

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ			
ПРИМЉЕНО 7.11.2014.			
Одг. ред.	Број	Прилог	Вредност
	014/3689		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**Предмет:** Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тијане Ђукић, мастер инжењера машинства

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/3375-11 од 23.10.2014. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тијане Ђукић, маст. инж. маш., под насловом:

**Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду  
и примена у биомедицинском инжењерингу**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја о подобности кандидата и теме докторске дисертације која је одобрена за израду одлуком Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, бр. 01-1/1211-5 од 17.04.2014. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области**

Докторска дисертација кандидата Тијане Ђукић, маст. инж. маш., под насловом „Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду и примена у биомедицинском инжењерингу“ представља резултат мулти-дисциплинарног научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области примене нумеричких модела у биомедицинском инжењерингу, конкретно у микроциркулацији у људском организму.

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата компетентних истраживача у области истраживања ове докторске дисертације, који су објављени у водећим међународним часописима. На основу спроведене анализе предности и недостатака различитих метода које су предложене у литератури, кандидат је одабрао и дефинисао нумерички модел који је користио у сопственим истраживањима.

У оквиру дисертације Кандидат је представио комплетан нумерички модел који симулира тродимензионално струјање крви кроз крвне судове у људском организму. Такође, представљен је нумерички модел који симулира комплексно кретање деформабилних честица и црвених крвних зрнаца које су изложене значајним променама облика у капиларним крвним судовима. Дефинисани нумерички модел је коришћен приликом развијања софтверског решења. Успешност и тачност нумеричке методе и софтвера показана

је на неколико примера, кроз поређење са експерименталним резултатима и бројним другим решењима из литературе. Још једна предност предложене методе је што доста реално осликава услове у људском организму.

Већина модела који су до сада представљени у литератури су ограничени на симулације у геометријски једноставним крвним судовима. Метода коју је кандидат представио у овој дисертацији и развијени софтвер могу да се користе за моделирање сложеног кретања вискоеластичних тела, као што су црвена крвна зрнца, у капиларним крвним судовима чија је геометрија комплексна.

Поред тога, кандидат се бавио проблемом компјутерских ресурса и дужине извршавања једне нумеричке симулације, па је приликом имплементације нумеричке методе посебна пажња посвећена техникама паралелизације. Постигнута су значајна убрзања развијеног софтвера на компјутерским кластерима.

Због свега наведеног, Комисија сматра да нумеричка метода представљена у овом раду и развијени софтвер имају велики потенцијал и могу допринети већој и значајнијој практичној примени нумеричких симулација у решавању реалних проблема у биомедицинском инжењерингу.

## **2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области**

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Тијане Ђукић, маг. инж. маш., под насловом „Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду и примена у биомедицинском инжењерингу“ представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области примењене информатике и рачунарског инжењерства. Кандидат је тему обрадио студиозно и детаљно, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Критички су анализирани бројни научни радови публиковани у врхунским међународним часописима, а односе се на проблем разматран у овој дисертацији.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у овој докторској дисертацији огледа се, између осталог, у следећим елементима:

- Увидом у релевантне радове, Кандидат је научној и стручној јавности предложио комплетан нумерички модел који симулира тродимензионално струјање крви како кроз велике крвне судове, тако и кроз мале крвне судове, комплексних геометријских карактеристика. Тачност предложене нумеричке методе је утврђена поређењем решења са решењима добијеним применом методе коначних елемената, за три највећа крвна суда у људском организму – аорту, каротидну и коронарну артерију.
- У дисертацији је развијен и комплетан нумерички модел који симулира комплексно кретање вискоеластичних честица у капиларним крвним судовима. Највећа предност предложене методе је што омогућава моделирање кретања у комплексним геометријским доменима, за разлику од других метода које су представљене у литератури. Такође, у оквиру нумеричке методе омогућено је да се моделира кретање деформабилне честице, односно црвеног крвног зрнца, које је испуњено флуидом који је различитих карактеристика од околне крвне плазме, што је апсолутно идентично реалним условима у људском организму.
- У оквиру дисертације развијен је компјутерски софтвер који се може покретати на компјутерским кластерима, захваљујући посебним техникама паралелизације. На овај начин постигнуто је да се нумеричке симулације могу извршавати неколико десетина

пута брже, што омогућава практично интерактивно праћење резултата симулација у реалном времену.

