

ПРИМЉЕНО 6.11.2015			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	011/4373		

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

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

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1/4011-15 од 22. 10. 2015. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Арса Вукићевића, маст. инж. маш. под насловом:

**Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента**

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. 01-1/1632-5 од 21. 5. 2015. 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 Арса Вукићевића, маст. инж. маш., под насловом „Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента“ представља резултат научно-истраживачког рада кандидата у научним областима: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство.

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 предложио нове методе и приступе за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента. Развијене методологије и резултати истраживања у оквиру ове дисертације приказани су у три поглавља:

- У трећем поглављу дисертације кандидат је представио методологију за тродимензионалну реконструкцију геометрије коронарних артерија (КА) из дводимензионалних пројекција (ангиографских слика). У поређењу са разматраном литературом, развијена је нова проширена метода за тродимензионалну реконструкцију КА из некалибрисаних ангиографских пројекција. Имплементирана је компензација за померање стола на коме се налази објекат снимања и померање Ц-руке, при чему је математичка формулација таква да не захтева да се изоцентар поклапа са центром ротације Ц-руке, нити да пројектор буде нормалан на оптичку осу. На основу описаног математичког модела, развијена је оптимизациона метода за калибрацију 23 параметра који одређују оријентацију уређаја између пројекција. Употребом Генетског алгоритма решен је проблем појаве локалних минимума, који се уобичајено јавља приликом оптимизације великог броја параметара. Метода за темпорално упаривање фрејмова (снимљених из две независне пројекције) је развијена употребом методе еластичног преклапања сигнала. Тиме су превазиђена ограничења традиционалних метода, које обично не узимају у обзир чињеницу да су срчане и респираторне фазе померања КА асичроне. Централне линије коронарног стабла су реконструисане користећи еластично преклапање тачака-кандидата узоркованих из две ангиографске пројекције, чиме је омогућено прецизније и робусније један-на-један упаривање тачака и реконструкција централних линија КА. Коначно, предложена је метода за реконструкцију домена флуида (васкуларног лумена) из ангиографских пројекција, која такође може пружити могућност полигоналне апроксимације попречних пресека КА када је доступно више пројекција. Такав приступ додатно омогућава реконструкцију конкавних попречних пресека, што може бити искоришћено за идентификацију и разликовање делова КА са конвексним и конкавним попречним пресецима. Попречни пресеци добијени на тај начин даље су коришћени за генерисање мреже коначних елемената коронарног стабла помоћу алгоритама базираних на употреби неуниформних рационалних б-површи (енгл. NURBS) за добијање структурне квадрилатералне и хексаедарске мреже. Такође, прописани алгоритам редукује комплексност дискретизовања домена (генерисања мреже коначних елемената) за сложена коронарна стабла јер се цео процес упрошћава на интегрално процесирање повезаних грана. У оквиру трећег поглавља, валидација процедура је извршена користећи виртуелне и физичке фантоме, као и реалне ангиографске снимке чиме је потврђена корисност процедура.
- У четвртном поглављу дисертације кандидат је представио методологију за нумеричко симулирање хемодинамичких параметара и анализу прогресије рестенозе у коронарним артеријама (РКА). У овом поглављу, тродимензионална реконструкција КА је базирана на фузији КА и IVUS (енгл. IntraVascular UltraSound) снимака као два комплементарна модалитета доминантна у пракси. Реконструкција путање IVUS катетера извршена је употребом метода описаних у трећем поглављу. Сегментација и позиционирање IVUS снимака на добијену путању катетра извршена је кроз неколико корака. Прво је коришћена метода која на основу анализе промене интензитета пиксела IVUS слика издваја фрејмове који припадају карактеристичној фази рада срца (крајња-дијастола). Затим је изложена метода за сегментацију зида КА на издвојеним IVUS сликама, која се базира на примени техника машинског учења и оптимизације. Конкретно, предложена је метода за оптимално конфигурисање и обучавање Вештачких неуронских мрежа (ANN) употребом Генетског алгоритма. Обучена ANN коришћена је за класификацију различитих врста ткива на IVUS сликама, на основу чега су ивице зида КА итеративно апроксимирани употребом Фуријеових редова. Позиционирањем детектованих контура зида КА на претходно реконструисану тродимензионалну путању катетера генерисане су NURBS површине које репрезентују дискретни домен крви (флуида) и солида (зида) КА. Нумеричко

