

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

УНИВЕРЗИТЕТА У НИШУ

Одлуком Наставно научног већа Машинског факултета у Нишу бр. 612-315-7/2012 од 15.05.2012. године изабрани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под називом:

“ПРИМЕНА АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ИЗРАДИ АНАТОМСКИ ПРИЛАГОЂЕНИХ СКАФОЛДА ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈУ КОШТАНОГ ТКИВА”

На основу приложене документације уз пријаву дисертације, образложења теме, научних и стручних радова као и увидом у целокупну делатност кандидата Комисија подноси следећи :

ИЗВЕШТАЈ

1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

1.1. Лични подаци

Јелена Р. Миловановић рођена је 20.04.1974. године у Нишу, Србија, држављанство Републике Србије, са станом у Нишу.

1.2. Подаци о досадашњем образовању

Завршила је основну школу “Ратко Вукићевић” у Нишу и средњу школу – гимназију природно-математичке струке “Бора Станковић” у Нишу, занимање – програмерско-математички сарадник, обе као носилац дипломе “Вук Караџић”.

Машински факултет у Нишу, уписала је 1992. године, смер производног машинства и све испите положила у прописаном року до 1998. године са просечном оценом 9,62. Дипломирала је исте године са оценом 10. Последипломске студије на Катедри за производно машинство, Машинског факултета у Нишу, уписала је 1998. године и положила све испите, прописане статутом факултета, у предвиђеном року са просечном оценом 10.

У току студија била је носилац стипендије Министарства за науку и технологију Републике Србије.

Боравила је на Универзитету у Патри у Грчкој и Немачкој ради усавршавања из области адитивних технологија и израде експерименталног дела магистарског рада .

Одбранила је магистарску тезу под називом: "Могућност коришћења технологија за брзу израду прототипа у производњи алата за вулканизацију пнеуматика", 2006. на Машинском факултету у Нишу и стекла академски назив Магистар машинских наука.

1.3 Професионална каријера

Од новембра 1998. године, као стипендиста Министарства за науку и технологију Републике Србије, ради као истраживач на пројекту који финансира Министарство, а од априла 1999. године као асистент-приправник на Катедри за производно – информационе технологије и менаџмент, Машинског факултета у Нишу.

Од 1999. године, ангажована је у настави на Машинском факултету у Нишу, на више предмета на Катедри за Производно-информационе технологије и менаџмент и то:

1. Машински материјали
2. Неконвенционалне методе
3. Системи за брзи развој производа
4. Технички материјали
5. Основе информационо комуникационих технологија.

Ужа област истраживања су јој: реверзибилни инжењеринг, адитивне (rapid prototyping) технологије и биоинжењеринг - примена адитивних технологија (RP и RT) у изради имплантата, фиксатора и потпорних структура за реконструкцију коштаног ткива.

2. ПРЕГЛЕД И МИШЉЕЊЕ О ДОСАДАШЊЕМ НАУЧНОМ И СТРУЧНОМ РАДУ КАНДИДАТА

Кандидат је аутор 38 научних радова саопштеним на конференцијама међународног и националног значаја, међународним часописима, часописима националног значаја, 3 техничка решења, један је од аутора монографије националног значаја о адитивним технологијама, поглавља у монографији међународног значаја (по позиву) као и учесник националних (2 ТР и 2 ИИИ) и међународних пројеката (4 FP7) .

2.1 Списак објављених и саопштених научних радова

M20 Радови објављени у међународним часописима

1. J. Milovanovic, M. Stojkovic, M. Trajanovic, Rapid Tooling of Tyre Tread Ring Mould Using Direct Metal Laser Sintering, *JSIR-Journal of Scientific Industrial Research*, Vol.68(12),

December 2009, pp 1038-1042, <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/6736>, ISSN: 0975-1084 (Online), ISSN: 0022-4456. **M23=3**

2. M. Stojkovic, J. Milovanovic, N. Vitkovic, M. Trajanovic, N. Grujovic, V. Milivojevic, S. Milisavljevic & S. Mrvic (2010). Reverse modeling and solid free-form fabrication of sternum implant. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 33(3), 243-250. **M23=3**
3. N. Korunović, M. Trajanović, M. Stojković, D. Mišić, J. Milovanović, *Finite Element Analysis of a Tire Steady Rolling on the Drum and Comparison with Experiment*, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 57(2011)12, 888-897. **M23=3**
4. M. Stojkovic, J. Milovanovic, N. Vitkovic, M. Trajanovic, S. Arsic, M. Mitkovic, Analysis of femoral trochanters morphology based on geometrical model, *JSIR-Journal of Scientific Industrial Research*, Vol. 71 (03), March 2012, pp 210-216. **M23=3**