- Кандидат је у оквиру ове дисертације спровео анализу тачности предложеног нумеричког модела. Поређењем резултата спроведених симулација са резултатима који су објављени у релевантној литератури Кандидат је доказао да се развијени софтвер може успешно примењивати у симулацијама реалних проблема у биомедицинском инжењерингу на микроскопском нивоу. Симулирано је укупно 9 различитих проблема, од којих су неки веома значајни у области биомедицине, као што је кретање црвених крвних зрнаца кроз бифуркацију или артерију са стенозом, као и кретање црвених крвних зрнаца и канцер ћелија кроз микрофлуидни чип за сепарацију канцер ћелија.
- Кандидат је спровео анализу тачности нумеричке методе и на реалном примеру, симулацијом кретања црвених крвних зрнаца кроз реални домен добијен експерименталним снимањем протока крви кроз сплет репних вена у посебној врсти рибе, тзв. зебра риби. Овај експеримент представља један експеримент *in-vivo*, где је посматран проток крви кроз реалан организам у реалном времену, па је тиме на најубедљивији начин верификован предложен нумерички модел.

### 3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Тијана Ђукић, рођена 01.04.1988. године у Крагујевцу, од оца Радета и мајке Мирјане, завршила је основну школу и Прву крагујевачку гимназију као носилац дипломе Вук Караџић и као ђак генерације.

Учествовала је на 45 такмичења од општинског до савезног нивоа које организује Министарство просвете и науке Републике Србије из математике, физике, информатике и немачког језика. На општинским и окружним такмичењима освајала је углавном прва места, а освојила је и 14 републичких и савезних награда, од којих је 8 првих.

Основне академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу завршила је у року, као прва у генерацији, са просечном оценом 10.0 и проглашена је за студента генерације.

Мастер академске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу завршила је 14.02.2012. са просечном оценом 10.0, као прва у генерацији. На свечаности поводом Дана факултета и доделе диплома, награђена је књигом као студент генерације Мастер студија.

Све испите на свим степенима студија положила је у првом предвиђеном року (јануарском и јунском), из првог пута.

Била је стипендиста Фондације за развој научног и уметничког подмлатка Министарства просвете и науке Републике Србије. Стипендију је добила у првој години Гимназије (као један од 35 средњошколаца у Србији) и примала је девет година – током целог школовања.

Била је добитник стипендије Универзитета у Крагујевцу, која се додељује најбољим студентима Универзитета.

Такође је *Microsoft Student Partner (MSP)* већ 5 година, што је постала после победе на финалу такмичења *Imagine Cup* за Србију и представљања Србије у Паризу, на највећем светском студентском такмичењу у информационам технологијама.

Докторске академске студије уписала је школске 2012/13. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

Запослена је у Истраживачко-развојном центру за Биоинжењеринг, као истраживач сарадник.

Говори 5 страних језика – енглески, немачки, шпански, француски и италијански.

Кандидат је коаутор једне књиге међународног значаја, 17 радова у међународним и националним часописима, као и на међународним конференцијама. До сада је била ангажована на седам међународних и једном националном пројекту.

### Списак објављених радова

#### Рад у врхунском међународном часопису, [M<sub>21</sub>]:

1. Filipovic, N., Zivic, M., Obradovic, M., **Djukic, T.**, Markovic, Z., Rosic, M., Numerical and experimental LDL transport through arterial wall, *Microfluidics and Nanofluidics*, 16(3), pp. 455-464, doi: 10.1007/s10404-013-1238-1, ISSN: 1613-4982, 2014.
2. Filipovic N., **Djukic T.**, Saveljic I., Milenkovic P., Jovicic G., Djuric M., Modeling of liver metastatic disease with applied drug therapy, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 115(3), pp. 162-170, doi: 10.1016/j.cmpb.2014.04.013, ISSN: 0169-2607, 2014.

#### Рад у истакнутом међународном часопису, [M<sub>22</sub>]:

1. Filipovic, N., Isailovic, V., **Djukic, T.**, Ferrari, M., Kojic, M., Multi-scale modeling of circular and elliptical particles in laminar shear flow, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(1), pp. 50-53, doi: 10.1109/TBME.2011.2166264, PMID: 21878403, ISSN: 0018-9294, 2012.
2. **Djukic, T.**, Mandic, V., Filipovic, N., Virtual reality aided visualization of fluid flow simulations with application in medical education and diagnostics, *Computers in Biology and Medicine*, 43(12), pp. 2046-2052, doi: 10.1016/j.combiomed.2013.10.004, ISSN: 0010-4825, 2013.

