

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

„Примена адитивних производних технологија у поступку прецизног ливења
ортопедских имплантата“

Кандидат мр Александар Рајић

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију</p> <p>На седници Наставно-научног већа Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину, Универзитет у Новом Саду, 23.06.2015. год., донета је одлука о именовану Комисије за оцену докторске дисертације кандидата мр Александра Рајића.</p>
<p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. Проф. др Живослав Адамовић, председник, ужа научна област: Индустрijско инжењерство, 1995. год., редовни професор, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду.</p> <p>2. Проф. др Мирослав Ламбић, члан, ужа научна област: Индустрijско инжењерство, 1997. год., редовни професор, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду.</p> <p>3. Проф. др Бранко Шкорић, члан, ужа научна област: Инжењерство површина, микро и нано технологије, 2011. год., редовни професор, Факултет техничких наука Нови Сад, Универзитет у Новом Саду.</p> <p>4. Доц. др Елеонора Десница, члан, ужа научна област: Индустрijско инжењерство, 2011. год., доцент, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду.</p> <p>5. Проф. др Слободан Стојадиновић, ментор, ужа научна област: Индустрijско инжењерство, 1993. год., редовни професор, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду.</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Александар Аца Рајић</p>
<p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>01.09.1970., Зрењанин, Република Србија</p>
<p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p>

<p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду, Развој и оптимизација процеса и система у прецизном ливењу применом „Rapid tooling“ технологије, Управљање развојем, 01.10.2006.</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p> <p>Управљање развојем</p>
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p> <p>Примена адитивних производних технологија у поступку прецизног ливења ортопедских имплантата</p>
<p>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p> <p>Докторска дисертација кандидата мр Александра Рајића под називом „Примена адитивних производних технологија у поступку прецизног ливења ортопедских имплантата“ написана је на српском језику, латиничним писмом и садржи 11 поглавља на 207 страна, 121 литературних извора, 147 слика и 66 табела.</p> <p>Наслови поглавља су следећи:</p> <ol style="list-style-type: none"> Увод 1. Преглед постојећих решења 2. Методолошки концепт истраживања 3. Развој и карактеристике ортопедских имплантата 4. Конвенционалне технологије израде ортопедских имплантата 5. Адитивне производне технологије за израду ортопедских имплантата 6. Развој методе за брзо прецизно ливење ортопедских имплантата 7. Оцена технологичности израде модела имплантата и избор оптималног технолошког поступка 8. Анализа и дискусија резултата 9. Закључак 10. Предлог даљих истраживања 11. Литература <p>Рад је обухватио следеће:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Развој методе за ефикасно медицинско моделирање, 2. Развој методе за реверзни инжењеринг у оквиру које је реализовано 3Д скенирање постојећих стандардних ортопедских имплантата, обрада овако добијених облака тачака и формирање 3Д полигоналних модела, 3. Креирање 3Д CAD геометријских модела стандардних и анатомски прилагођених имплантата, 4. Оптимизацију процеса ињекционог бризгања воштаних модела имплантата рачунарском симулацијом и анализом у специјализованом програмском модулу, 5. Избор потенцијалних АМ процеса и одговарајућих система и материјала, 6. Израду АМ модела стандардних и прилагођених имплантата применом АМ процеса, 7. Израду калупа од силиконске гуме и израду воштаних модела имплантата технологијом бризгања у силиконске калупе, 8. Контролу тачности димензија и верификацију произведених топљивих модела,

9. Оцену технологичности израде и конструкције ортопедских имплантата и избор оптималног АМ технолошког поступка за примену у прецизном ливењу.

На почетку дисертације дат је кратак увод у област примене адитивних производних технологија у биоинжењерингу дефинисањем појмова прецизног ливења и ортопедских имплантата колена и кука, као и објашњењем важности прилагођених имплантата код тоталне замене зглобова.