M50 Радови објављени у домаћим часописима

5. Trajanović, M., Korunović, N., Milovanović, J., Vitković, N., & Mitković, M. (2010). Primena računarskih modela samodinamizirajućeg unutrašnjeg fiksatora po Mitkoviću u saniranju trauma femura. *Facta universitatis - series: Mechanical Engineering*, 8(1), 27-38. **M52=1.5**
6. J. Миловановић, М. Трајановић, Н. Витковић, М. Стојковић, Rapid prototyping технологије и материјали за израду имплантата, *ИМК 14 Истраживање и развој*, 2009. **M52=1.5**
7. М. Трајановић, М. Митковић, Н. Витковић, Ј. Миловановић, Дефинисање захтева апликације за планирање операција у хирургији коштано зглобног система, *ИМК 14 Истраживање и развој*, 2009. **M52=1.5**
8. J. Миловановић, М. Трајановић, Medical applications of rapid prototyping, *Facta Universitatis series Mechanical engineering*, Vol. 5, No. 1, 2007, pp. 79-85. **M51=2**
9. J. Миловановић, М. Трајановић, Примена комерцијалних rapid prototyping технологија у индустрији пнеуматика, *Часопис Института ИМК "14.октобар"*, Крушевац, 2003. **M52=1.5**
10. J. Миловановић, П. Јанковић, The boundary values of the punch diameter in the technology of the opening manufacture by punching, *Часопис "Facta Universitatis"*, Ниш, 2000. **M51=2**
11. J. Миловановић, П. Јанковић, Прилог разматрању проблема одређивања века алата за просецање и пробијање, *Часопис Института ИМК "14.октобар"*, Крушевац, 2000. **M52=1.5**

12. J. Milovanović, P. Janковић, Систем аутоматског транспорта материјала и концепт екологазације производних технологија, Часопис "Ecologica", ISSN 0354-3285, Београд, 2000, No. 25, број 2, стр. 104-107. **M52=1.5**

13. J. Вукићевић, П. Јанковић, Contribution to the discussion of the efficiency problem of the declared nominal number of the crank press duty cycles, Journal for TECHNOLOGY OF PLASTICITY, Нови Сад, 1999. **M53=1**

14. J. Вукићевић, П. Јанковић, Прилог морфолошкој класификацији система аутоматског транспорта материјала у технологијама пластичности, Часопис Института ИМК "14.октобар", Крушевац, 1998. **M52=1.5**

M30 Радови саопштени на међународним научним скуповима и штампани у одговарајућим зборницима радова

15. Veselinovic, M., Vitkovic, N., Stevanovic, D., Trajanovic, M., Arsic, S., Milovanovic, J., Stojkovic, M., Study on creating human tibia geometrical models, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH AND BIOENGINEERING, Iasi, Romania, Proceedings, in press, 2011. **M33=1**

16. M. Stojkovic, M. Trajanovic, N. Vitkovic, J. Milovanovic, S. Arsic, M. Mitkovic, Referential geometrical entities for reverse modeling of geometry of femur, in *Proc of VIPIMAGE2009 - Second Thematic Conference on Computational Vision & Medical Image Processing* (Porto) 2009, 189-194. **M33=1**

17. Nikola Vitković, Miroslav Trajanović, Jelena Milovanović, Nikola Korunović, Stojanka Arsić, Dragana Ilić, THE GEOMETRICAL MODELS OF THE HUMAN FEMUR AND ITS USAGE IN APPLICATION FOR PREOPERATIVE PLANNING IN ORTHOPEDICS, ICIST 2011, Proceedings, Kopaonik, Serbia. **M33=1**

18. Trifunović M., Milovanović J., Trajanović M., Korunović N., Stojković M., APPROACHES TO AUTOMATED CREATION OF TISSUE ENGINEERING SCAFFOLDS, ICPE 2011, pp 335-338, September 28th – 30th, Proceedings of 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia **M33=1**