симулирање прогресије плака извршено је спрезањем једначина које описују проток флуида кроз КА са једначинама транспорта честица из лумена у зид КА, користећи реалну геометрију и граничне услове. Демонстрација описаних процедура је извршена користећи податке три случаја за период праћења од шест месеци.

- У петом поглављу дисертације кандидат је представио методологију за процену преосталог века коронарног стента (жичаног уређаја који се уграђује на месту сужења КА) применом теорије замора материјала и механике лома (појава иницијализације прслине и њено прогресивно ширење услед заморног оптерећења). Процена интегритета стента на замор је заснована на FtF (енгл. Fatigue to Fracture) приступу и подразумева неколико фаза: дефинисање фактора замора структуре применом напонски засноване теорије замора, процена сигурног рада структуре при акумулацији оштећења, процена преосталог века услед замора при прогресивном ширењу прслине. Процена сигурног рада структуре изложене цикличном оптерећењу заснована је на примени Kitagawa-дијаграма и подразумева дефинисање: региона сигурног рада, зоне стабилног раста и зоне неконтролисаног раста прслине-што је нов приступ у поређењу са разматраном литературом. У оквиру петог поглавља, процедуре су демонстриране на два примера. Први пример се односи на анализу понашања стента при пулсаторно радијалном оптерећењу. Добијени резултати показали су да физиолошка радијална оптерећења узрокују цикличне напоне који не доводе до заморног отказа. Раст потенцијалне прслине на месту са максималном вредношћу FFI-а био је стабилан за прслине мале и велике величине. Други разматрани пример односно се на анализу понашања стента на циклично савојно оптерећење у реалним условима. Савијање стента је апроксимирано укљештенем гредом која је у контакту са стентом, чија су померања добијена на основу тродимензионалне реконструкције из ангиографских снимака. Применом напонски засноване анализе замора идентификовано је место са највећим ризиком од заморног отказа које се налазило на месту са највећим степеном савијања.

Због свега наведеног, Комисија сматра да методе представљене у овом раду имају велики потенцијал и да могу допринети практичној примени у решавању реалних проблема у области примењене механике-биомеханике, примењене информатике и рачунарског инжењерства.

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

Комисија сматра да Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића, маг. инж. маш., под насловом „Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента“, представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области примењене механике, 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 методу за тродимензионалну реконструкцију геометрије коронарних артерија из ангиографских снимака базирану на новој проширеној формулацији процеса

формирања слике и принципа упаривања фрејмова и реконструкције тачки из више пројекција. Калибрација уређаја је извршена користећи робуснији Генетски алгоритам за идентификацију 23 параметра, који налази релативну оријентацију уређаја између пројекција. Предности предложених метода демонстриране су на виртуелним и физичким фантомима, као и реалним ангиографским подацима. Представљена метода омогућава независно процесирање грана коронарног стабла, чиме је олакшана њена примена на веома комплексне мреже крвних судова као и евентуална паралелизација софтвера. Такође, представљена метода омогућава реконструкцију како регија са конвексним тако и регија са конкавним попречним пресецима и примењива је на уређаје новије генерације (ротациона ангиографија).

