

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ
НАУКА
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 20.09.2018. год. (број одлуке: 01-1/3005-29) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 10.10.2018. год. (број одлуке: IV-04-772/8), којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја, за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: „**Нумеричка и експериментална анализа утицаја модификоване површине импланта на процес зарастања бутне кости**“ у научној области **Примењена механика**, кандидата **Александре Вуловић, маг. инж. маш.** На основу података, којима располажемо, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области побољшања импланта за кук.

Позитиван утицај модификоване површине импланта на урастање и везивање са бутном кости, показан је *in vivo* експериментима на зечевима. Могућност бољег везивања кости и импланта, односно његов дужи век трајања и позитиван утицај на процес зарастања, може довести до побољшања квалитета живота пацијента након уградње вештачког зглоба кука. Нумеричке анализе су последњих година нашле велику примену у медицини, као начин за смањење броја *in vivo* експеримената. Предност нумеричког приступа овом проблему огледа се најпре у неинвазивности, а затим у омогућеном симулирању интеракција већег броја различито модификованих површина импланта, при одређеним спољашњим оптерећењима, што није случај код *in vivo* студија. Сазнања, добијена на овај начин, могу наћи велику примену у индустрији ортопедских помагала.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживање се заснива на нумеричким и експерименталним методама.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни, да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даљи развој научних истраживања у области експерименталног и нумеричког изучавања импланта за кук.

Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове, у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама, може се закључити да се кандидат Александра Вуловић бавила применом нумеричких метода у области биомедицинског инжењеринга, примарно код проблема који се односе на биомеханику кости. Стручни боравци и усавршавање у иностранству, као и учешће на међународним и националним пројектима представљају добру основу за реализацију ове дисертације.

Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата има за циљ и могућност примене решења у клиничкој пракси.

2. Образложење предмета, метода и циља, који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Зглоб кука има важну улогу у људском телу - омогућава преношење оптерећења, до пет пута већег од тежине човека, као и стабилност тела током статичких (стајање) и динамичких оптерећења (ходање, трчање...). Након што је зглоб кука оштећен због прелома или под утицајем болести, као што је артритис, често се врши операција замене оштећених делова зглоба кука вештачким деловима. Приликом замене зглоба кука, уклањају се оштећена кост и хрскавица, које се замењују вештачким компонентама. Уклања се глава феморалне (бутне) кости, а затим се у њену шупљину убацује метално стабло феморалног дела вештачког кука. Феморални део може бити цементни (везује се за кост коштаном цементом) и бесцементни. Бесцементни импланти се директно уграђују у кост, која се урастањем везује за имплант. Приликом уградње импланта, потребно је обезбедити што бољи контакт између кости и стабла феморалног дела вештачког кука, што доводи до стабилнијег контакта.

Предмет рада ове докторске дисертације је креирање различитих модела импланта модификоване површине и анализа њихове интеракције са бутном кости. Модели импланта биће креирани на основу студија из литературе, док ће модел бутне кости бити креиран на основу снимака компјутеризоване томографије, тј. СТ (*енгл.* Computed Tomography) снимака. Нумеричка анализа ће обухватити два дела: анализу поједностављене интеракције имплант - кост и анализу реалне интеракције имплант - кост. Поједностављена интеракција се односи на анализу дела кости, који је у контакту са модификованом површином, док ће реална интеракција обухватити модел бутне кости креиран на основу СТ снимака. Структурном анализом, различитих модела импланта у интеракцији са бутном кости, биће одређена најиздржљивија површина импланта за задате услове свакодневних оптерећења зглоба кука. Циљ је пронаћи геометрију, код које се уочава најмањи смичући напон током оптерећења, што утиче на бољу везу кост-имплант. За анализу овог проблема биће примењен метод коначних елемената.

За нумеричке симулације користиће се тродимензионални модел који се састоји од четири слоја:

- површине импланта,
- коштаног ткива са знатно смањеном механичком чврстоћом,
- коштаног ткива са незнатно смањеном механичком чврстоћом и
- здраве кортикалне кости.

Добијени нумерички резултати ће бити упоређени са резултатима нумеричке анализе импланта, чија површина није модификована. Крајњи резултат нумеричких симулација је избор топографије, која се најбоље показала у условима свакодневног оптерећења зглоба кука. Геометрија топографије ће бити произведена помоћу методе електронског снопа на површини легуре титанијума (Ti6Al4V), која је изабрана на основу њеног доброг утицаја на одзив остеобластних ћелија. Произведена топографија ће бити коришћена у лабораторији за експерименталну анализу са ћелијама остеобласта.

За поступак анализе утицаја модификоване површине импланта на процес зарастања бутне кости дефинишу се следеће хипотезе:

- Већа храпавост површине импланта утиче на побољшање везе између импланта и кости.
- Коришћењем методе коначних елемената може се анализирати утицај геометрије модификоване површине импланта, у циљу побољшања везе између импланта и кости.