19. Nikola Vitković, Jelena Milovanović, Miroslav Trajanović, Nikola Korunović, Miloš Stojković, Miodrag Manić, METHODS FOR CREATING GEOMETRICAL MODEL OF FEMUR ANATOMICAL AXIS, ICPE 2011, pp 351-354, September 28th – 30th, Proceedings of 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia **M33=1**

20. Korunović N., Trajanović M., Stojković M., Vitković N., Trifunović M., Milovanović J., Tire tread modeling for FEA, Proceedings of 34th International Conference on Production Engineering, ICPE 2011, pp 209-212, September 28th – 30th, 2011, Niš, Serbia **M33=1**

21. Korunović, N., Trajanović, M., Milovanović, J., Stojković, M., & Vitković N. (2010). Bone modelling for structural analysis using FEM. *Proceedings - International conference Mechanical Engineering in XXI Century MASING 2010*, Niš, Serbia, 205- 208. **M33=1**

M60 Радови саопштени на домаћим научним скуповима и штампани у одговарајућим зборницима радова

22. Стојковић, М., Трајановић, М., Коруновић, Н., Миловановић, Ј., (2010). Дискретизација структурних елемената аутомобилског пнеуматика, *PneUMAtici 2010*, ИПР – Институт за истраживања и пројектовања у привреди, Примена метода коначних елемената у анализи стационарног котрљања пнеуматика на добошу, 4-5.11.2010, Златибор, 60-68 **M63=0.5**

23. Н. Коруновић, М. Трајановић, М. Стојковић, Ј.Миловановић, Примена метода коначних елемената у анализи стационарног котрљања пнеуматика на добошу, *PneUMAtici 2010*, ИПР – Институт за истраживања и пројектовања у привреди, 4-5.11.2010, Златибор, 43-59 **M63=0.5**

24. Ј. Миловановић, М. Трајановић, М. Стојковић, Rapid prototyping технологије у изради алата за вулканизацију пнеуматика, *ПнеУМАтици 2008*, Вршац. **M63=0.5**

25. Ј. Миловановић, М. Трајановић, М. Стојковић, Предности и недостаци SLM технологије на примеру израде алата за вулканизацију пнеуматика, 31. Саветовање производног машинства Србије и Црне Горе са међународним учешћем., Крагујевац, 19-21 септембар 2006, зборник радова 461-468. **M63=0.5**

26. П. Јанковић, В. Благојевић, Ј. Миловановић, Могућност снижавања трошкова система ваздуха под притиском, 30. HIPNEF 2006 са међународним учешћем, 24. – 26. Мај 2006, Врњачка Бања, 183-188. **M63=0.5**

27. Ј. Миловановић, М. Трајановић, М. Стојковић, Possibilities of using selective laser melting for tire mold manufacturing, *Proceedings, 2nd International Conference on Manufacturing Engineering Icmen*, 5-7 October 2005, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 187-193. **M33=1**

28. Ј. Миловановић, М. Трајановић, Израда модела алата за вулканизацију пнеуматика ламинацијом, *ПнеУМАтици 2002*, Београд, 6-8 новембар 2002. **M63=0.5**

29. P. A. Drakatos, T. Zakynthinos, K. Karakasis, J. Milovanović, D. Skarlatos, The fuzzy logic in the analysis of noise as criterion of mechanical systems damage“, XVII International Conference on Material flow, machines and devices in industry, University of Belgrade,

Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Constructions and Material flow, Sept. 12.-13. 2002. **M63=0.5**

30. J. Миловановић, П. Јанковић, Прилог вредновању квалитета пресечне површине при просецању и пробијању, Балкански Савез металурга, Симпозијум-деформисањеи структура метала и легура, Београд, јуни 2002. **M63=0.5**

31. П. Јанковић, Ј. Миловановић, С. Младеновић, Possibilities of dimensioning the parametrically-described parts of the punching and piercing tool, 2nd International Conference-Research and development in mechanical industry, RaDMI 2002, 02 – 04. Септембер 2002, Врњачка Бања. **M33=1**

32. П. Јанковић, Ј. Миловановић, Савремени материјали и методе пројектовања као подлога екологазације производних технологија, 25. Међународна конференција “Екологазација економско-технолошког развоја – императив XXI века”, Нишка бања, 2000. **M63=0.5**

33. Ј. Миловановић, Утицај односа дебљине лима и пречника отвора на одвијање процеса пробијања, 28.Саветовање производног машинства Југославије, Краљево – Матарушка бања, 2000. **M63=0.5**

