

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Шарац Душана**, мастер инжењера машинства, студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1269/2 од 31.05.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Шарац Душана**, мастер инжењера машинства, студента докторских студија Модула за Биомедицинско инжењерство на Машинском факултету Универзитета у Београду под насловом

„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“

Након прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Шарац Душан, мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/11. године. На молбу кандидата Шарац Душана, а сагласно члану 93. тачка 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета у Београду“, број 186/16-пречишћен текст) и члана 36 Статута Машинског Факултета, Решењем број 2702/1 од 30.09.2016. године, Шарац Душану је одобрен продужетак рока за завршетак студија за два семестра у школској 2016/2017. години.

По захтеву студента докторских студија Шарац Душана, мастер инжењера машинства, број 2700/1 од 24.12.2015. године, предлога доцента др Ненада Митровића, ментора и сагласности Катедре за процесну технику бр. 1391/3 да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 1391/4 од 14.07.2016. којом се прихвата тема докторске дисертације под називом **„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“**, именује се ментор доцент др Ненад Митровић и именује се Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

1. др Ненад Митровић, ментор, доцент Машинског факултета у Београду
2. др Лидија Матија, редовни професор Машинског факултета у Београду
3. др Љиљана Тихачек-Шојић, редовни професор Стоматолошког факултета у Београду
4. др Александар Петровић, редовни професор Машинског факултета у Београду

На основу извештаја Комисије бр. 1391/3 од 13.07.2016. и одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду под бројем 1391/4 од 14.07.2016. године да се прихвата предлог о испуњености услова кандидата и о научној заснованости теме докторске дисертације докторанта Шарац Душана, мастер инжењера машинства, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду које је на седници одржаној 19.9.2016. донело Одлуку бр. 61206-3988/2-16 да се кандидату Шарац Душану, мастер инжењеру машинства, даје сагласност на предлог теме докторске дисертације под називом **„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“** под менторством доцента др Ненада Митровића. Закључком број 2700/1 од 24.12.2015. године, у вези са захтевом докторанта Шарац Душана, мастер инжењера машинства, да му се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовану ментора, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду са седнице од 19.9.2016. године, одобрава се рад на теми докторске дисертације **„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“**, студента докторских студија Шарац Душана, мастер инжењера машинства, а за ментора се именује доцент др Ненад Митровић.

На основу обавештења доцента др Ненада Митровића, ментора, да је кандидат Шарац Душан, мастер инжењер машинства, завршио докторску дисертацију под називом **„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“**, као и предлога Катедре за процесну технику, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 1269/2 од 31.05.2018. године о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Ненад Митровић (ментор), доцент Машинског факултета Универзитета у Београду
- др Александар Петровић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду
- др Александар Седмак, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду
- др Љиљана Тихачек-Шојић, редовни професор Стоматолошког факултета Универзитета у Београду
- др Александра Митровић, научни сарадник, Висока техничка школа струковних студија у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Шарац Душана под насловом **„Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“** припада области техничких наука - машинство, ужа научна област биомедицинско инжењерство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је др Ненад Митровић, доцент групе предмета из процесне технике на Катедри за процесну технику, Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Шарац Душан рођен је 10.03.1986. године у Белој Цркви, где је завршио техничку школу „Сава Мунђан“, са усмерењем: машински техничар за компјутерско конструисање, са

одличним успехом. Основне академске студије, на Машинском факултету Универзитета у Београду је завршио 2010. године, на одсеку за биомедицинско инжењерство, одбранивши рад на тему „Апарати у стоматолошкој ординацији“ са оценом 10 (десет). Просечна оцена током основних академских студија је износила 8,43 (осам и 43/100). Одбраном мастер рада на тему „Примена Опто-Магнетне спектроскопије у стоматолошкој дијагностици“ на Машинском факултету Универзитета у Београду, на модулу за Биомедицински и еколошки инжењеринг са оценом 10 (десет), стиче академско звање *Мастер инжењер машинства*. Просечна оцена током мастер студија износила је 9,55 (девет и 55/100).

Школске 2010/2011. године Шарац Душан уписује докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, на Модулу за биомедицинско инжењерство. Од фебруара 2011. године Шарац Душан је запослен на Машинском факултету Универзитета у Београду као истраживач приправник, да би одлуком бр. 21-239/4 Истраживачко-стручног већа Машинског факултета са седнице одржане 21.03.2013. године добио истраживачко звање истраживач сарадник. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 21-941/6 од 29.08.2016. године Шарац Душан, мастер инжењер машинства, бива реизабран у звање истраживач сарадник. У периоду од 2011. године до данас, као сарадник у настави, учествовао је у извођењу више предмета на Основним и Мастер академским студијама на Машинском факултету Универзитета у Београду, на модулу за Биомедицинско инжењерство при катедри за Аутоматско управљање: Спектроскопске методе и технике, Основе оптичких помагала и уређаја, Биомедицинско оптоинжењерство, Биомедицинска фотоника, Статистика у биомедицинским мерењима.