- Оптимална геометрија, одређена методом коначних елемената, може се израдити на површини легуре титанијума, коришћењем методе електронског снопа.
- Добијена модификована површина импланта може се користити у лабораторији, за експериментално мерење броја ћелија остеобласта, на површини импланта.
- Експериментално мерење броја ћелија остеобласта у лабораторији даје потврду о могућности примене креиране модификоване површине импланта.

Методe истраживања

За реализацију докторске дисертације кандидат ће користити нумеричке и експерименталне методе.

Метода коначних елемената (МКЕ) је нумеричка метода, која је пронашла велику примену у инжењерству, посебно у области биоинжењеринга, због могућности симулације сложених проблема. Значај примене ове методе, у области биоинжењеринга, се огледа у добијању информација, које су значајне за клиничаре, уз смањење броја инвазивних процедура. За нумеричке прорачуне биће коришћени: програмски пакет ПАК, који се развија на Факултету инжењерских наука, као и комерцијални програмски пакет NASTRAN.

Експериментална истраживања ће бити извршена коришћењем опреме: Probeam EBG 45-150 K14 (машина за заваривање електронским снопом) и Alicona Infinite Focus microscope (контактни оптички 3Д мерни уређај). Ова опрема је лоцирана на Техничком Универзитету у Грацу, Аустрија. Други део експерименталних истраживања биће извршен у Центру за биоинжењеринг, Факултета инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу и обухватиће индиректно мерење броја ћелија остеобласта на модификованој површини импланта.

Поред наведене опреме и софтвера за МКЕ, користиће се и различити софтверски алати за потребе креирања геометрије и мреже тродимензионалних модела (CATIA, Geomagic, FEMAP, ...).

Оквирни садржај докторске дисертације

Планирано је да докторска дисертација буде реализована кроз једанаест поглавља:

1. Увод
2. Анатомија и биомеханика зглоба кука
3. Импланти за кук
4. Процес зарастања кости
5. Површинске модификације металних импланта
6. Нумеричка анализа поједностављених модела интеракције имплант - бутна кост
7. Нумеричка анализа реалног модела интеракције имплант - бутна кост
8. Креирање оптималне модификоване површине, методом електронског снопа
9. Екпериментално мерење броја ћелија остеобласта, на површини модификованог импланта
10. Закључна разматрања
11. Литература

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

На основу представљеног концепта, може се закључити да постоји интересовање за развојем побољшаних импланта за кук, који ће омогућити боље повезивање импланта и бутне кости, чиме би се смањила могућност за поновном уградњом импланта. Имајући у виду мали број студија које се баве нумеричком анализом модификоване површине импланта на процес зарастања кости, предложена докторска дисертација даће допринос овој врсти студија.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Александра Вуловић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски - анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума и експериментално – анализом креиране модификоване површине импланта.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао изразиту способност за селекцију и анализу литературних извора.

С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из запажених недостатака и недовољне изражености проблема, добијени резултати представљали би оригиналан допринос истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а. Лични подаци

Александра Вуловић је рођена 15.10.1991. године у Крагујевцу, Република Србија. Основну школу "21. Октобар", у Крагујевцу, завршила је 2006. године, као носилац Вукове дипломе. Након завршетка основне школе уписује Прву крагујевачку гимназију, одељење обдарених ученика математичке гимназије, коју завршава 2010. године.

Основне академске студије на Машинском факултету (сада Факултет инжењерских наука) у Крагујевцу уписала је 2010. године, а завршила 2013. године, на смеру за Примењену механику и аутоматско управљање, са просечном оценом у току студија 10,00 (десет и 00 /100). Завршни рад под називом "Компјутерско моделирање биомеханике колена", под менторством проф. др Ненада Филиповића, одбранила је 23.09.2013. године, са највишом оценом. Након завршетка основних академских студија, 2013. године уписује мастер академске студије на Факултету инжењерских наука, смер Машинско инжењерство, модул Примењена механика и аутоматско управљање. Мастер академске студије је завршила 2015. године са просечном оценом 10,00 (десет и 00 /100). Мастер рад под називом "Компјутерски и експериментални модел биомеханике колена" одбранила је 22.06.2015. године, са највишом оценом.

Током основних и мастер академских студија била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја, Фонда за младе таленте као и Универзитета у Крагујевцу. Током мастер академских студија била је стипендиста Истраживачко развојног центра за биоинжењеринг (BioIRC), где је била запослена након завршетка студија.

Након завршених мастер академских студија уписује докторске академске студије, школске 2015/2016 године, на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, под менторством др Ненада Филиповића, ред. проф. Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Положила је све предмете предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 10.

Запослена је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, као истраживач приправник, од јануара 2017. Године, на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије III41007 „Примена биоинжењеринга у претклиничкој и клиничкој пракси“. Учествоје у реализацији наставе на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу на предметима: Основи биоинжењеринга, Биоинжењеринг и биоинформатика, Рачунарски алати, Механика 3.

Има учешће у националним и међународним научноистраживачким пројектима.

У септембру 2016. године била је на стручном усавршавању на Институту за материјале и заваривање, Технички Универзитет у Грацу, Аустрија, као стипендиста организације European Virtual Institute on Knowledge-Based Multifunctional Materials AISBL (KMM-VIN). Предложена тема дисертације је резултат боравка у Грацу.

6. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор до сада је објавила **11** радова у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

Списак објављених радова:

M21 Рад у врхунском међународном часопису

1. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Coupled in silico platform: Computational fluid dynamics (CFD) and physiologically-based pharmacokinetic (PBPK) modelling, European Journal of Pharmaceutical Sciences, Vol. 113, pp. 171-184, ISSN: 0928-0987, DOI: 10.1016/j.ejps.2017.10.022, 2018.

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Branko Ristić, Effects of ruptured anterior cruciate ligament and medial meniscectomy on stress distribution of human knee joint at full extension, 15th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering

(BIBE 2015), Belgrade, 2nd-5th November, pp. 132 – 135, ISBN 978-1-4673-7984-7, DOI: 10.1109/BIBE.2015.7367650, 2015.

2. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Femur During Gait, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 3th-5th July, pp. 61 – 66, ISBN 978-86-921243-0-3, 2017.
3. Tijana Šušteršič, **Aleksandra Vulović**, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Simulation of Aerosol Particle Flow Through Dry Powder Inhaler Aerolizer®, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 3th-5th July, pp. 52 – 60, ISBN 978-86-921243-0-3, 2017.
4. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Femoral Implant Under Static Load, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2017), Washington DC, 23rd-25th October, ISBN 978-1-5386-1325-2, pp. 559 – 562, DOI: 10.1109/BIBE.2017.00012, 2017.
5. Tijana Šušteršič, **Aleksandra Vulović**, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Effect of Circulation Chamber Dimensions on Aerosol Delivery Efficiency of a Commercial Dry Powder Inhaler Aerolizer®, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2017), Washington DC, 23rd-25th October, pp. 555 - 558, ISBN 978-1-5386-1325-2, DOI: 10.1109/BIBE.2017.00011, 2017.
6. **Vulović, A.**, Warchomicka, F., Ramskogler, C., Sommitsch, C., Filipović, N., Simulation of the Interlocking Capacity of the Modified Hip Implant Surface, In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) ICIST 2018 Proceedings Vol.1, pp. 202 - 205, 2018, <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/399>.
7. Šušteršič, T., **Vulović, A.**, Cekerevac, I., Susa, R., Baumann, S., Zisaki, A., Braojos, R., Rincón, F., Murali, S., Filipović, N., Automatic Sleep Apnea/Hypopnea Detection based on Nasal Airflow Signal. In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) ICIST 2018 Proceedings Vol. 1, pp. 206 - 211, 2018, <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/400>.

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **Vulović Aleksandra**, Warchomicka Fernando, Ramskogler Claudia, Sommitsch Christof, Filipović Nenad, Finite Element Analysis of the Modified Hip Implant Surface, In Biologica Serbica - Belgrade Bioinformatics Conference – BelBi 2018, Belgrade, 18th – 22nd June, Vol. 40, No.1 (Special Edition), pp. 7, ISSN 2334-6590, UDK 57 (051), 2018.

M52 Рад у часопису националног значаја

1. **A. Vulović**, A. Vukićević, G. Jovičić, B. Ristić, N. Filipović, The influence of ruptured anterior cruciate ligament on the biomechanical weakening of knee joint and posterior cruciate ligament, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol. 10, No. 2, pp 1-8, ISBN 1820-6530, DOI:10.5937/jssem1602001V, 2016.

M53 Рад у научном часопису

1. **A. Vulovic**, T. Sustersic, V. Rankovic, A. Peulic, N. Filipovic, Comparison of Different Neural Network Training Algorithms with Application to Face Recognition Problem, EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems 18(12): e3, ISSN 2410-0218, DOI: 10.4108/eai.10-1-2018.153550, 2018.

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Александра Вуловић, мастер инжењер машинства, испунила је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

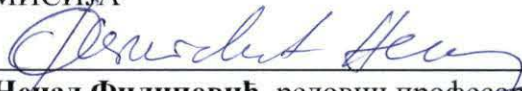
„Нумеричка и експериментална анализа утицаја модификоване површине импланта на процес зарастања бутне кости“


прихвати и одобри њену израду кандидату **Александри Вуловић, мастер инжењеру машинства**.


Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др **Ненад Филиповић**, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

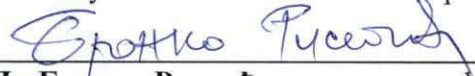
У Крагујевцу,
05.11.2018. год.


КОМИСИЈА


Др Ненад Филиповић, редовни професор – председник Комисије
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Уже научне области: Примењена механика, Примењена
информатика и рачунарско инжењерство.


Др Гордана Јовичић, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Уже научне области: Примењена механика,


Др Велибор Исаиловић, доцент – члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Уже научне области: Биоинжењеринг


Др Бранко Ристић, ванредни професор – члан
Факултет медицинских наука, Универзитет у Крагујевцу
Уже научне области: Хирургија


Др Чедомир Вучетић, редовни професор – члан
Медицински факултет, Универзитет у Београду
Уже научне области: Хирургија са анестезиологијом.