Прво поглавље доноси преглед стања истраживања у области и обухвата неколико сегмената: примену АМ технологија за израду ортопедских имплантата, конвенционалне и адитивне производне технологије које се користе за израду ортопедских имплантата и анализу могућности примене одговарајућих биоматеријала, могућности примене АМ технологија у поступку прецизног ливења, са посебним акцентом на значај питања израде топљивих модела.

У другом поглављу дат је методолошки концепт истраживања у којем су дефинисани проблем, предмет и циљ истраживања. Такође су постављене главна и помоћне истраживачке хипотезе.

Треће поглавље обухвата приказ развоја и карактеристика имплантата за замену зглобова, уз посебан осврт на биоматеријале који се користе за израду имплантата, као и на проблеме отказа имплантата.

Следи четврто поглавље у којем је дат преглед и анализа конвенционалних технологија за израду ортопедских имплантата, са посебним акцентом на поступак прецизног ливења. Дат је преглед технолошког процеса израде одливака у поступку прецизног ливења, принцип рада машина за бризгање воска и дијаграми циклуса убризгавања воска. Детаљно је приказан процес израде воштаних модела као и грешке које се јављају при изради воштаних модела.

Пето поглавље обухвата преглед и анализу адитивних производних технологија за израду ортопедских имплантата. У оквиру поглавља дата је класификација АМ технологија и опис принципа рада за најважније процесе као и анализа АМ технологија потенцијално применљивих за израду топљивих модела за прецизно ливење. Приказани су различити приступи изради топљивих модела који обухватају директну израду топљивих модела, директну и индиректну израду калупа за топљиве моделе и директну израду керамичке шкољке. У истраживању је направљен осврт на примену АМ процеса у директној изради прилагођених ортопедских имплантата. Посебно су представљене технике које се могу применити за 3Д дигитализацију физичких модела, као и процеси реверзног инжењерства и стратегије скенирања и конвертовања података у 3Д модел.

Шесто поглавље представља најважнији део истраживања и обухвата развој и имплементацију интегрисаног система за „брзо прецизно ливење” ортопедских имплантата. У овом поглављу приступило се експерименталном делу истраживања предвиђеном у пројектном задатку. Поглавље обухвата више целина али се оне могу свести на четири најважнија сегмента од којих је први израда стандардних и прилагођених рачунарских модела имплантата колена и кука применом техника медицинског моделирања и реверзног инжењерства. Други сегмент представља оптимизацију процеса ињекционог бризгања воска за претходно креиране моделе имплантата, применом метода коначних елемената. Трећи сегмент је избор потенцијалних технологија за израду АМ модела имплантата. Након тога следи детаљан приказ процеса израде ортопедских имплантата на сваком од изабраних АМ система. Овај сегмент обухвата и израду воштаних модела имплантата технологијом бризгања у калупима од силиконске гуме. Последњи, четврти сегмент приказује контролу тачности димензија АМ модела применом САД инспекције и анализу уређаја за оптичку дигитализацију.

Седмо поглавље обухвата анализу технологичности израђених АМ модела и анализу применљивости различитих АМ процеса за израду топљивих модела имплантата кроз примену методе Аналитичко хијерархијски процес у функцији избора оптималног АМ система.

Осмо поглавље доноси анализу и дискусију резултата истраживања.

У поглављима девет и десет дата су закључна разматрања и предлози даљих истраживања у овој области, чији би резултати пружили потпунији увид у могућности примене адитивних производних технологија у поступку прецизног ливења прилагођених имплантата са аспекта оптимизације техно-економских параметара производње. На бази резултата реализованог истраживања у оквиру докторске дисертације и актуелности проблематике образложене су могућности и потребе за наставком истраживања у овој области.

У једанаестом поглављу дат је списак литературе која је била коришћена у овој дисертацији. Литература је обимна и савремена и пружа у довољној мери увид у резултате релевантних истраживања из проблематике која је проучавана у дисертацији.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација садржи све елементе које треба да садржи докторске дисертација.

