбулентно струјање је карактеристично да поред средње брзине струјања, свака честица флуида има додатну брзину која може делимично бити у смеру главног струјања а може бити и супротна струјању. По овој карактеристици се турбулентно струјање разликује од ламинарног струјања које нема додатне брзине. Ламинарно струјање се обично карактерише Рејнолдсовим бројем. У суштини прелазак из ламинарног у турбулентни режим није стриктно дефинисан преко Рејнолдсовог броја већ то може варирати у зависности од вискозности и густине флуида. Када се флуид вртложно креће његови делићи прелазе из једне области у другу при чему преносе масу, количину кретања, енергију. Транспорт количине кретања доводи до турбулентних напона који не постоје код ламинарног струјања.

За опис турбулентног струјања флуида постоји неколико приступа. Први приступ је Директна нумеричка симулација (*Direct Numerical Simulation - DNS*) при коме се Навије-Стоксове једначине директно решавају нумеричким путем без икаквих апроксимација и турбулентних модела. Овај приступ је доста компјутерски скуп и превазилази могућности данашњих компјутера. Други приступ је Симулација крупних вртлога (*Large Eddy Simulacija - LES*). Овај приступ се заснива на нископропусном филтеровању и такође користи Навије-Стоксове једначине да редукује опсег дужине скале што се користи да се смање компјутерски трошкови прорачуна. Трећи приступ у проучавању турбуленције је статистичко моделирање турбуленције. Овај приступ се заснива на апроксимацији да се брзина флуида може одредити као збир просечне вредности брзине и флукуације брзине око те вредности. Применом ове методе на Навије-Стоксове једначине добијају се Рејнолдсове једначине. У овим једначинама фигуришу просечне вредности брзине и притиска уместо тренутне вредности али постоје и нови чланови који се називају турбулентним напонима или Рејнолдсовим напонима. Проблем одређивања ових напона доводи до увођења турбулентних модела и одређених апроксимација да би се дошло до решења поља притиска и брзина флуида. Турбулентни модели који ће бити имплементирани у овом раду су једноједначински

и двоједначински турбулентни модели који заједно са Рејнолдсовим једначинама дају затворен систем једначина који је могуће решити.

Поменути турбулентни модели ће бити имплементирани у софтвер за рачунску динамику флуида - ПАК-Ф. Подразумева се верификација развијеног кода на стандардним тест примерима за проблеме турбуленције. Биће извршено и упоређивање различитих турбулентних модела ради даље анализе при сложенијим проблемима. Рад ће бити посебно фокусиран на практичну примену развијених турбулентних модела при симулацији струјања крви на реалном 3Д моделу артеријске бифуркације са стенозама.

2.3 Основне полазне хипотезе

Полазне хипотезе истраживања засноване су на поставкама теорије турбулентног струјања флуида при чему ће се примењивати следеће основне претпоставке:

- Теоријско извођење Рејнолдсових једначина заснива се на Навије-Стоксовим једначинама и једначини континуитета,
- Уводи се Рејнолдсова апроксимација за брзину и притиске,
- Примењује се Бусинескова хипотеза која апроксимира Рејнолдсове напоне тако да се они могу представити преко турбулентне вискозности и просечне вредности брзине струјања флуида,
- Уводе се додатне једначине преко којих се израчунавају основне турбулентне величине као што су кинетичка енергија турбуленције, дисипација кинетичке енергије турбуленције или специфичне дисипације кинетичке енергије турбуленције,
- Турбулентна вискозност се дефинише преко кинетичке енергије турбуленције и дисипације кинетичке енергије турбуленције,
- Дефинишу се додатне константе које се појављују у једначинама турбулентних модела а које су одређене емпиријски,
- Рачунање смичућег напона на зиду се добија преко брзине трења.

2.4 Подобност кандидата

На основу досадашњег истраживања и објављених радова у иностраним и домаћим часописима, и на конференцијама, испуњени су сви предуслови за израду докторске дисертације.

2.5 Преглед стања у подручју истраживања

Турбулентни модели се већином заснивају на Бусинесковој хипотези (Boussinesq hypothesis) која практично апроксимира Рејнолдсове напоне тако да се они могу изразити преко турбулентне вискозности и просечне брзине струјања флуида. Да би се решио затворен систем Рејнолдсових једначина и одређени турбулентни модел потребно је дефинисати

константе турбулентног модела које су одређене експерименталним путем и дате су у литератури. Турбулентно струјање има у основи још један проблем, а то је струјање флуида у близини чврстих зидова. Расподела брзине у овом граничном слоју може се апроксимирати логаритамским функцијама које су у литератури још познате и као зидне функције (wall functions). Зидне функције су полу-емпиријске релације, које дефинишу профил подужне компоненте вектора брзине у турбулентном граничном слоју на основу растојања од зида, смичућег напона на зиду, густине и вискозности.