У досадашњем стручном и истраживачком раду учествовао је на два научно-истраживачка пројекта финансирана од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, ИИИ 41006 под називом „Развој нових метода и техника за рану дијагностику канцера грлића материце, дебелог црева, усне дупље и меланома на бази дигиталне слике и ексцитационо емисионих спектра у видљивом и инфрацрвеном домену“ и на пројекту ИИИ 45009 под називом „Функционализација наноматеријала за добијање нове врсте контактних сочива и рану дијагностику дијабетеса“.

Шарац Душан говори течно енглески језик. Аутор је и коаутор на више од 25 радова који су презентовани на научним скуповима или објављени у часописима различитих категорија.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Шарац Душана, мастер инжењера машинства, под насловом „Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру“ изложена је на 200 страна, садржи 104 слике, 25 табела, 12 једначина и списак литературе са 236 наслова. Дисертација поред садржаја, скраћеница и номенклатуре, прилога и биографије, садржи следећих девет поглавља:

1. Увод
2. Преглед и анализа постојећег стања предмета изучавања
3. Материјал
4. Метода експерименталног истраживања
5. Метода коначних елемената
6. Експериментални резултати
7. Нумерички резултати
8. Дискусија
9. Закључак
10. Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу *Увод* су дати основни подаци о улози денталних импланата у оралној хирургији и протетици. Посебна пажња је посвећена основним геометријским карактеристикама денталних импланата, као и основним поставкама преноса оптерећења са денталних импланата на околну кост. Такође је дат посебан осврт на утицај геометрије денталних импланата на пренос оптерећења, типове оптерећења које могу деловати на сам имплант током свакодневне употребе. Додатно, разматран је и утицај нагиба абатмената, односно типова супраструктура, које се постављају на дентални импланте и представљају носећу спону између денталних импланата и надоградње у виду круница или мостова.

У поглављу *Преглед и анализа постојећег стања предмета изучавања*, су приказани главни проблеми који бити узрочници отказа терапије са денталним имплантима, односно разлози који могу довести до непходног уклањања денталних импланата. Приказане су теоријске основе Вулфовог закона ремоделовања кости. Додатак на теоријску основу Вулфовог закона представља Фростова хипотеза механостата, која квантитативно дефинише опсеге дозвољених деформација који могу настати као последица различитих врста оптерећења, као и утицај које они могу имати на кост. Дозвољени праг деформације кости износи приближно 0,3 %. После овог прага, долази до смањења коштане масе, што последично може захтевати хируршку интервенцију. Потврђено је да геометрија денталног импланта има велики утицај на појаву напона и деформација, како на самој контактної површини између импланта и околне кости, тако и у близини импланта. Геометрија денталног импланта, са аспекта макродизајна, се може поделити на неколико битних параметара, као што су: пречник, дужина, облик и карактеристике навоја (профил, корак, дубина). Расподела напона и деформација у околини денталних импланата, која настаје под одређеним оптерећењем денталног импланта, се назива карактеристиком преноса оптерећења. Процена је да на тржишту постоји преко 1300 различитих врста денталних импланата. С обзиром на велики утицај геометрије, постоји потреба за стандардизованим испитивањем карактеристике преноса оптерећења. Ова метода мора бити поуздана, релативно једноставна за спровођење, као и економски исплативија у односу на било који други вид клиничког испитивања.

У поглављу *Материјал* су наведене све врсте денталних импланата који су коришћени у истраживању, подељени по студијама. Сви дентални импланти су прибављени од стране Клинике за стоматолошку протетику, Стоматолошког факултета Универзитета у Београду. Две експерименталне студије су изведене у оквиру целокупног истраживања, прелиминарна и главна. Прелиминарна студија испитује утицај нагиба абатмента на појаву деформација, као и утицај дебљине слоја на појаву деформација на површини од интереса. Коришћена су два импланта Страуман, $\varnothing 4,1 \times 10 \text{ mm}$, са абатментима различитог нагиба од 0° и 35° . Абатмент представља спону између денталног импланта и надоградње која може бити у виду појединачне крунице, протезе итд.. У главној студији је испитан утицај геометријски различитих денталних импланата, произвођача Страуман и Нобел. Испитивани су импланти Нобел $\varnothing 3,5 \times 15 \text{ mm}$ (означен као N1), Страуман $\varnothing 4,1 \times 10 \text{ mm}$ (S1) и $\varnothing 4,8 \times 14 \text{ mm}$ (S2). Описане су њихове главне геометријске карактеристике. Наведене су механичке карактеристике титанијума и титанијумских легура, као и њихов биокompatibilни аспект. Дат је преглед историјске примене поли(метил-метакрилата), као основног материјала за израду модела, заједно са његовим механичким карактеристикама. Приказане су геометрије оба модела, као и процеса израде калупа помоћу ФДМ (Fused Deposition Modeling) технике тродимензионалне штампе (лабораторија Биомедицинско инжењерство, Лабораторија НаноЛаб 2, Машински факултет Универзитета у Београду). Приказан је носач за савијање у три тачке који је израђен за потребе истраживања на Катедри за производно машинство. Узорци су оптерећени аксијалном притисном силом, помоћу универзалне кидалице

(Лабораторија за испитивање машинских елемената и система - ЛИМЕС, Машински факултет Универзитета у Београду). Максимална сила је износила 500 N за прелиминарну студију и 600 N за главну студију.