У уводном поглављу је дат осврт на тематику истраживања и кратак преглед садржаја дисертације.

У поглављу „Преглед постојећих решења“ је дат приказ литературних извора од значаја за дефинисање предмета и циља рада као и саму поставку хипотезе дисертације. Преглед обухвата анализу најважнијих истраживања у области директних и индиректних АМ приступа решавању проблема израде топљивих модела применљивих у поступку прецизног ливења ортопедских имплантата.

У оквиру поглавља „Методолошки концепт истраживања“ је концизно исказан предмет истраживања са основним циљем рада, у оквиру којег су дефинисани подциљеви као и пројектни задатак истраживања који представља алгоритам за решавање проблема и реализацију постављених циљева. Главна и помоћне хипотезе истраживања су јасно дефинисане.

Поглавље „Развој и карактеристике ортопедских имплантата“ приказује основне карактеристике биоматеријала за примену у ортопедији као и историјски развој и карактеристике савремених ортопедских имплантата са акцентом на имплантате зглоба колена.

У поглављу „Конвенционалне технологије израде ортопедских имплантата“ обухваћени су основни појмови везани за технолошки процес израде одливака имплантата поступком прецизног ливења. Приказани су принцип рада машина за бризгање воска и дијаграми циклуса убризгавања воска. Детаљно је приказан процес израде воштаних модела као и грешке које се јављају при изради воштаних модела. Приказани су и математички модели који описују реолошке карактеристике воска као и зависност специфичне запремине, притиска и температуре при бризгању.

Поглавље „Адитивне производне технологије за израду ортопедских имплантата“ обухвата класификацију и анализу адитивних производних технологија применљивих за израду ортопедских имплантата. Приказани су различити приступи израде топљивих модела који обухватају директну израду топљивих модела, директну и индиректну израду калупа за топљиве моделе и директну израду керамичке шкољке. У истраживању су анализирани и АМ процеси за директну израду прилагођених ортопедских имплантата. Описане су технике применљиве за 3Д дигитализацију физичких модела, као и процеси реверзног инжењерства и стратегије скенирања и конвертовања података у 3Д модел. Материја је прегледно изложена.

Поглавље „Развој методе за брзо прецизно ливење ортопедских имплантата“ на прегледан начин приказује развој методе за интегрисано „брзо прецизно ливење“ ортопедских имплантата подељен у следеће целине: аквизицију анатомских података и медицинско моделирање, реверзно инжењерство имплантата, израду 3Д геометријских модела прилагођених ортопедских имплантата, рачунарску симулацију и анализу процеса бризгања воштаних модела имплантата, избор потенцијалних технологија за израду АМ модела имплантата, израду узорака ортопедских имплантата колена и кука изабраним адитивним технологијама, израду воштаних модела

ортопедских имплантата технологијом бризгања у калупима од силиконске гуме и контролу тачности димензија и верификацију израђених топљивих модела.

У поглављу „Оцена технологичности израде модела имплантата и избор оптималног технолошког поступка“ реализована је анализа технологичности израђених АМ модела и анализа применљивости различитих АМ процеса за израду топљивих модела имплантата применом метода Бинарног оцењивања и Аналитичко хијерархијског процеса.

Приказани резултати истраживања су у складу са постављеним циљевима и у потпуности одговарају методолошком аспекту дисертације. Резултати истраживања презентовани су јасно у целисти, пропраћени графичким и табеларним приказима. Дискусија је адекватно структурирана и даје прегледну анализу резултата добијених експерименталном израдом узорака АМ модела имплантата, као и резултате добијене нумеричком симулацијом применом програмског модула SolidWorks Plastics. Дискутовани су и резултати вишекритеријумске оптимизације добијени применом методе Аналитичко хијерархијски процес.