Анализа струјања крви у артеријама има за циљ да одреди основне хемодинамске карактеристике као што су брзина струјања крви, притисак или смичући напон на зиду. Артерије са сужењем попречног пресека (стеноза) су посебно интересантне за проучавање. Приликом струјања крви у артерији струјање се обично карактерише као ламинарно пре стенозе, док након стенозе долази до вртложног струјања које се може најбоље окарактерисати турбулентним струјањем са нижим Рејнолдсовим бројем. Проучавање овог феномена је такође интересантно и са медицинске стране. Након сваког сужења и наглог проширења пресека артерије долази до нагомилавања лошег холестерола који се даље може развити у атеросклеротични плак који доводи до срчаног удара. Проучавањем хемодинамских карактеристика у артеријама могуће је извршити дубљу анализу проблема који се јављају код кардиваскуларних болести.

Истраживања у оквиру докторске дисертације ослањаће се на истраживања представљена у следећој полазној литератури:

- [1] Bathe K. J., Finite Element Procedures. USA, Massachusetts Institute of Technoogy, 1996.
- [2] Kojić M., Slavković R., Živković M., and Grujović N., Metod konačnih elemenata I - Linearna analiza, Kragujevac, Mašinski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, 1998.
- [3] M. Kojić, N. Filipović, B. Stojanović, N. Kojić, Computer Modeling in Bioengineering, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 2008.
- [4] Којић М, Филиповић Н, Живковић М, Славковић Р, Грујовић Н, "Софтвер за ламинарно струјање флуида и пренос топлоте - ПАК-Ф", Техничко решење, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2010.
- [5] Blagojević M, Nikolić A, Živković M, Živković M, Stanković G, A Novel Framework for Fluid/Structure Interaction in Rapid Subject-specific Simulations of Blood Flow in Coronary Artery Bifurcations, Vojnosanitetski pregled, In press, ISSN 0042-8450, 2013.
- [6] Nikolić A, Blagojević M, Živković M, Aleksić A, Savić S, Software technologies for the analysis of blood flow in the human body, International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM), Vol.3, No.2, pp. 99-104, ISSN 2217-2661, UDK 616.1:004, 2012.

- [7] Blagojević M, Nikolić A, Živković M, Živković M, Stanković G, Influence of blocks' topologies on endothelial shear stress observed in CFD analysis of artery bifurcation, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol.15, No.1, pp. 97-104, ISSN 1509-409-, Doi 10.5277/abb130112, 2013, 2013
- [8] D. Kuzmin, O. Mierka, S. Turek, On the implementation of the $k-\epsilon$ turbulence model in incompressible flow solvers based on a finite element discretization, International Journal of Computing Science and Mathematics, Vol. 1, Issue 2-4, pp. 193-206, 2007.
- [9] Norberto Nigro, Mario Storti and AngelZanotti, Numerical Aspects Of $k-\epsilon$ Turbulence Modeling Using A Finite Element Incompressible Navier-Stokes Formulation, Mecom 2002 - First South-American Congress on Computational Mechanics, pp. 700-719, October 2002.
- [10] R. H. Nichols, Turbulence Models and Their Application to Complex Flows, University of Alabama at Birmingham, 2005.
- [11] Wilcox, D. C, Turbulence Modeling for CFD, 2nd ed., La Canada, CA, DCW Industries, 1998
- [12] P. A. Durbin, B. A. Pettersson Reif, Statistical Theory and Modeling for Turbulent Flows, John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [13] J. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, 3rd ed, Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork, 2002.
- [14] Ismail B. Celik, Introductory Turbulence Modeling, Lectures Notes, West Virginia University Mechanical & Aerospace Engineering Dept, 1999.
- [15] J. M. McDonough, Introductory Lectures on Turbulence, Physics, Mathematics and Modeling, Departments of Mechanical Engineering and Mathematics, University of Kentucky, 2007.
- [16] Z. Čarija and Z. Mrša, Complete Francis turbine flow simulation for the whole range of discharges, 4th International Congress of Croatian Society of Mechanics, September, 18-20, Bizovac, Croatia, 2003.
- [17] Eric Furbo, Evaluation of RANS turbulence models for flow problems with significant impact of boundary layers, Master thesis, Upsala University, 2011.
- [18] Christine Bernardi, Tomas Chacon Rebollo, Frederic Hecht and Roger Lewandowski, Automatic insertion of a turbulence model in the finite element discretization of the Navier–Stokes equations, Math. Models Methods Appl. Sci. Vol. 19, Issue 7, 2009.