#### Рад у међународном часопису, [M<sub>23</sub>]:

1. Filipovic N., Nikolic D., Saveljic I., **Djukic T.**, Adjic O., Kovacevic P., Cemerlic-Adjic N., Velicki L., Computer simulation of thromboexclusion of the complete aorta in the treatment of chronic type B aneurysm, *Computer Aided Surgery*, 18(1-2), pp. 1-9, doi: 10.3109/10929088.2012.741145, ISSN: 1092-9088, 2013.
2. Tadic, D., Misita, M., Milanovic, D., **Djukic, T.**, Senussi, G., A novel approach to process improvement in small and medium manufacturing enterprises, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(5), pp. 777-789, doi: 10.1177/0954405413508768, ISSN: 0954-4054, 2014.
3. Filipovic, N., **Djukic T.**, Radovic M., Cvetkovic D., Curcic M., Markovic S., Peulic A., Jeremic B., Electromagnetic field investigation on different cancer cell lines, *Cancer Cell International*, 14, pp. 84-94, doi: 10.1186/s12935-014-0084-x, ISSN: 1475-2867, 2014.

**Рад у часопису националног значаја, [M<sub>53</sub>]:**

1. Vlastelica, I., Isailović, V., **Djukić, T.**, Filipović, N., Kojić, M., On accuracy of the Element-free Galerkin (EFG) method in modeling incompressible fluid flow, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, 2, 1, pp. 90-99, 2008.
2. **Djukic, T.**, Topalovic, M., Filipovic, N., Parallelization of Specialized Fluid Flow Simulator Based on Lattice Boltzmann Method on a Multi GPU System, IPSI Transactions on Advanced Research, 10(1):8-12, 2014.
3. Filipovic, N., **Djukic, T.**, Optimization Procedures During Parallelization of Specialized Software for Fluid Flow Simulations, IPSI Transactions on Advanced Research, 10(1):1-7, 2014.

**Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу, [M<sub>32</sub>]:**

1. Kojic, M., Filipovic, N., Isailovic, V., Vlastelica, I., Stojanovic, B., Petrovic, D., **Djukic, T.**, Decuzzi, P., Ferrari, M., On loose vs strong coupling for fluid-solid interaction in case of deformable body motion through incompressible fluid, 2<sup>nd</sup> South-East European Conference on Computational Mechanics An IACM-ECCOMAS Special Interest Conference M. Papadrakakis, M. Kojic, V. Papadopoulos (eds.) Rhodes, Greece, pp. 38-58, 22-24 June 2009.

**Саопштење са међународног скупа штампано у целини, [M<sub>33</sub>]:**

1. Kojic, M., Isailovic, V., Vlastelica, I., Filipovic, N., **Djukic, T.**, Decuzzi, P., Ferrari, M., Investigation of strong fluid-solid coupling computational scheme in capillary flows, 2<sup>nd</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics (IConSSM 2009), Palić (Subotica), Serbia, pp. M3-10: 1-8, 1-5 June 2009.
2. Tadic, D., Stefanovic, M., Arsovski, S., **Djukic, T.**, Aleksic, A., Fuzzy rating of criteria weights of management problems in ELV recycling research area, 5<sup>th</sup> International Quality Conference, Kragujevac, Serbia, pp. 193-199, 20 May 2011.
3. Isailovic, V., **Djukic, T.**, Ferrari, M., Filipovic, N., Kojic, M., Motion of circular and elliptical particles in laminar flows, Third Serbian (28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake, Serbia, pp. 1049-1059, 5-8 July 2011.
4. **Djukic, T.**, Savic, S., Filipovic, N., Computer simulation of motion of solid particles in laminar flow using strong solid-fluid coupling computational scheme, Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vrnjacka Banja, Serbia, pp. 775-780, 4-7 June 2013.
5. **Djukic, T.**, Saveljic, I., Milenkovic, P., Djuric, M., Filipovic, N., Multi-scale modeling of cancer progression and prediction of tumor behavior based on experimental results, 19th Congress of the European Society of Biomechanics (ESB2013), Patras, Greece, S-63.5:210, 25-28 August 2013.
6. Filipovic N., **Djukic T.**, Radovic M., Cvetkovic D., Markovic S., Jeremic B., Experimental and Numerical investigation of Electromagnetic Field at Different Cancer Cell Lines, 2013 IEEE 13TH International Conference On Bioinformatics And Bioengineering (BIBE), M.2.2.4:85-86, 2013.