- У дисертацији је развијена метода за тродимензионалну реконструкцију КА фузијом ангиограмских и IVUS снимака, чије је резултате могуће користити за нумеричко симулирање флуид-солид интеракције и прогресије РКА. Предложена је метода која је, у односу на методе доступне у литератури, погоднија за упаривање и упоредну анализу великог броја IVUS снимака насталих у различитим периодима времена.
- Поред наведеног, у оквиру дисертације је предложен нов приступ за нумеричку анализу понашања коронарних стентова. Предложена процедура повезује методе за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија са нумеричким методама за симулацију механичког понашања стентова. Овакав приступ је веома важан јер може прецизније репродуковати реалне услове, чиме се може унапредити процес селекције оптималног избора и дизајна новог стента.

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

Арсо Вукићевић, рођен 16. 06. 1987. године у Никшићу, Република Црна Гора, СФРЈ, од оца Миладина и мајке Велимирке, завршио је Основну школу „Милоје Симовић“ у Крагујевцу; потом је средњешколско образовање стекао у „Првој техничкој школи“ на смеру „Електротехничар рачунара“, такође у Крагујевцу.

Основне академске студије на Машинском факултету у Крагујевцу уписао је школске 2006/2007. године, а дана 20. 10. 2009. је завршио студије као студент генерације на поменутом факултету на смеру Информатика у инжењерству са општим успехом 9,43 (девет 43/100) у току студија, и оценом 10 (десет) на завршном раду из предмета Базе података код проф. др Милана Ерића. Мастер студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу уписао је школске 2009/2010. године, а дана 04.07.2011. завршио студије као студент генерације на поменутом факултету на смеру Информатика у инжењерству са општим успехом 9,94 (девет 94/100) у току студија, и оценом 10 (десет) на дипломском испиту из предмета Биоинжењеринг и биоинформатика код проф. др Ненада Филиповића.

Током студија, био је стипендиста Министарства просвете и науке Републике Србије. Био је добитник стипендије Универзитета у Крагујевцу, која се додељује најбољим студентима Универзитета. Био је један од добитника награде за допринос и афирмацију и промоцију имена Факултета у земљи и свету поводом педесетогодишњице факултета 2010 године. Екипа Факултета инжењерских наука у којој је био Арсо Вукићевић, победила је на државном финалу студентског такмичења из информационах технологија *Microsoft Imagine Cup 2009*; такође, представљала је Србију и освојила друго место на светском студентском такмичењу у информационах технологијама *Microsoft Imagine Cup 2009* одржаног у Каиру у Египту.

Докторске академске студије уписао је школске 2011/12. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, на смеру за примењену информатику и рачунарско инжењерство.

Професионалну каријеру је започео 2011. године на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Током докторских студија, активно учествује или је учествовао у извођењу вежби из предмета: Механика 1 – Статика, Механика 3 – Динамика, Рачунарски алати, Алгоритми и структуре података, Биоинжењеринг и Софтверски инжењеринг.

Кандидат је коаутор 12 научних радова објављених у међународним и националним часописима, као и на међународним конференцијама. У периоду до 2015 био је ангажован као рецензент 16 радова од стране међународних часописа (области реконструкције и моделирања на основу медицинских снимака, примена и оптимизација ефикасности експертских система): Biological And Medical Engineering And Computing, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Biomedical Sciences, International Journal of Paediatric Dentistry, International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, Computer Methods And Programs In Medicine, International Journal of Dentistry. Хронолошки списак публикација који се аутоматски ажурира доступан је на интернет страници: [https://www.researchgate.net/profile/Arso\\_Vukicevic](https://www.researchgate.net/profile/Arso_Vukicevic).