У оквиру закључка наведена су разматрања везана за развијену методу интегрисаног система брзог прецизног ливења, уз примену савремених информационо-производних технологија, у функцији скраћења времена и смањења трошкова производње у поступку прецизног ливења прилагођених ортопедских имплантата. На основу тих разматрања закључци су јасно дефинисани и повезани са постављеним хипотезама и циљевима истраживања.

На крају дисертације поред формираних закључака дат је преглед научног доприноса дисертације као и могућности примене добијених резултата у пракси уз посебно наглашен утицај на скраћење времена и смањење трошкова производње у поступку прецизног ливења

Након детаљног приказа постигнутих резултата истраживања и изведених закључака, дати су правци будућих истраживања и могућности даљег унапређења развијене методе интегрисаног „брзог прецизног ливења“ ортопедских имплантата.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у међународном часопису (M23):

1. Rajić, A., Desnica, E., Stojadinović, S., Nedelcu, D., Numerical Simulation and Additive Manufacturing technology in design of knee implant patterns, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 16, No. 9-10, September - October 2014, pp. 1180 -1190, 2014, E-ISSN: 1841-7132, P-ISSN: 1454-4164

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

1. Rajić, A., Desnica, E., Stojadinović, S., Nedelcu, D., Applications of the Rapid Prototyping technology to manufacture industrial parts made of photopolymer, IV International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection (IIEP 2014), Technical Faculty “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 15th October, 2014, pp. 123-130, ISBN 978-86-7672-234-1.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. Rajic, A., Stojadinovic, S., Nedelcu, D., Lazic-Vulicevic, Lj., Applications of the Additive Manufacturing technology to manufacture the knee implants, 10th Scientific/Research Symposium with International Participation „Metallic and Nonmetallic Materials“ Bugojno, B&H, 24-25. April 2014.

Рад у водећем часопису националног значаја (M51):

1. Rajic, A., Desnica, E., Stojadinovic, S., Nedelcu, D., Development of method for Reverse Engineering in creation of 3D CAD model of knee implant, Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, Vol. 11, No 1, pp. 45-54, 2013, ISSN 0354-2025.
2. Rajic, A. Stojadinovic, S., Nedelcu, D., Desnica, E., Lazić-Vulicevic, Lj., Applications of the Additive Manufacturing technology to manufacture the hip implants, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XII [2014] – Fascicule 2 [May], pp. 101-106, 2014, ISSN: 1584-2665 [print], ISSN: 1584-2673 [online].
3. Rajic, A., Desnica, E., Stojadinovic, S., Lazić-Vulicevic, Lj., Eric, S., Reverse engineering and CAD inspection of knee implant using the Noomeo Optinum 3D Scanner, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XIII [2015] – Fascicule 2 [May], pp. 39-42, 2015, ISSN: 1584-2665 [print], ISSN: 1584-2673 [online].

Рад у часопису националног значаја (M52):

1. Рајић, А., Манић, М., Rapid Prototyping технологије у прецизном ливењу металних имплантата, Часопис "ИМК-14 – Истраживање и развој", Година XVI, Број (35) 2/2010., Институт ИМК "14. октобар" Крушевац, стр. 39-44, УДК 621, ISSN 0354-6829.

Рад у научном часопису (M53):

1. Nedelcu, D., Raoul, A., Danu, F., Rajic, A., Applications of the Rapid Prototyping Technology to manufacture the Pelton runners, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita Anul XX, Nr. 1, pp. 191-198, 2013, ISSN: 1453-7397.
2. Nedelcu, D., Rajic, A., Danut, F., Raoul, A., The Reverse Engineering of a Spring Support using the Noomeo Optinum 3D Scanner and the Rapidform XOR3 software, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita, Anul XX, Nr. 1, pp. 199-206, 2013, ISSN: 1453-7397.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Докторска дисертација је писана у методолошком смислу на основу два приступа: теоријског и експерименталног. Истраживања у докторској дисертацији довела су до резултата који потврђују оправданост избора проучаване проблематике. Научно засноване методе које су коришћене у решавању предмета докторске дисертације омогућиле су у теоријском делу да се анализирају аспекти примене АМ технологија у прецизном ливењу ортопедских имплантата. У области моделирања прилагођених ортопедских имплантата као полазна основа користе се технике аквизиције дигиталних снимака са уређаја као што су СТ и MR, који су усклађени са DICOM стандардом. Препознавање морфолошких карактеристика костију зглобова је кључно за успешно моделирање прилагођених ортопедских имплантата и реализује се у уско-специјализованим програмима као и у комерцијалним 3Д САД програмима.