У поглављу *Метода експерименталног истраживања* је описан математички принцип за функционисање система за мерење деформација – тродимензионална корелација дигиталних слика. Приказан је протокол калибрације система, потребна инсталација, као и протокол извођења експеримента. За развијање виртуелних модела је коришћен софтвер SolidWorks. Метода коначних елемената је извршена помоћу софтвера Ansys. У оквиру статистичке анализе је примењен софтвер R, за статистичко рачунање.

У поглављу *Метода коначних елемената* је дат основни преглед и поставке методе коначних елемената. Помоћу методе коначних елемената је направљен осврт на пар стандардних проблема који су актуелни у овој области. Из овог разлога је развијено укупно пет нумеричких модела. Сви виртуелни модели импланата и блока су направљени у софтверу SolidWorks, а затим увезени у софтвер Ansys APDL 11.0. У првој поставци је извршена верификација нумеричког модела експерименталним резултатима. Анализиране су вредности Мизесових деформација на површини од интереса, на пресеку дуж висине импланта. Испитана је могућности примене дводимензионалних и тродимензионалних модела. У другој поставци је испитан утицај нагиба денталног импланта на пренос оптерећења, као још једног од актуелних проблема у овој области. Углови нагиба су варијани у распону од $+1^\circ$ до -5° (са кораком од 1°), у односу на површину од интереса. Трећа поставка испитује утицај три различита и стандардна пречника денталних импланата на пренос оптерећења. У оквиру четвртог модела је анализиран модел из главне студије, приликом савијања у три тачке. Постављени су пресеци у кресталној, средњој и апикалној регији, које су се простирали од контактне површине импланта до површине од интереса. Вршене су варијације између три стандардна пречника импланта (3,5 mm, 4,1 mm, 4,8 mm), и четири стандардне дужине (8, 10, 12, 14 mm), за дентални имплант Страуман. У оквиру петог модела је направљен виртуелни модел експерименталног модела главне студије, заједно са Нобел и Страуман имплантима. Испитане су вредности померања и Мизесових деформација, на површини од интереса, као и у експерименталној студији.

У поглављу *Експериментални резултати* су приказани резултати који су добијени на експерименталним моделима у прелиминарној и главној студији. Приликом оптерећења силом од 500 N, су измерене деформације од 0,3 % на правом абатменту, док су на узорку који је имао абатмент са нагибом од 35° измерене деформације од 0,5 %, када је дебљина слоја акрилатног модела износила 4 mm. У случају када је дебљина слоја повећана на 6 mm, максималне деформације су на правом абатменту износиле 0,2 %, док су на нагнутом износиле 0,3 %. У оквиру главне студије, највећа померања су добијена за узорак S1 (-0.1862 mm), а најмања померања за узорак N1 (-0.1264 mm). Вредности Мизесових деформација показују сличну расподелу међу узорцима. На узорку S1 су измерене вредности од 0,6 %, а на узорку N1 0,55 %. Спроведена је и анализа анализе варијансе (АНОВА) међу тачкама на сваком узорку. Значајна разлика је откривена између три различита узорка за вредности померања ($p = 0,000$). За резултате Мизесових деформација, такође је нађена значајна разлика ($p = 0,000$). Пост хок тест је указао да постоји сличност у вредностима Мизесових деформација између узорака N1 и S2 ($p = 0,497$), док су вредности за узорак S1 значајно различите од друга два узорка ($p = 0,000$). Статистичка анализа је извршена у програму R, софтверу за статистичко рачунање и графичке приказе.

У поглављу *Нумерички резултати* су приказани резултати добијени помоћу методе коначних елемената за све врсте модела и типова проблема испитиваних у оквиру целог истраживања. У оквиру првог модела је извршена верификација нумеричког модела који је касније примењиван за решавање две различите анализе. Прва анализа представља утицај