## Списак објављених научних радова

### *Радови објављени у врхунским међународним часописима, [M<sub>21</sub>]:*

1. **Arso M. Vukicevic**, Nemanja M. Stepanovic, Gordana R. Jovicic, Svetlana R. Apostolovic, Nenad D. Filipovic. Computer methods for follow-up study of hemodynamic and disease progression in the stented coronary artery by fusing IVUS and X-ray angiography. Medical & biological engineering & computing, ISSN: 0140-0118, eISSN: 1741-0444, 2014, vol. 52, br. 6, str. 539-556, DOI: 10.1007/s11517-014-1155-9.
2. **Arso M Vukicevic**, Gordana R Jovicic, Miroslav M Stojadinovic, Rade I Prelevic, Nenad D Filipovic. Evolutionary assembled neural networks for making medical decisions with minimal regret: Application for predicting advanced bladder cancer outcome. Expert Systems With Applications, ISSN: 0957-4174, 2014, vol. 41, br. 18, str. 8092–8100, DOI: 10.1016/j.eswa.2014.07.006.
3. **Arso M. Vukicevic**, Ksenija Zelic, Gordana Jovicic, Marija Djuric, Nenad Filipovic. Influence of dental restorations and mastication loadings on dentine fatigue behaviour: Image-based modelling approach, Journal of Dentistry, ISSN: 0300-5712, 2015, vol. 43, br. 5, str. 556-567, DOI: 10.1016/j.jdent.2015.02.011.
4. K. Zelic, **A. Vukicevic**, G. Jovicic, S. Aleksandrovic, N. Filipovic, M. Djuric, Mechanical weakening of devitalized teeth: three-dimensional Finite Element Analysis and prediction of tooth fracture. International Endodontic Journal, ISSN: 0143-2885, 2014, vol. 48, br. 9, str. 850–863, DOI: 10.1111/iej.12381.
5. Antic S, **Vukicevic AM**, Milasinovic M, Saveljic I, Jovicic G, Filipovic N, Rakocevic Z, Djuric M. Impact of the lower third molar presence and position on the fragility of mandibular angle and condyle: A Three-dimensional finite element study. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, ISSN: 1010-5182, 2015, vol. 43, br. 6, str. 870-878, DOI: 10.1016/j.jcms.2015.03.025.

***Радови објављени у истакнутим међународним часописима, [M<sub>22</sub>]:***

1. Janovic A. , Saveljic I., **Vukicevic A.**, Nikolic D., Rakocevic Z., Jovicic G., Filipovic N., Djuric M. Occlusal load distribution through the cortical and trabecular bone of the human mid-facial skeleton in natural dentition: A three-dimensional finite element study. Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger, ISSN: 0940-9602, 2015, vol. 197, str. 16–23, DOI: 10.1016/j.aanat.2014.09.002.
2. **Vukicevic Arso M.**, Velicki Lazar U, Jovicic Gordana R. Jovicic Nebojsa M, Stojadinovic Miroslav M, Filipovic Nenad D. Finite element analysis of uncommonly large renal arteriovenous malformation – adjacent renal cyst complex. Computers in Biology and Medicine. ISSN: 0010-4825, 2015, vol. 59, str. 35-41, DOI: 10.1016/j.compbiomed.2015.01.016.

***Радови објављени у међународним часописима, [M<sub>23</sub>]:***

1. Stojadinović MM, Prelević R, **Vukićević A.** Scoring system for prediction of lymph node metastasis in radical cystectomy cohort. International Urology and Nephrology, ISSN: 0301-1623, eISSN: 1573-2584, 2014, vol. 46, br. 7, str. 1317-1323. DOI: 10.1007/s11255-014-0645-x.
2. G Jovicic, **A Vukicevic**, N Filipovic. Computational Assessment of Stent Durability Using Fatigue to Fracture Approach. Journal of Medical Devices. Transactions of the ASME / American Society of Mechanical Engineers. ISSN: 1932-6181. eISSN: 1932-619X, 2014, vol. 8, br. 4, str. 041002 (1-8), Paper No: MED-13-1198, doi:10.1115/1.4027687.

***Саопштења са међународних скупова штампана у целини, [M<sub>33</sub>]:***

1. **A Vukicevic**, G Jovicic, N Filipovic. Finite element analysis of generic expandable stent deployment: a worst case scenario prediction. Fourth Serbian (29th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 4-7 June 2013, M1-14, str. 825-830, Vrnjačka Banja, Serbia.