У области пројектовања прилагођених имплантата тенденција је на развоју специјализованих софтвера за дизајнирање имплантата и планирање операција. У случајевима где је потребно израдити прилагођени ортопедски имплантат доминанта је директна израда АМ технологијама, тзв. Rapid Manufacturing, првенствено ЕВМ и DMLS процесима. Када ове

технологије нису доступне, примењују се решења која интегришу AM технологије и поступак прецизног ливења, са фокусом на директну израду AM топљивих модела или индиректну израду топљивих модела применом AM мастер модела или AM алата. У већини анализираних истраживања акценат је на следећим аспектима: смањењу трошкова израде имплантата, скраћењу времена израде, подизању квалитета израђених имплантата и имплементацији нових, побољшаних, биокompatibilних материјала.

Експерименталним истраживањем потврђено је да се применом различитих AM процеса (PolyJet, SLS, 3DP i FDM) могу израдити топљиви модели, веома захтевних геометрија на основу полазног 3D CAD модела, чиме се елиминише фаза израде алата за топљиве моделе. Такође су на основу одабраних AM модела успешно израђени воштани модели технологијом бризгања у калупима од двокомпонентне силиконске гуме. Истраживање је показало да су програмски пакети примењени у експерименталном делу истраживања неопходан алат у свим фазама пројектовања прилагођених ортопедских имплантата. Пројектовање прилагођених имплантата је незамисливо без примене уско-специјализованих софтвера за обраду медицинских снимака као што су у конкретном случају били Mimics и Magics RP. Софтвери за реверзно инжењерство NumiSoft и Geomagic Design X омогућили су дигитализацију физичких модела имплантата, док је у програму SolidWorks спроведено 3D моделирање прилагођених имплантата. CAD инспекција AM модела и анализа уређаја за оптичку дигитализацију реализована је у програмском пакету GOM Inspect V8. Истраживање је показало да се анализом циклуса убризгавања воска нумеричком симулацијом применом програмског модула SolidWorks Plastics, могу изабрати оптимална решења за локацију убризгавања и да је могуће одредити оптималну варијанту са најкраћим временом попуње.

Упоредном анализом времена и трошкова израде топљивих модела доказана је предност интегрисаног система „брзог прецизног ливења“. Ова анализа је обухватила прототипску израду прилагођеног имплантата колена и резултати ове анализе потврђују предност приступа директне израде топљивих модела у случајевима прототипске и појединачне производње прилагођених имплантата. Када је у питању малосеријска производња ортопедских имплантата, до неколико десетина комада, оптимална варијанта је примена приступа индиректне израде топљивих модела бризгањем у калупе од силиконске гуме. Овим је доказана главна истраживачка хипотеза. Код случајева великосеријске и масовне производње, које свакако и нису интересантне за израду прилагођених ортопедских имплантата, предност је несумњиво на страни конвенционалног прецизног ливења.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