нагиба импланта на пренос оптерећења. У другој анализи је разматран утицај величине пречника импланта на расподелу оптерећења. Показано је да постоји мала разлика између дводимензионалних и тродимензионалних модела. Сви резултати су поређени на пресеку дуж осе импланта, а на површини од интереса на којој је било могуће мерити деформације и на експерименталном моделу, помоћу методе корелације дигиталних слика. Резултати су показали да су највеће деформације биле у рангу од око 0,3 %, у апикалној регији денталног импланта, за аксијалну силу од 500 N. У оквиру другог нумеричког модела, резултати су приказивани у облику хоризонталних и вертикалних деформација, односно дилатација, и Мизесових деформација, за максималну силу од 500 N. Највеће деформације су биле у рангу веће од 0,4 %, на контактної површини, испод апекса импланта. На површини од интереса највеће деформације су биле 0,4 %, при чему је највећи регион захваћених ових деформација откривено за модел са највећим нагибом од -5° . Вертикалне деформације су компресивног карактера, при дну блока на површини од интереса, са вредношћу од 0,4 % за модел са нагибом од -5° , а 0,35 % за модел од 0° нагиба. Разлике између модела су постојале на дну блока, и у регији апекса импланта. На 12 mm висине пресека, модел са нагибом од -5° је имао 64 % веће вредности вертикалних деформација у односу на исту тачку висине пресека за модел са нагибом од 0° . На висини од 8 mm, ова разлика је износила 156 %. На истом моделу је приказан утицај три стандардна пречника денталних импланта (3,5, 4,1 и 4,8 mm) модел Страуман, при фиксној дужини од 10 mm. Од три карактеристичне регије, апикална регија се показала као најзанимљивија, са вредностима у распону од око 0,7 % до 0,9 %, у зависности од пречника импланта. Имплант са највећим пречником (4,8 mm) је имао најмање вредности деформација, док је имплант са најмањим пречником (3,5 mm) имао највеће. У оквиру четвртог модела, коришћена је геометрија модела из главне експерименталне анализе, која је оптерећена на савијање у три тачке. Упоређене су промене Мизесових деформација за сваку комбинацију стандардних параметара дужине и пречника, за сваку од три регије (крестална, средња и апикална). Највеће деформације и на овом моделу су уочене у апикалном делу (изнад 0,6 %). У оквиру последњег нумеричког модела, су коришћени модели која одговарају главној експерименталној студији, са истим типовима импланата. Резултати су показани у виду померања и Мизесових деформација, при чему су максималне вредности добијене за узорак S1, а најмање за узорак N1. Слично је измерено и за Мизесове деформације. Резултати између нумеричког и експерименталног узорака су представљени графички. Представљени су и математички модели, односно функционалне зависности вредности деформација од висине пресека за сваки тип импланта.

У поглављу *Дискусија* детаљно су описани и објашњени резултати из претходна два поглавља, као и њихов значај. Указано је на предност примене експерименталне методологије за одређивање утицаја геометријских карактеристика денталних импланата на пренос оптерећења, као и нове могућности које они пружају. На основу резултата, показано је да експериментални модели, могу дати увид у утицај геометрије денталних импланата на пренос оптерећења, као и друге проблеме као што су утицај нагиба абатмента, или угао имплантације импланта. На основу експерименталних резултата главне студије, приказано је да су карактеристике узорака N1 показале оптималније карактеристике преноса оптерећења у односу на узорак S2, који има знатно већи пречник и мању дужину. Треба имати на уму да је ово регистровано при аксијалном оптерећењу, а да су оптерећења у реалној примени комплекснија. Такође, узорак N1 карактерише далеко већа густина навоја, односно корак навоја је мањи. Навој импланта представља параметар који са најмањом променом доводи до највеће промене контактне површине. Такође, поред веома густог главног навоја, имплант N1 једини поседује и микронавој, односно навој у вратном делу са далеко мањим кораком, односно већом контактном површином у односу на остале узорке. Утврђено је да је велики утицај на пренос оптерећења не долази само од величине појединачних параметара као што је пречник профил навоја, већ и њихова међусобна комбинација. У општем смислу, њихов утицај би се могао сумирати преко једне заједничке карактеристике као што је величина

контактне површине. Од величине контактне површине зависи и вредност напона, која у зависности од механичких карактеристика материјала (кости генерално, али акрилата у овом специфичном случају) доводи до повољне или неповољне вредности деформација.

У поглављу *Закључак* дат је приказ главних резултата истраживања добијених у току рада и донет је закључак о нивоу остварених циљева постављених на почетку истраживања као и научном доприносу резултата тих истраживања. Приказано је да на основу експерименталне методологије, односно резултата у виду вертикалних померања и Мизесових деформација, могуће утврдити генералне карактеристике преноса оптерећења одређене врсте параметара. Ове карактеристике су зависне од више геометријских параметара, при чему су на првом месту пречник и дужина импланта, а затим и карактеристике навоја (профил, корак, дубина) и облик тела.