***Радови у научним часописима, [M<sub>53</sub>]:***

1. **A Vukicevic**, N Stepanovic, D Nikolic, Z Milosevic, G Jovicic, S Savic, S Apostolovic, S Šalinger-Martinović, N Filipovic. Software tools for image-based modeling of fluid-solid interaction in coronary arteries fusing ivus and angiography modalities. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics / Vol. 6 / No. 2, 2012 / pp. 108-121 (UDC: 616.132.2-073; 616.1:004.41).
2. K Zelic, **A Vukicevic**, G Jovicic, S Aleksandrovic, N Filipovic, M Djuric. Finite element analysis of devitalized teeth. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics / Vol. 7 / No. 2, 2013 / pp. 38-44, (UDC: 611.314.08:004; 616.314.16-085).

***Учешће на научно-истраживачким пројектима***

1. ИИИ41007, финансиран од стране Министарства за науку и технолошки развој, 2011-2014, Примена биомедицинског инжењеринга у претклиничкој и клиничкој пракси. Руководилац пројекта проф. др Ненад Филиповић. Носилац истраживања Факултет инжењерских наука у Крагујевцу.

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

Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића, маг. инж. маш., под насловом „Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента“ 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 165 страна. У дисертацији је приказана 51 графичка илустрација и цитирано је 275 библиографских података. Излагање је организовано у 7 поглавља (којима претходе: резиме рада на српском и енглеском језику, предговор и садржај):

1. Уводна разматрања и преглед садржаја дисертације
2. Основне претпоставке – крвоток и коронарне артерије
3. Методе за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија из ангиографских снимака
4. Тродимензионална реконструкција коронарних артерија фузијом снимака добијених коронарном ангиографијом и интраваскуларним ултразвуком: Примена за моделирање рестенозе коронарних артерија
5. Процена интегритета коронарног стента на замор
6. Закључна разматрања и смернице за будућа истраживања
7. Референце

У првом поглављу су дефинисани предмет и циљ истраживања. Дат је преглед метода које су коришћене у оквиру дисертације. На крају овог поглавља дата је структура дисертације по поглављима.

У другом поглављу описани су појмови везани за коронарне артерије, који се у овој дисертацији разматрају са инжењерског аспекта. У овом поглављу приказана је шира слика проблема и наведене су основне претпоставке и симплификације које се морају направити како би се КА могле моделирати и анализирати применом нумеричких метода.

У трећем поглављу је описана метода за тродимензионалну реконструкцију геометрије КА из дводимензионалних ангиографских слика-пројекција. Поглавље почиње описом принципа генерисања слика и уређаја којим се слике генеришу, након чега је дат детаљни опис претходних студија које су се бавиле датом проблематиком. Затим су детаљно описане предложене методе, након чега је приказана њихова валидација и објашњено шта је њихов допринос у односу на претходно коришћене методе. На тај начин, потврђена је хипотеза да се тродимензионална реконструкција КА може добити без додатне нестандартне опреме или рестриктивних протокола аквизиције употребом робусније математичке формулације формирања слике и оптимизационе методе за калибрацију уређаја (тј. параметара који описују оријентацију уређаја).

Четврто поглавље се бави фузијом метода из трећег поглавља и метода за обраду и анализу IVUS слика (узорковање, сегментација) у циљу добијања тродимензионалне реконструкције КА, као и применом добијене реконструкције за нумеричко моделирање РКА – тј. утицаја струјања крви (флуида) на сужавање зида КА. У оквиру овог, и претходног, поглавља потврђена је хипотеза да се реална геометрија може реконструисати без идеализације попречних пресека круговима или елипсама.

Пето поглавље се бави структурном анализом механичког понашања стента на замор за предвиђени период експлоатације применом FtF (енгл. Fatigue to Fracture) приступа у реалним условима и условима прописаним индустријским стандардима. На тај начин је потврђена постављена хипотеза да је применом граничних услова добијених тродимензионалном реконструкцијом и FtF приступа могуће предвидети век трајања стента изложеног сложенем цикличном оптерећењу.