### Књига међународног значаја:

1. Rakocovic, G., **Djukic, T.**, Filipovic, N., Milutinovic, V., Computational Medicine in Data Mining and Modeling, Springer, New York, USA, ISBN: 978-1-4614-8784-5 (Print) 978-1-4614-8785-2 (Online), 2013.

### Учешће на научно-истраживачким пројектима

1. Оквирни пројекат: FP7 – Large-scale Integrating Project (IP), ICT IP-224297 – ARTreat: *Multi-level patient-specific artery and atherogenesis model for outcome prediction, decision support treatment, and virtual hand-on training* (09/01/08 – 8/31/12), Координатор за Србију др Ненад Филиповић, редовни професор
2. Међународни пројекат: *Modeling of Blood Microcirculation, Margination and Endocytosis of Particles*, The University of Texas Health Science Center at Houston, USA, (10/01/08 – 10/31/12), Координатор за Србију др Ненад Филиповић, редовни професор
3. COST Action: Action MP1005 *NAMABIO - From nano to macro biomaterials (design, processing, characterization, modeling) and applications to stem cells regenerative orthopedic and dental medicine* (14/04/11 – 13/04/15), Sponsoring organization: European Cooperation in Science and Technology, Руководилац пројекта за Србију др Ненад Филиповић, редовни професор
4. Scientific Project: IP:Z74Z0\_137357 – *Computational modeling of blood flow in the tumor vasculature* (01/06/12 – 30/05/15), Координатори пројекта: Prof. Curzio Rüegg, University of Fribourg, Switzerland and Prof. Nenad Filipovic, University of Kragujevac, Serbia.
5. Scientific Project: JRP:IZ73Z0\_152454/1 – *Role of blood flow and SD-1/CXXR4-induced recruitment of mononuclear cells in intussusceptive angiogenesis* (01/09/14 – 30/08/17), Координатори пројекта: Prof. Valentin Djonov, University of Bern, Switzerland, Assoc. Prof. Ivanka Dimova, University of Sofia, Bulgaria, and Prof. Vladislav Volarevic, University of Kragujevac, Serbia.
6. Национални пројекат ОИ-174028, финансиран од стране Министарства за науку и технолошки развој, 2011-2014, *Методe моделирања на више скала са применама у биомедицини*, Руководилац пројекта проф. др. Милош Којић. Носилац истраживања Истраживачко – развојни центар за биоинжењеринг, БиоИРЦ, Крагујевац
7. Европски пројекат: *Parallel blood flow simulation*, PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe) Preparatory Access Type B 10<sup>th</sup> call (15/10/12 – 15/04/13), Руководилац пројекта проф. др Ненад Филиповић
8. Европски пројекат: *Computer modeling in biomedical engineering*, PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe) DECI-11 call Tier-1 (01/11/13 – 31/10/14), Руководилац пројекта проф. др Ненад Филиповић

#### 4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Тијане Ђукић, маг. инж. маш., под насловом „Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду и примена у биомедицинском инжењерингу“ одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторске дисертације.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 168 страна. У раду је приказано 100 графичких илустрација и цитирано је 114 библиографских података. Излагање је сврстано у 9 поглавља (којима претходе: садржај, резиме рада на српском и енглеском језику, уз списак слика, табела и коришћених ознака и скраћеница) уз 3 додатка на крају дисертације:

1. Увод
2. Моделирање струјања флуида
3. Моделирање понашања деформабилног тела
4. Моделирање солид-флуид интеракције
5. Моделирање струјања вишекомпонентног флуида
6. Паралелизација развијеног софтвера
7. Резултати симулација
8. Поређење решења нумеричких симулација са експерименталним резултатима
9. Закључак
  - Додатак А
  - Додатак Б
  - Додатак Ц
  - Литература

У уводном поглављу дефинисани су предмет и циљ истраживања. Дат је приказ и критичка анализа метода које су представљене у литератури. Такође су укратко описане главне предности одабраних метода које су коришћене у оквиру докторске дисертације. На крају овог поглавља дата је структура дисертације по поглављима.