- [19] Ramon Codina and Orlando Soto, Finite Element Implementation Of Two-Equation And Algebraic Stress Turbulence Models For Steady Incompressible Flows, Int. J. Numer. Meth. Fluid, vol. 30, pp. 309–333, 1999.
- [20] Jovičić Nebojša, Modeliranje i simulacija radnih procesa u hidrauličkim turbomašinama” - Monografija, ISBN 86-7784-035-4, Legenda, Čačak, 2006.
- [21] J. Banks and N. W. Bressloff, Turbulence Modeling in Three-Dimensional Stenosed Arterial Bifurcations, Transactions of the ASME, Vol. 129, February 2007, pp. 40-50.
- [22] Sonu S. Varghese and Steven H. Frankel, Numerical Modeling of Pulsatile Turbulent Flow in Stenotic Vessels, Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 125, August 2003, pp. 445-460.
- [23] Kyoung Chul Ro and Hong Sun Ryou, Numerical study on turbulent blood flow in a stenosed artery bifurcation under periodic body acceleration using a modified k- ϵ model, Korea-Australia Rheology Journal, Vol. 22, No. 2, June 2010, pp. 129-139.
- [24] M.Arab-Ghanbari, M.M.Khani, A. Arefmanesh, F.Tabatabai-Ghomshe, Analysis of Blood Turbulent Flow in Carotid Artery Including the Effects of Mural Thrombosis Using Finite Element Modeling, American Journal of Applied Sciences, Vol. 6, Issue 2, pp. 337-344, 2009, ISSN 1546-9239.
- [25] J. S. Stroud, S. A. Berger, D. Saloner, Numerical Analysis of Flow Through a Severely Stenotic Carotid Artery Bifurcation, Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 124, FEBRUARY 2002, pp. 9-20.
- [26] I. Mustafa, S. Ishtiaque, X. Y. Xu and N. B. Wood, Turbulence modeling in stenosed carotid arteries using CFD, Yanbu Journal of Engineering and Science, Vol. 2, April 2011, pp. 83-90.

2.6 Значај и циљ истраживања са становишта актуелности у одређеној научној области

Научни циљ дисертације је развој, имплементација и верификација турбулентних модела у рачунској динамици вискозног флуида применом методе коначних елемената. Главни резултат дисертације ће бити развијени модули за прорачун турбулентног струјања који ће моћи да се примењују за проучавање медицинских феномена који се јављају у артеријским бифуркацијама са стенозама.

На основу изведених теоријских поставки турбулентни модели ће бити имплементирани у програмски пакет ПАК-Ф који се развија у Лабораторији за инжењерски софтвер на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Верификација развијених програмских модула биће извршена анализом већег броја нумеричких тест примера који треба да покажу основне карактеристике турбулентног

струјања и поклапање са резултатима врхунских комерцијалних софтвера из области рачунске динамике флуида (Fluent, Comsol).

2.7 Веза са досадашњим истраживањима

У току свог истраживачког рада, кандидат се бавио истраживањима у области у којој је предложена тема дисертације, што се види из радова које је објављивао. Током истраживања на докторским студијама, кандидат је објавио неколико радова који су из области рачунске динамике вискозног флуида и методе коначних елемената.

2.8 Методе истраживања

Основне методе које ће се користити у дисертацији су метода коначних елемената (МКЕ) са имплементираним турбулентним моделом струјања флуида. При израчунавању основних физичких величина биће примењена имплицитна интеграција једначина које описују проблем.

Одређивање брзине струјања флуида, притиска, кинетичке енергије турбуленције и дисипације кинетичке енергије турбуленције у чворовима коначних елемената ће бити одређено на крају сваког корака. У оквиру рада истражиће се и примена Грид инфраструктуре, при чему је потребно да програмски код буде паралелно програмиран. Тиме би се могли решавати и модели са преко милион чворова што је један од услова за успешну примену развијеног софтвера.