У поглављу Литературе је дат преглед свих наслова који су коришћени у оквиру ове дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Према подацима америчког денталног удружења, у САД се сваке године се угради 5 милиона денталних импланата, док је према проценама овај број још већи у Европи. Око 8 % од укупно уграђених денталних импланата има за исход његово уклањање. Постоји велики број денталних импланата са различитом геометријом. Процењује се да се на тржишту може наћи преко 1300 различитих денталних импланата. За сада нема концензуса који је дентални имплант најбољи, са аспекта преноса оптерећења. У литератури се може наћи велики број нумеричких модела који покушавају да реше овај проблем, при чему се може наћи и незнатан број експерименталних модела које примењују методе мерних трака или фотоеластичне моделе. Проблем са нумеричким методама је што захтевају верификацију експерименталним методом, с обзиром да се заснивају на бројним претпоставкама као што су механичке карактеристике материјала, услови оптерећења, итд. Из овог разлога постоји потреба за развијањем великог броја експерименталних модела који ће бити у могућности да пруже одговор на постављено питање о адекватности одређене геометрије денталног импланта. С друге стране, оваква метода мора бити финансијски исплатива, и релативно лако изводљива, у поређењу са извођењем клиничке студије.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе који је дат у посебном одељку докторске дисертације обухвата радове и књиге из области биомедицинског инжењерства, биомеханике, стоматологије и медицине. Анализом списка литературе која је коришћена током израде докторске дисертације може се закључити да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу. Ова литература је кандидату послужила за формирање прегледа и анализу постојећег стања предмета изучавања, уочавање проблема и постављање циљева истраживања дисертације. У дисертацији је коришћено укупно 236 референци које су највећим делом савремени радови објављени у водећим међународним часописима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Експериментална метода коришћена у оквиру докторске дисертације подразумевала је мерење померања и деформација помоћу методе тродимензионалне корелације дигиталних слика. Ова техника примењује дигиталне слике које се праве у различитим фазама

оптерећења узорка, и на основу вредности нивоа сиве боје, прави корелацију између тачака које се налазе на површини узорка. На овај начин је омогућено безконтактно мерење деформација. Експерименталне методе које се стандардно користе за мерење деформација су фотоеластична метода и метода мерних трака. Фотоеластична метода подразумева израду модела од тзв. бирефрактивних материјала, који имају различит индекс преламања у зависности од правца простирања светлости. На овим моделима се приликом њиховог оптерећења могу видети различити шаблони боја као комбинација интензитета, правца и типа оптерећења и самог облика узорка чији се утицај мери. Мерне траке захтевају веома пажљиво постављање на површину узорка, при чему омогућавају само локализована мерења, и то у само једном правцу уколико се користи само једна мерна трака. Тродимензионална корелација дигиталних слика омогућава мерење померања и деформације без обзира на врсту материјала, и омогућава мерење преко целог поља узорка. Из овог разлога, она представља значајан напредак у односу на поменуте експерименталне методе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Стандардизована метода омогућава поређење карактеристике преноса оптерећења великог броја денталних импланата који су доступни на тржишту. Овај систем омогућава и лако поређење резултата. Сама припрема узорка је релативно једноставна. Потребно је, али не и непходно, поседовати 3Д модел денталног импланта. На овај начин, је могуће израдити калуп са специфичним жљебом са једне стране, који одговара делу денталног импланта који стоји изнад калупа. Улога овог жљеба је да се приликом изливања блока око денталног импланта, дентални имплант фиксира у жељеној позицији без могућности померања. Процес мерења такође може бити стандардизован, с обзиром да су параметри мерења идентични за све узорке. Такође постоји могућност израде персонализованих модела вилице, које се могу тестирати у зависности од анатомије сваког пацијента. Протокол би подразумевао скенирање пацијента помоћу методе рачунарске томографије, затим пренос таквог модела у одређени САД софтвер, где би се лако могао одрадити негатив, у циљу израде калупа. Следећи корак би била израда калупа помоћу тродимензионалне штампе и изливање модела од поли(метил-метакрила).

На основу анализе резултата добијених у докторској дисертацији, установљен је нов приступ испитивању утицаја геометрије денталних импланата, на основу вредности померања и Мизесових деформација које су измерене на површини од интереса помоћу тродимензионалне корелације дигиталних слика. На овај начин је приказан стандардизован приступ изради експерименталних модела, који се лако могу применити на велики број денталних импланата који је доступан на тржишту. Омогућено је добијање увида у карактеристику преноса оптерећења денталних импланата, без клиничких студија или нумеричких анализа које се ослањају на претпоставке о карактеристика материјала, типа оптерећења итд. Додатно, стандардизован приступ испитивању омогућава олакшано поређење резултата. Након испитивања великог броја денталних импланата који је доступан на тржишту, могуће је извршити њихову класификацију, односно рангирање. Овакав начин класификовања денталних импланата би, са становишта биомеханике, олакшао избор оралног хирурга приликом разматрања типа денталног импланта који је повољан за уградњу. Додатно, с обзиром да дебљина акрилатног модела одговара дебљини алвеоларног гребена, ова димензија се може мењати због анатомских разлика између пацијената. Овај приступ би омогућио тестирање које је прилагођено сваком пацијенту.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

За време израде докторске дисертације кандидат је показао смисао и знање неопходно да самостално препозна и решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене истраживачке методе, како експерименталне тако и статистичке, као и да користи расположиву литературу. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на докторској дисертацији потврђена су и проширена постојећа знања из биомеханике и преноса оптерећења денталних импланата. Такође је приказано више приступа, односно различитих модела за испитивање ове карактеристике. Развијено је више нумеричких модела који су поред разматрања утицаја саме геометрије денталних импланата на пренос оптерећења, разматрали проблем нагиба импланата, нагиба абатмената, дебљине слоја акрилата између контактне површине денталног импланта и површине од интереса узорка. Затим, приказане су варијације нумеричких модела, односно утицај различитих комбинација пречника и дужине денталног импланата, које се сврстава међу најважније карактеристике са становишта преноса оптерећења.