У другом поглављу је описана нумеричка метода која је коришћена за моделирање струјања флуида. Поступак извођења и трансформације које је потребно спровести да би се добио облик погодан за нумеричко решавање објашњене су у овом поглављу. Такође, поступак којим се показује да се из једначина коришћене LB методе могу извести Навије-Стоксове једначине такође је описан у овом поглављу.

У трећем поглављу је разматрано моделирање деформабилних тела која имају структуру као црвена крвна зрнца и веома су подложна великим деформацијама. На основу анализе структуре црвеног крвног зрнца и дискусије других аутора у литератури, утврђено је да постоје одређени параметри који утичу на понашање деформабилне честице. У овом поглављу је описано како се моделира реакција деформабилне честице на промену сваког од четири поменута параметра.

Моделирање солид-флуид интеракције је разматрано у четвртном поглављу. У овој дисертацији је коришћен један од приступа јаког спрезања и детаљи ове методе су описани у четвртном поглављу.

У петом поглављу описани су поступци моделирања струјања вишекомпонентног флуида. Разматрана су два различита приступа. Описана је метода која се користи за моделирање струјања два флуида различитих карактеристика који се налазе у истом суду. Са друге стране, посебна пажња посвећена је опису поступка којим се моделира струјање више флуида различите вискозности раздвојених мембраном солида.

Поступак паралелизације и добијено убрзање тема су шестог поглавља. Најпре су описани принципи GPU програмирања и како су они примењени на симулацију струјања флуида и кретања деформабилних тела, а затим је представљено убрзање које је добијено на различитим конфигурацијама.

У седмом поглављу су приказани резултати бројних нумеричких симулација. Најпре су приказани резултати симулација тродимензионалног струјања крви у људским артеријама – у аорти, каротидној и коронарној артерији. Кроз ове примере су уједно приказане и могућности развијеног софтвера да симулира струјања кроз комплексну геометрију, која се може задавати на различите начине - на основу параметарског модела, или директно на основу клиничких података добијених за конкретног пацијента. Потом су приказани резултати симулације мешања две течности у једном суду. На крају су приказане симулације кретања деформабилног тела у флуиду, како честица сферног облика, тако и честица облика црвеног крвног зрнца, при чему су приказани и примери на којима је тестирана тачност целокупног нумеричког модела, као и примери симулација конкретних проблема у биоинжењерингу.

У осмом поглављу приказано је поређење резултата који су добијени нумеричким симулацијама са експерименталним резултатима. Описани су услови који су дефинисани у експериментима, одговарајући параметри симулација који су подешени тако да у потпуности одговарају поменутиим условима и приказано је поређење добијених решења, чиме су додатно верификовани развијена нумеричка метода и развијени софтвер.

У деветом поглављу изведени су закључци научног истраживања описаног у овој дисертацији и даљи правци истраживања и усавршавања нумеричког модела. У Додатку А је описана процедура којом се *Boltzmann*-ова једначина (основна једначина методе која се користи за моделирање струјања флуида) трансформише у једначине одржања масе и количине кретања. У Додатку Б дати су *Gauss-Hermite*-ови тежински коефицијенти и апсцисе, које се користе приликом моделирања дводимензионалних и тродимензионалних проблема струјања нестишљивог флуида. У Додатку Ц дате су карактеристике GPU уређаја који су коришћени за покретање нумеричких симулација у овој докторској дисертацији.

На крају докторске дисертације дат је преглед библиографских података коришћених у овом раду.

## 5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Тијана Ђукић, маг. инж. маш., је у оквиру ове докторске дисертације извршио систематизацију и анализу постојећих знања и искустава у области нумеричког моделирања понашања деформабилних тела. Реализацијом истраживачког рада на овој дисертацији Кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место и значај како у научно-теоријском, тако и у практичном смислу. Најважнији научни резултати ове докторске дисертације су:

- Развијен је комплетан нумерички модел који симулира микроциркулацију у људском организму, до крвних судова величине центиметра, па чак и микрометра, укључујући при томе комплетно симулирање динамике кретања ћелија.
- У оквиру нумеричке методе омогућено је да се моделира кретање деформабилне честице, односно црвеног крвног зрнца, које је испуњено флуидом који је различитих



карактеристика од околне крвне плазме, што је апсолутно идентично реалним условима у људском организму.