2.9 Очекивани резултати докторске дисертације

Применом претходно описаних метода очекују се следећи кључни резултати:

- Развијена палета турбулентних модела (једноједначински и двоједначински) који дају добро поклапање са калибрисаним ERCOFTAC примерима и са резултатима светски познатих софтвера из рачунске динамике флуида,
- Предлог оптимизованих коефицијената за неки турбулентни модел који даје добро поклапање са расположивим експерименталним резултатима (по могућству за модел артеријске бифуркације са стенозама),
- Да се развијеним софтвером успешно могу решавати и други проблеми интеракције флуида и структура који обухватају како турбулентно тако и ламинарно струјање флуида при покретним границама солида,
- Нови софтвер може бити пријављен као ново техничко решење.

2.10 Оквирни садржај дисертације

1. Увод
2. Опис проблема и основна разматрања проблема турбуленције
3. Математички модел турбулентног струјања
4. МКЕ формулација турбулентног струјања и имплементација турбулентних модела
5. Верификациони примери
6. Симулација ламинарног и турбулентног струјања крви у артеријској бифуркацији са стенозама
7. Закључак
8. Литература

2.11 Ментор

Ментор рада је др Мирослав Живковић, редовни професор на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Проф. др Мирослав Живковић испуњава све услове да би био ментор што укључује и потребан број радова на СЦИ листи:

1. Živković M., Kojić M., Slavković R. and Grujović N., A general beam finite element with deformable cross-section, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 190, No. 20-21, pp. 2651-2680, ISSN: 0045-7825, DOI: 10.1016/S0045-7825(00)00259-0, 2001, [M21]
2. Kojić M., Vlastelica I. and Živković M., Implicit stress integration procedure for small and large strain of the Gurson material model, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 53, No. 12, pp. 2701-2720, ISSN: 0029-5981, DOI: 10.1002/nme.410, 2002, [M21]
3. Mijailović S., Kojić M., Živković M., Fabry B. and Fredberg J., A finite element method of cell deformation during magnetic bead twisting, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 94, No. 4, pp. 1429-1436, ISSN: 8750-7587, DOI: 10.1152/jappphysiol.00255.2002, 2002, [M21]
4. Slavković R., Živković M. and Kojić M., Enhanced 8-node three-dimensional solid and 4-node shell elements with incompatible generalized displacements, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, Vol. 10, No. 9, pp. 699-709, ISSN: 2040-7947, DOI: 10.1002/cnm.1640100904, 1994, [M22]
5. Kojić M., Živković M. and Kojić A., Elastic-plastic analysis of orthotropic multilayered beam, *Computers & Structures*, Vol. 57, No. 2, pp. 205-211, ISSN: 0045-7949, DOI: 10.1016/0045-7949(94)00603-Z, 1995, [M22]
6. Kojić M., Grujović N., Slavković R. and Živković M., A general orthotropic von Mises plasticity material model with mixed hardening: Model definition and implicit stress integration procedure, *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 63, No. 2, pp. 376-382, ISSN: 0021-8936, DOI: 10.1115/1.2788875, 1996, [M22]