Кандидат је истражујући могућност примене акрилатних модела и безконтактне методе за мерење деформација, као и нумеричких модела, приказао нови приступ за дефинисање карактеристике преноса оптерећења денталних импланата. Остварени научни допринос докторске дисертације огледа се у следећем:

- Развијање идеје експерименталног модела и стварање тродимензионалног рачунарског модела
- Развијање калупа за израду експерименталних модела. Помоћу овако решених калупа, уклоњена је потреба за коришћење помоћног прибора за фиксацију денталног импланта приликом изливања акрилатних блокова. Извршена је физичка израда калупа помоћу ФДМ технике тродимензионалне штампе. Представљен је протокол припрема калупа и изливања акрилатних узорака.
- Експериментална анализа утицаја различитих углова нагиба абатмената на вредности Мизесових деформација, на два идентична дентална импланта са различитим абатментима. Додатно, извршена је анализа промене утицаја дебљине слоја акрилата на испољавање вредности Мизесових деформација на површину од интереса.
- Експериментална анализа геометријског утицаја три комерцијална дентална импланта на површини од интереса. Резултати су представљени у виду вертикалних померања и Мизесових деформација. Извршена је статистичка анализа у циљу поређења значајности разлике између узорака.
- Извршена је верификација нумеричког модела експерименталним моделом. Развијање 2Д и 3Д модела коначних елемената са високим поклапањем са експерименталним моделом.

- Примена нумеричког модела за испитивање утицаја нагиба денталног импланта на вредности хоризонталних, вертикалних и Мизесових деформација на контактної површини и површини од интереса. Приказ промене поља деформација на површини од интереса приликом повећања нагиба.
- На верификованом нумеричком моделу је испитан утицај величине пречника денталног импланта на Мизесове деформације, на површини од интереса, у три карактеристичне регије. Подела регија је направљена према висини денталног импланта: крестална, средња и апикална регија на површини од интереса.
- Помоћу нумеричког модела је испитан утицај различитих комбинација величина стандардних пречника и дужина импланата, такође у три карактеристичне регије (крестална, средња, апикална). Графички су приказане вредности Мизесових деформација на контактної површини и на површини од интереса модела. Такође се може видети промена вредности деформација у зависности од промене дебљине слоја акрилата у распона од 0 (контактна површина) до 2,5 mm (површина од интереса).
- Развијен је нумерички модел према експерименталном моделу главне студије. Приказано је поређење вредности померања и Мизесових деформација између нумеричког и експерименталног модела. Дате су математички модели зависности померања, односно Мизесових деформација од врсте оптерећеног импланта и висине пресека блока узорка.

На основу резултата истраживања спроведеног за потребе пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја из којег је произашла ова докторска дисертација, развијена је модерна, ефикасна и лако применљива метода за анализирање различитих биомеханичких проблема из области стоматологије, односно протетике. Примена ове методе би поред стандардизованог тестирања великог броја денталних импланата и надоградњи, омогућила и испитивање утицаја денталног импланта на узорцима који су геометријски веома сличне самом пацијенту, односно персонализована тестирања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси представљају унапређење научних знања у поређењу са постојећим моделима, као и различитих врста модела који су примењени у оквиру овог испитивања. Први пут је приказана методологија припреме узорака који се могу применити на широком спектру облика денталних импланата. Приказана је могућност мерења вредности померања или Мизесових деформација у карактеристичним тачкама пресека висине блока. Пресек на блоку дуж денталног импланта представља низ тачака на површини од интереса које имају најмање растојање до самог тела денталног импланта, односно контактне површине између импланта и блока. Са критичке стране је потребно у будућим разматрањима узети у обзир друге материјале који би боље симулирали пренос оптерећења, односно механичке карактеристике костију. Реална кост се састоји од две компоненте: кортикалне или компактне кости, и сунђерасте или трабекуларне кости. Такође треба имати на уму да кост поседује анизотропне карактеристике. Из овог разлога се сматра да овакви модели не могу прецизно указати на вредности напона, односно деформација који би настали у правој кости. Циљ развоја ове методологије и модела развијених у оквиру овог истраживања је да превасходно да укаже на квантитативну расподелу деформација у околини различитих денталних импланата, позиција или потенцијално различитих надоградњи. У том случају се заиста може направити класификација денталних импланата са становишта биомеханичког утицаја, односно карактеристике преноса оптерећења. Оваква методологија би било готово неизводљива, чак и на мањој скали, уколико би се тежило са применом праве кости. Постоји више разлога за ово. Не би било могуће направити стандардизован узорак од материјала коме