- Креиран је компјутерски софтвер који се може покретати на компјутерским кластерима, пошто је посебна пажња посвећена техникама паралелизације. На овај начин је постигнуто да се нумеричке симулације извршавају неколико десетина пута брже.
- Поређењем резултата нумеричких симулација са резултатима који су објављени у литератури доказано је да се развијени софтвер може успешно примењивати у симулацијама реалних проблема у биомедицинском инжењерингу.

## **6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси**

Резултати докторске дисертације Кандидата Тијане Ђукић, маг. инж. маш., под насловом „Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду и примена у биомедицинском инжењерингу“ применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси.

Предложена нумеричка метода ће допринети бољем разумевању неких физиолошких феномена у малим крвним судовима и веома је применљива у симулацијама бројних реалних проблема у биомедицинском инжењерингу, као што је понашање и кретање канцер ћелија, моделирање процеса који се дешавају у лабораторијским чип уређајима за анализу микрофлуида, као и моделирање интраваскуларне дистрибуције и испоруке матичних ћелија, лекова и генетског материјала до циљаних органа. У свим овим процесима није тако једноставно и јефтино спроводити експерименте, а овакве нумеричке симулације нуде јако добру и ефикасну алтернативу.

Због нумеричке методе која доста реално осликава услове у људском организму, велике тачности која је показана кроз поређење са експерименталним резултатима и бројним другим решењима из литературе, као и због брзог извршавања на компјутерским кластерима, које је омогућено паралелизацијом, нумеричка метода представљена у овој дисертацији и развијени софтвер имају велики потенцијал када је реч о практичној примени у симулацијама реалних проблема у биомедицинском инжењерингу.

## **7. Начин презентирања резултата научној јавности**

Део научних резултата ове докторске дисертације публикован је у међународним и домаћим научним часописима, као и на међународним и домаћим конференцијама. На овај начин се може сматрати да је нумерички модел предложен у овој докторској дисертацији верификован. Један део реализованог научно-истраживачког рада је обухваћен и у оквиру међународних пројеката на којима је Кандидат био ангажован.

Неколико радова који су проистекли из истраживања у овој докторској дисертацији су у процесу рецензије у више врхунских међународних часописа.

Комисија сматра да истраживања и резултати ове докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даљу анализу и публиковање у врхунским међународним часописима и на међународним конференцијама.

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

## **ЗАКЉУЧАК**

Докторска дисертација кандидата Тијане Ђукић, маг. инж. маш., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, одлуком бр. 01-1/1211-5 од 17.04.2014. године, од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је током истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију. Структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

У току израде докторске дисертације, кандидат Тијана Ђукић, маг. инж. маш., је самостално дошао до оригиналних научних резултата, који су приказани у овој докторској дисертацији. Ови резултати представљају значајан допринос у домену примењене механике и моделирања кретања деформабилних тела.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и да поседује способност прикупљања и критичке анализе публикација из релевантне области. При томе је, користећи своје професионално образовање и лично искуство, показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу добијања конкретних и применљивих резултата.

Значајан део резултата до којих је кандидат дошао у току израде ове дисертације публикован је у више коауторских радова који су објављени у међународним часописима и на тај начин верификован.

На основу свега претходно наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

**„Моделирање кретања деформабилног тела у флуиду  
и примена у биомедицинском инжењерингу“**

кандидата Тијане Ђукић, мас. инж. маш., по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све стручне, научне и законске критеријуме за израду докторске дисертације.

Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитета у Крагујевцу, да докторску дисертацију прихвати као успешно урађен рад и да кандидата позове на јавну усмену одбрану дисертације.

У Крагујевцу,

03.11.2014.

КОМИСИЈА:



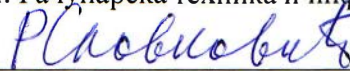
др Ненад Филиповић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



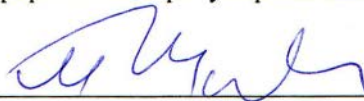
др Вељко Милутиновић, редовни професор,  
Електротехнички факултет у Београду

Научне области: Рачунарска техника и информатика



др Радован Славковић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



др Мирослав Живковић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



др Гордана Јовичић, ванредни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



др Милован Матовић, редовни професор,  
Факултет медицинских наука у Крагујевцу

Научне области: Нуклеарна медицина, Медицинска информатика



др Мирко Росић, редовни професор,  
Факултет медицинских наука у Крагујевцу

Научне области: Физиологија