7. Jovičić G., Grabulov V., Maksimović S., Živković M., Jovičić N., Bošković G., Maksimović K., Residual life estimation of a thermal power plant component – The high-pressure turbine housing case, *Thermal science - International Scientific Journal*, Vol. 13, No. 4, pp. 99-106, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI0904099J, 2009, [M23]
8. Jovičić G., Živković M., Jovičić N., Numerical simulation of crack modeling using extended finite element method, *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 55, No. 9, pp. 549-554, ISSN: 0039-2480, UDC 620.178, 2009, [M23]
9. Jovičić G., Živković M., Sedmak A., Jovičić N., Milovanović D., Improvement of algorithm for numerical crack modeling, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 19-35, ISSN: 0354-9836, 2010, [M23]
10. Lazić V., Sedmak A., Živković M., Aleksandrović S., Čukić R., Jovičić R., Ivanović I., Theoretical-experimental determining of cooling time ($t_{8/5}$) in hard facing of steels for forging dies, *Thermal science - International Scientific Journal*, Vol. 14, No. 1, pp. 235-246, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI1001235L, 2010, [M23]
11. V. Mandić, D. Adamović, Z. Jurković, M. Stefanović, M. Živković, S. Randelović, T. Marinković, Numerical FE modelling of the ironing process of aluminium alloy and its experimental verification, *Transaction of FAMENA*, Vol. 34, No. 4, pp. 59-69, ISSN: 1333-1124, 2010, [M23]
12. Živković M., Nikolić A., Slavković R., Živić F., Nonlinear transient heat conduction analysis of insulation wall of tank for transportation of liquid aluminum, *THERMAL SCIENCE - International Scientific Journal*, Vol. 14, Suppl., pp. 299-312, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI100506029Z, 2010, [M23]
13. Živković M., Vulović S., Vujanac R., Assessment of the drum remaining lifetime in thermal power plant, *THERMAL SCIENCE International Scientific Journal*, Vol. 14, Suppl., pp. 313-321, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI100507030Z, 2010, [M23]
14. Milan Blagojević, Aleksandar Nikolić, Milorad Živković, Miroslav Živković, Goran Stanković, INFLUENCE OF BLOCKS' TOPOLOGIES ON ENDOTHELIAL SHEAR STRESS OBSERVED IN CFD ANALYSIS OF ARTERY BIFURCATION, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol.15, No.1, pp. 97-104, ISSN 1509-409X, Doi 10.5277/abb130112, 2013
15. Radovan Nikolić, Miroslav Radovanović, Miroslav Živković, Aleksandar Nikolić, Dragan Rakić, Milan Blagojević, Modeling Of Thermoelectric Module Operation In Inhomogeneous Transient Temperature Field Using Finite Element Method, *Thermal Science*, Vol. 17, Suppl. 1, pp. S239-S250, ISSN 0354-9836, DOI:10.2298/TSCI130112185N, 2013
16. Milan Blagojević, Aleksandar Nikolić, Milorad Živković, Miroslav Živković, Goran Stanković, A Novel Framework for Fluid/Structure Interaction in Rapid Subject-Specific Simulations of Blood Flow in Coronary Artery Bifurcations, *Vojnosanitetski preglad: Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia*, Vol.70, No.-, pp. -, ISSN 0042-8450, In press, 2013

2.12 Научна област дисертације

Докторска дисертација се налази у области Примењене механике и Примењене информатике и рачунарског инжењерства.

2.13 Научна област чланова комисије

Др Небојша Јовичић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Научна област: Енергетика и процесна техника

Др Ненад Филиповић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

Др Милош Недељковић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду. Научна област: Рачунска и експериментална механика флуида

Др Радован Славковић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

Др Мирослав Живковић, редовни професор, ментор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

3. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

На основу свега наведеног у тачкама 1 и 2 овог извештаја комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

Александар Николић, дипломирани машински инжењер, испунио је све, Законом о универзитету и Статутом Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

На основу предложених полазних хипотеза, предмета и научних циљева тезе, метода истраживања и очекиваних теоријских и примењивих резултата истраживања комисија сматра да је тема под насловом:

"СИМУЛАЦИЈА ЛАМИНАРНОГ И ТУРБУЛЕНТНОГ СТРУЈАЊА НА РЕАЛНОМ МОДЕЛУ АРТЕРИЈСКЕ БИФУРКАЦИЈЕ СА СТЕНОЗАМА"

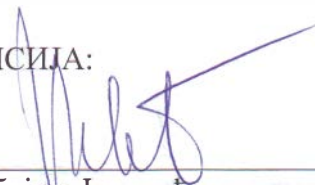
веома актуелна и садржајно квалитетна и да може дати конкретне научне резултате.

ПРЕДЛОГ МЕНТОРА

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Мирослав Живковић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

У Крагујевцу,
20.01.2014.

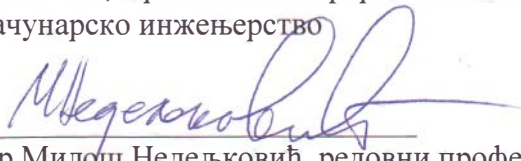
КОМИСИЈА:



Др Небојша Јовичић, редовни професор,
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу, ужа научна област: Енергетика и
процесна техника



Др Ненад Филиповић, редовни професор,
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу, уже научне области: Примењена
механика, Примењена информатика и
рачунарско инжењерство



Др Милош Недељковић, редовни професор,
Машински факултет, Универзитет у
Београду, ужа научна област: Рачунска и
експериментална механика флуида



Др Радован Славковић, редовни професор,
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу, уже научне области: Примењена
механика, Примењена информатика и
рачунарско инжењерство



Др Мирослав Живковић, редовни професор,
ментор, Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу, уже научне
области: Примењена механика, Примењена
информатика и рачунарско инжењерство