се не могу увек гарантовати идентичне механичке карактеристике. Кост се грубо може класификовати у 4 групе према међусобном односу и квалитету кортикалне и трабекуларне кости. Поред овога, оваква тестирања би увек захтевала дозволу надлежних одбора што би додатно компликовало сам процес тестирања. Из овог разлога, материјали који имају сличне механичке карактеристике као кост, и који су стандардно доступни, могу послужити као основа за упоређивање карактеристике преноса оптерећења великог броја денталних имплантата.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос кандидата Шарац Душана, мастер инжењера машинства верификован је следећим радовима:

Рад у међународном часопису, M23

1. I. Tanasic, **D. Sarac**, N. Mitrovic, Lj. Tihacek-Sojic, Z. Miskovic, A. Milic-Lemic, M. Milosevic, Digital Image Correlation Analysis of Vertically Loaded Cylindrical Ti-Implants With Straight and Angled Abutments. Exp Tech [Internet]. 2016;40(4):1227–33. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/ext.12156>

Монографска студија/поглавље у књизи M12 или рад у тематском зборнику међународног значаја, M14

2. Munćan, J., **Šarac**, D., Mileusnić, I., Đuričić, I., Matija, L., Koruga, Đ., Discrimination of soil samples using FTIR spectroscopy and multivariate analysis, International Scientific conference – Archibald Reiss Days, March 3-4, 2014., Belgrade, 253 -262., Serbia.

Поглавље у књизи, M45

3. **D. Šarac**, Video kolonoskop, str.178-199, u knjizi Rana dijagnostika kancera epitelnog tkiva, Papić – Obradović M. (ured.), Don Vas, Beograd, 2012, (ISBN 978-86-87471-24-5)
4. Đ. Koruga, J. Munćan, I. Hut, **D. Šarac**, Lj. Petrov, Princip rada aparata i uređaja za optomagnetnu spektroskopiju, str.221-233, u knjizi Rana dijagnostika kancera epitelnog tkiva, Papić – Obradović M. (ured.), Don Vas, Beograd, 2012, (ISBN 978-86-87471-24-5)

Рад у националном часопису, M53

5. N. Mitrović, I. Tanasić, **D. Šarac**, M. Milošević, Ž. Mišković, Lj. Tihacek-Šojić, A. Sedmak, Analysis of the effect of implant distance from the surrounding structure, in the PMMA block model. Procedia Struct. Integr. 2016;2(June):1260-1265. doi:10.1016/j.prostr.2016.06.161.
6. **D. Šarac**, I. Atanasovska, S. Vulović, N. Mitrović, I. Tanasić, Numerical study of the effect of dental implant inclination, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, DOI: 10.24874/jsscm.2017.11.02.06, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics / Vol. 11 / No.2, 2017 / pp. 63-79

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком, M24

7. **D. Šarac**, N. Mitrović, I. Tanasić, Lj. Tihaček-Šojić, *Experimental methodology for analysis of influence of dental implant design on load transfer. FME Trans. 2018;46(2):266–71*

Саопштење са међународног скупа штампано у целини, М33

8. I. Hut, Lj. Petrov, **D. Šarac**, Z. Golubović, L. Matija, “ Modeli održavanja medicinske opreme bazirani na metodama procene rizika i prioritizaciji”, XXXVIII naučno stručni skup Održavanje mašina i opreme 2013, Upravljanje održavanjem infrastrukture i imovine preduzeća, Beograd, 21. jun i Budva, 29. jun - 03. jul 2013. godine. Zbornik radova, s. 141 – 156. ISBN 978-86-84231-31-6; COBISS.SR-ID 199205132.
9. **D. Šarac**, I. Tanasić, N. Mitrović, A. Milić Lemić, Lj. Tihaček-Šojić, Measurement of strain and displacement in experimental and numerical models composed of implants with different geometric features, 16. Kongres stomatologa Srbije sa međunarodnim učešćem, Sava Centar, Beograd, 21-23. septembar 2017.