34. П. Јанковић, Ј. Миловановић, Идентификација фактора специфичних за одређивање силе код просецања и пробијања полимерних композитних материјала, 28. Саветовање производног машинства Југославије, Краљево – Матарушка бања, 2000. **M63=0.5**

35. Ј. Миловановић, П. Јанковић, Квалитет површине реза при просецању и пробијању неметалних материјала, Зборник радова са XXVI Јупитер Конференције, 22. Симпозијум НУ-РОБОТИ-ФТС, Београд, 2000. **M63=0.5**

36. Ј. Вукићевић, П. Јанковић, Манипулатори материјалом у технологијама пластичности с аспекта заштите на раду и ризика, XXIV Међународна конференција о заштити радне и животне средине, Ниш, 1999. **M63=0.5**

37. Ј. Вукићевић, П. Јанковић, Процес раздвајања при просецању и пробијању полимерних композитних материјала, Зборник радова са XXV Јупитер Конференције, 27. Симпозијум Управљање производњом у индустрији прераде метала, Београд, 1999. **M63=0.5**

38. Ј. Вукићевић, П. Јанковић, Прилог исказивању неких критеријума оцене флексибилности обрадних система у технологијама пластичности, Зборник радова са XXV Јупитер Конференције, 27. Симпозијум Управљање производњом у индустрији прераде метала, Београд, 1999. **M63=0.5**

Монографије

M14 J. Milovanovic, M Stojkovic, M Trajanovic, **Book: InTech** - Sintering - Methods and Products, ISBN **978-953-51-0371-4**, Edited by Dr. Volodymyr Shatokha, **Chapter 4: METAL LASER SINTERING FOR RAPID TOOLING IN APPLICATION TO TYRE TREAD PATTERN MOULD** , March 2012. **M14=4**

M40 М. Трајановић, Н. Грујовић, Ј. Миловановић, В. Миливојевић, **Рачунарски подржане брзе производне технологије, монографија**, Машински факултет у Крагујевцу, 2008. **M43=3**

M70 Магистарске и докторске тезе

Магистарски рад: "**Могућност коришћења технологија за брзу израду прототипа у производњи алата за вулканизацију пнеуматика**", Машински факултет Универзитета у Нишу, 2006. **M72=3**

M80 Техничка решења

1. Кастомизовани имплантат стернума, Аутори: Ненад Грујовић, Слободан Милисављевић, Мирослав Трајановић, Владимир Миливојевић, Милош Стојковић, Јелена Миловановић, Никола Витковић, Драган Главоњић, развијено у оквиру пројекта TP12012, 2009 (**M81=8**)
2. Метод идентификације референтних геометијских ентитета у поступку реверзног моделирања хумане бутне кости, Мирослав Трајановић, Милош Стојковић, Јелена Миловановић, Никола Витковић, развијено у оквиру пројекта TP12012, 2009. (**M85=2**)
3. Апликација за планирање ортопедских операција, Мирослав Трајановић, Миодраг Манић, Никола Витковић, Јелена Миловановић, Никола Коруновић, развијено у оквиру пројекта TP12012, 2010. (**M85=2**)

Пројекти

1. ИИИ 41017, Виртуелни коштано зглобни систем човека и његова примена у претклиничкој и клиничкој пракси, финансиран од стране Министарства просвете и науке (2011 - 2014).
2. ИИИ 41007, Примена биомедицинског инжењеринга у претклиничкој и клиничкој пракси, финансиран од стране Министарства просвете и науке (2011 - 2014).

3. TP12012, Примена рачунарски подржаних технологија у хирургији коштано зглобног система, финансиран од стране Министарства науке и животне средине (2008 - 2011).
4. Inter-sectoral Mobility of Researchers in South-Eastern Europe (I-SEEMob), програм FP7, уговор бр 234629 (2009 - 2012).
5. Development of Serbian Network of Mobility Centers (SER-MORE) - програм FP7, уговор бр MOB7-GNR-2008-225076 (2008 - 2011).
6. EURAXESS T.O.P., Enhancing The Outreach and Effectiveness of the Partners in the EURAXESS Services Network, FP7, уговор број 249143 (2010 - 2011).
7. JoRIEW, Improving capacity of Jordanian Research in Integrated Renewable Energy and Water supply, EU-FP7, Уговор број 266579 (2010-2013) Европска комисија.
8. Рачунаром подржан развој пнеуматика (ко-финансиран од стране Министарства науке и заштите животне средине и фабрике ТИГАР, бр. пројекта 0231) (2001 - 2004).