У докторској дисертацији су детаљно обрађени, јасно и прегледно приказани резултати истраживања у облику табела, помоћу графика и слика. Резултати истраживања су јасно и разумљиво образложени, са критичким освртом у складу са владајућим ставовима науке у овој области. На основу резултата истраживања, изведени су закључци који дају јасне одговоре на постављене циљеве и њихова анализа представља основу за примену и даљи развој истраживања у области примене адитивних технологија и реверзног инжењерства у прецизном ливењу ортопедских имплантата.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Да. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме за израду докторске дисертације.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Комисија констатује да је у оквиру дисертације приказан оригинални научни рад на тему примене адитивних производних технологија у прецизном ливењу ортопедских имплантата. У дисертацији су синтетизована сазнања до којих су дошли истакнути стручњаци из ове области а на бази детаљне анализе доступних литературних извора. У том смислу проблематика изложена у овој дисертацији има посебну вредност и представља вредан научни допринос. Примењена је релевантна научна методологија и поред доступне стране и домаће литературе, коришћени су и разни емпиријски извори. Докторска дисертација је указала на сву сложеност и значај примене адитивних производних технологија и техника реверзног инжењерства, и може да буде користан извор за даља истраживања.

Значај дисертације огледа се у извршеној техно-економској анализи имплементације четири расположиве АМ технологије у процесу директне и индиректне израде преко тридесет узорака топљивих модела имплантата колена и кука, као и одговарајућих силиконских калупа. Резултати истраживања указују на то да се истраживања у области нових биоматеријала, требају усмерити ка имплементацији АМ система у развоју имплантатних склопова фиксатора и ендопротеза, као и за развој нових врста потпорних матрица за коштану али и мека ткива.

Дато је оригинално решење методологије пројектовања прилагођених ортопедских имплантата комбиновањем техника медицинског моделирања за креирање виртуелних биодела и реверзног инжењерства реалних типских воштаних модела имплантата. Основни допринос дисертације је унапређење тренутно актуелног поступка прецизног ливења ортопедских имплантата. Применом у дисертацији предложене и развијене методе интегрисаног система за „брзо прецизно ливење“, која обухвата примену најсавременијих информационо-производних технологија у комбинацији са конвенционалним прецизним ливење, утврђени су ефекти скраћења времена и смањења трошкова у поступку прецизног ливења прилагођених ортопедских имплантата.

У оквиру дисертације је реализована рачунарска симулација и анализа процеса бризгања воштаних модела имплантата применом програмског модула SolidWorks Plastics, што је према анализираним литературним подацима јединствено, обзиром да је до сада углавном коришћен софтвер Autodesk Moldflow. За потребе истраживања је било потребно, у оквиру SolidWorks Plastics библиотеке материјала, кориснички дефинисати све неопходне параметре на основу података добијених директно од произвођача воска.

Оригиналност истраживања огледа се и у примени АНР методе, која је примењена као подршка при избору оптималног АМ процеса за израду топљивих модела ортопедских имплантата. За вредновање алтернатива, односно четири различита АМ процеса, коришћени су критеријуми чија је релевантност верификована научним методама и методом вишекритеријумске оптимизације АНР извршено је вредновање и рангирање алтернативних решења. Стабилност одабраног решења проверена је и анализом осетљивости на промену утицаја појединих или свих критеријума. Могућност примене дефинисаног модела верификована је студијом за конкретан случај израде топљивог модела ортопедског имплантата колена.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултат истраживања.

X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
<p>Да Наставно-научно веће Техничког факултета „Михајло Пупин“ у Зрењанину прихвати извештај Комисије, а кандидату Мр Александру Рајићу, одобри јавну одбрану докторске дисертације под насловом „Примена адитивних производних технологија у поступку прецизног ливења ортопедских имплантата“.</p>

**НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ**

1. Председник: _____
Др Живослав Адамовић, редовни професор
Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Универзитет у Новом Саду

2. Члан: _____
Др Мирослав Ламбић, редовни професор
Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Универзитет у Новом Саду

3. Члан: _____
Др Бранко Шкорић, редовни професор
Факултет техничких наука Нови Сад
Универзитет у Новом Саду

4. Члан: _____
Др Елеонора Десница, доцент
Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Универзитет у Новом Саду

5. Ментор: _____
Др Слободан Стојадиновић, редовни професор,
Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Универзитет у Новом Саду

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.