Саопштења на међународним скуповима штампана у изводу, М34

10. M. Tomić, D. Stamenković, N. Jagodić, J. Šakota, **D. Šarac**, Đ. Koruga, Contact lenses material characterization by UV/VIS/IR and Opto-magnetic spectroscopy, International Scientific Conference, Contemporary Materials 2011, Banja Luka, 2011.
11. S. Miljković, **D. Šarac**, Water content regulation in human body, International Scientific Conference, Water and Nanomedicine 2011, Banja Luka, 2011
12. B. Jeftić, I. Hut, D. Mladenović, J. Muncan, Z. Golubović, **D. Sarac**: Characterization of solid, viscoelastic and liquid materials by Opto-magnetic spectroscopy, in Book of Abstracts, Thirteenth annual conference of the Materials Research Society of Serbia - YUCOMAT, 2011, Herceg Novi, Montenegro, pp. 136.
13. J. Šakota, M. Tomić, **D. Šarac**, J. Munćan, Đ. Koruga, Nanophotonic contact lenses for glucose detection, V International Conference Contemporary materials, 5-7 July 2012, Banja Luka, Republic of Srpska, 2012, Book of abstracts, p. 104 Šarac, D., Munćan, J., Matija, L., Tsenkova, R., Koruga, Đ., Energy transfer cause changes in NIR spectra of water, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013.
14. **D. Šarac**, J. Munćan, L. Matija, R. Tsenkova, Đ. Koruga, Energy transfer cause changes in NIR spectra of water, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013
15. J. Munćan, **D. Šarac**, A. Vasić, J. Simić Krstić, Đ. Koruga, Changes of Infrared spectra of liquid water exposed to sun irradiation, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013. .
16. I. Mileusnić, J. Muncan, I. Djurčić, **D. Sarac**, L. Matija, Increased hydrogen bonding in exclusion zone water – evidence provided with near infrared spectroscopy, 10th Annual Conference on the Physics, Chemistry, and Biology of Water 2015, Bulgaria, October 1-4, 2015
17. B. Jeftić, I. Hut, D. Mladenović, J. Muncan, Z. Golubović, **D. Sarac**: Characterization of solid, viscoelastic and liquid materials by Opto-magnetic spectroscopy, in Book of Abstracts, Thirteenth annual conference of the Materials Research Society of Serbia - YUCOMAT, 2011, Herceg Novi, Montenegro, pp. 136
18. J. Šakota, M. Tomić, **D. Šarac**, J. Munćan, Đ. Koruga, Nanophotonic contact lenses for glucose detection, V International Conference Contemporary materials, 5-7 July 2012, Banja Luka, Republic of Srpska, 2012, Book of abstracts, p. 104
19. **D. Šarac**, J. Munćan, L. Matija, R. Tsenkova, Đ. Koruga, Energy transfer cause changes in NIR spectra of water, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013 J. Munćan, D. Šarac, A. Vasić, J. Simić Krstić, Đ. Koruga, Changes of Infrared spectra of liquid water exposed to sun irradiation, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013.
20. J. Munćan, **D. Šarac**, A. Vasić, J. Simić Krstić, Đ. Koruga, Changes of Infrared spectra of liquid water exposed to sun irradiation, Contemporary Materials 2013, Banja Luka, 2013.

21. **D. Šarac**, N. Mitrović, M. Milošević, Lj. Tihacek-Šojić, Ž. Mišković, P. Popović, Experimental analysis of PMMA block surface during axial loading of inserted straight and angled dental implants using digital image correlation method , Sixteen annual conference of the Materials Research Society of Serbia - YUCOMAT, 2014, Herceg Novi, Montenegro
22. I. Mileusnic, J. Muncan, I. Djuricic, **D. Sarac**, L. Matija, Increased hydrogen bonding in exclusion zone water – evidence provided with near infrared spectroscopy, 10th Annual Conference on the Physics, Chemistry, and Biology of Water 2015, Bulgaria, October 1-4, 2015
23. I. Tanasic, **D. Sarac**, I. Atanasovska, N. Mitrovic, Experimental analysis of the implant supported all-ceramics, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN Tech, Zlatibor, Serbia, July 02-05, 2017
24. **D. Sarac**, N. Mitrovic, I. Tanasic, Z. Miskovic, Lj. Tihacek-Sojic, Application of polymethyl-methacrylate blocks in experimental analysis of effect of dental implant geometry on the surrounding structure during axial loading, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN Tech, Zlatibor, Serbia, July 02-05, 2017.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе садржаја и резултата истраживања докторске дисертације под називом „**Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру**“ кандидата Шарац Душана, мастер инжењера машинства, студента докторских студија, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је кандидат успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања и да докторска дисертација под називом „**Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру**“ представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства, ужа научна област Биомедицинско инжењерство. Кандидат је остварио оригиналне резултате у испитивању утицаја геометрије денталних импланата помоћу нове методологије која примењује акрилатне моделе и методу за безконтактно мерење деформација.

Сагласно томе, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упуту га на усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а докторску дисертацију под називом „**Развој методологије за испитивање утицаја денталног импланта на носећу структуру**“ кандидата Шарац Душана, мастер инжењера машинства, изложи на увид јавности.

Београд, 13.06.2018.год.

Комисија за оцену и одбрану дисертације:

.....
др Ненад Митровић, доцент, (ментор),
Универзитет у Београду, Машински
факултет

.....
др Александар Петровић, редовни
професор, Универзитет у Београду,
Машински факултет

.....
др Александар Седмак, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински
факултет

.....
др Љиљана Тихачек-Шојић, редовни
професор, Универзитет у Београду,
Стоматолошки факултет

.....
др Александра Митровић, научни сарадник,
Висока техничка школа струковних
студија у Београду