У шестом поглављу су дата закључна разматрања као и будући правци истраживања полазећи од резултата изложених у овој дисертацији.

У седмом поглављу је дата листа референци коришћених током израде дисертације.

## 5. Научни резултати докторске дисертације

Реализацијом истраживачког рада на овој дисертацији кандидат Арсо Вукићевић, маг. инж. маш., 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 развијене методе и алати за:

- Реконструкцију тродимензионалног модела КА из дводимензионалних ангиографских снимака. Развијена метода не захтева било какав облик рестриктивних протокола приликом аквизиције нити примену додатне нестандартне опреме која може ометати или успорити корисника. Аутоматизована калибрација је базирана на новој робуснијој математичкој формулацији процеса формирања пројекција-слика. Користећи више пројекција и описану методу, могуће је реконструисати реалну геометрију без апроксимације попречних пресека КА круговима или елипсама. У овој дисертацији је то постигнуто полигоналном реконструкцијом попречних пресека из ангиографије или фузијом коронарне ангиографије са IVUS снимцима. Поред тога, развијене су методе које омогућавају лакшу конекцију између компјутерски подржаног дизајна (енгл. Computer Aided Desing) чији је стандард за описивање површина NURBS (енгл. Non Uniform Rational B-Splines) са нумеричким методама које су најефикасније ако се за дискретизацију користе структурни квадрилатериални и хексаедарски елементи. Добијени резултати и детаљна валидација на физичким и виртуелним фантомима, као и реалним клиничким подацима, демонстрирали су поузданост и примењивост предложене методе у пракси.
- Нумеричко моделирање прогресије плака (рестенозе) фузијом метода за реконструкцију централне линије КА са методама за сегментацију IVUS слика. Методом коначних елемената, прогресија плака је симулирана спрезањем Навије-Стоксових једначина протока са дифузном једначином транспорта. Методом парцијалног преклапања, аутоматизовано је упаривање базалних и IVUS снимака снимљених након датог периода праћења. У поређењу са претходним студијама, предност описаних процедура јесте да је прогресија плака укључена у сам математички модел, као и могућност примене дела метода за дијагностиковање РКА на основу медицинских снимака. За три разматрана случаја, показано је да предложене методе омогућавају одређивање критичног места за развој РКА уз прихватљив степен тачности.
- Употребу добијене геометрије и динамике КА при виртуелном (нумеричком) тестирању стента, чиме је омогућено предвиђање ризика појаве оштећења стента у реалним условима која могу настати током предвиђеног века експлоатације или крајем временском интервалу. У оквиру дисертације су приказани резултати за два случаја. Први случај се односи на анализу понашања генеричког стента при пулсаторном радијалном оптерећењу. Добијени резултати показали су да физиолошка оптерећења узрокују цикличне напоне који не доводе до заморног отказа. Раст потенцијалне прслине



на месту са максималном вредношћу FFI-a био је стабилан за прелине мале и велике величине. Други разматрани пример односи се на Cypher стент, при чему је коришћено циклично савојно оптерећење, а који су добијени на основу тродимензионалне реконструкције из ангиографских снимака. Применом напонски засноване анализе замора идентификовано је место са највећим ризиком од заморног отказа које се налазило на мосту који је имао највећи степен савијања.

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

Резултати докторске дисертације кандидата Арса Вукићевића, маг. инж. маш., под насловом „Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента“ применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси. Методе изложене у оквиру дисертације погодне су за:

- Прецизнију квантитативну тродимензионалну анализу КА, чиме би се превазишла дводимензионална природа коронарне ангиографије и IVUS-a. Истовремено, предложене методе омогућавају добијање темпоралне реконструкције КА што представља почетну тачку за даља истраживања утицаја динамике КА на појаву и развој вулнерабилних плакова као и РКА. Коначно, развијена метода је примењива и може бити проширена за потребе реконструкције КА из ангиографских уређаја новије генерације (ротационе ангиографије).
- Ширу примену методе за упаривање снимака КА насталих у различитим временским тренуцима. Пошто су описане методе базиране на анализи сличности геометрије (попречних пресека), методе су поред IVUS-a примењиве и на друге модалитете, као и упаривање модела добијених помоћу различитих модалитета.
- Симулирање струјања крви кроз коронарне артерије коришћењем методе коначних елемената. Добијене резултате тродимензионалне реконструкције могуће је користити за дефинисање домена физичких величина које описују струјање крви (брзине, протоци, смичући напони и напони у зиду КА). То се посебно односи на употребу нумеричких метода за рачунање тзв. виртуелног фракционог реверзног протока, чиме би се знатно убрзала и смањила цена тренутне инвазивне процедуре.
- Структурну анализу механичког понашања стента на замор за предвиђени период експлоатације. Применом граничних услова добијених тродимензионалном реконструкцијом и FtF (енгл. Fatigue to Fracture) приступа могуће је прецизније предвидети век трајања уграђеног стента изложеног сложенем цикличном оптерећењу. Тиме би се унапредиле тренутне методе оптималног избора стента и процене ризика од оштећења зида КА и стента.

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

Део научних резултата ове докторске дисертације је објављен у међународним и домаћим научним часописима, као и на међународним и домаћим конференцијама. Конкретно, материјал ове докторске дисертације објављен је у три међународна часописа. На овај начин се може сматрати да су резултати приказани у овој докторској дисертацији верификовани и прихваћени у међународној научној заједници.

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

На основу свега изложеног Комисија доноси следећи:

## **ЗАКЉУЧАК**

Докторска дисертација кандидата Арса Вукићевића, маг. инж. маш., у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, одлуком бр. 01-1/1632-5 од 21. 05. 2015. године, од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

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

У току израде докторске дисертације, кандидат Арсо Вукићевић, маг. инж. маш., је самостално дошао до оригиналних научних резултата, који су приказани у овој докторској дисертацији и објављени су у релевантним међународним научним часописима. Ови резултати представљају значајан допринос у области примењене механике, примењене информатике и рачунарског инжењерства – анализа снимака и реконструисање КА за потребе нумеричке анализе хемодинамике КА и механичког понашања стентова.

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 критички и 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 научних радова који су објављени у међународним часописима. На тај начин, методологије и резултати представљени у дисертацији су верификовани и прихваћени од стране компетентне међународне научне заједнице.

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

**„Развој метода за тродимензионалну реконструкцију коронарних артерија за потребе нумеричке анализе протока и процене механичког интегритета стента“**

кандидата Арса Вукићевића, маг. 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.

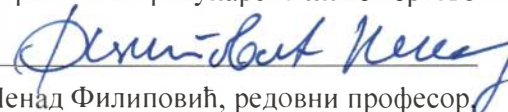
У Крагујевцу,

06. 11. 2015.

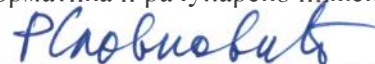
КОМИСИЈА:



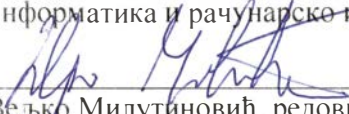
др Гордана Јовичић, ванредни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу,  
Научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



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



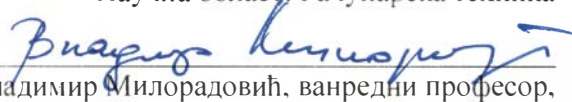
др Радован Славковић, редовни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу,  
Научне области: Примењена механика,  
Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Вељко Милутиновић, редовни професор,  
Електротехнички факултет у Београду,  
Научна област: Рачунарска техника и информатика



Др Александар Пеулић, ванредни професор,  
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу,  
Научна област: Рачунарска техника



Др Владимир Милорадовић, ванредни професор,  
Факултет медицинских наука у Крагујевцу,  
Научна област: Интерна медицина