3 РАДНИ НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

“Примена адитивних технологија у изради анатомски прилагођених скафолда за реконструкцију коштаног ткива”

4 ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

4.1 Предмет истраживања (увод)

Инжењеринг ткива, као део биоинжењеринга, се развио као мултидисциплинарна област која користи принципе и методе инжењеринга и природних наука ради фундаменталног разумевања и развоја биолошких замена, тј. супституената појединих ткива у циљу обнављања, замене, одржавања и побољшања функција ткива или органа. Посматрајући структуру ткива (која се састоје од екстрацелуларног матрикса - ЕЦМ и једног или чешће више типова ћелија), дошло се на идеју да се покуша са формирањем потпорних структура, тзв. скафолда (tissue scaffolds, просторне потпорне решетке или матрице ткива), које би биле пројектоване тако да имитирају потпорну структуру ткива, тј. ЕЦМ и да служе као подршка/потпора формирању ткива у простору. Проблем израде скафолда који би у потпуности задовољили потребе конкретних пацијената показао се веома комплексним. Веома сложени захтеви које би ове структуре морале да задовоље су били предмет истраживања и анализе, потврде и доказивања током дугог низа година. Проналажење

задовољавајућег дизајна и поступака израде ових структура је један од приоритета актуелног истраживања у области инжењеринга ткива.

Развој CAD (computer aided design), а касније и адитивних производних технологија АТ пружили су могућност израде комплексних 3Д структура код којих је могуће контролисати њихову унутрашњу архитектуру и последично величину и распоред пора, порозност, анизотропију и друге битне особине. Са њима су се појавили и различити приступи пројектовања унутрашње архитектуре ових структура као и могућности њихове израде.

Досадашња истраживања су показала да методе које су се годинама користиле за израду скафолда нису у могућности да обезбеде потребну контролу унутрашње архитектуре скафолда, а самим тим ни да у довољној мери утичу на величину, међуповезаност и просторни распоред пора, што је доводило до формирања структура које су имале незадовољавајућа механичка својства (чврстоћу, жилавост...) и униформност, односно анизотропност трабекуларног ткива (распореда и величине трабекула, односно шупљина између њих).

Са друге стране расположивост одговарајућих биокомпатибилних, као и биоразградивих материјала, које је могуће користити код адитивних технологија је врло ограничен, што додатно отежава избор/развој технолошког поступка израде скафолда уз помоћ адитивних технологија.

До сада пројектоване и израђене структуре тестиране су само једним делом у експериментима *in vitro* или понеки *in vivo* на животињама, али ипак у потпуности не задовољавају све параметре који би омогућили њихову клиничку примену. Из тог разлога сваки напредак у истраживањима везаним за дизајн и начин израде ових структура сматра се веома значајним и корисним за даља истраживања у овој области.

Када се говори о дизајну, оно што је заједничко свим истраживањима у овој области до сада је концепт који се заснива на стратешком опредељењу да скафолди буду пројектовани на тај начин да њихов дизајн имитира унутрашњу и спољашњу архитектуру ткива које би требало да замене. Најчешћи проблем везан за концептуални дизајн уочен у поменутих истраживањима је тај да ткиво "колабира" након првих позитивних резултата. Претпоставка је да овај концепт дизајна утиче на колабирање ткива, јер "затвара" простор који опорављено ткиво треба да заузме у току раста. Поред тога, већина решења скафолда нису анатомски прилагођена кориснику, што додатно отежава реконструкцију.

4.2 Предмет истраживања - израда анатомски прилагођених скафолда

Имајући у виду недостатке постојећих концепата скафолда, код којих се настоји да имитира трабекуларна структура коштаног ткива, ово истраживање је окренуто изради дизајна таквих скафолда који се заснивају на алтернативном приступу у лечењу

трауматизоване кости. Тај приступ се одликује одређењем да не треба имитирати матично коштаног ткиво, већ да треба помоћи матичном ткиву да се самостално опорави. Полазећи од те тезе, коципирана је посебна и оригинална геометрија скафолда налик тзв. потпорној просторној решетки. У циљу поспешивања реконструкције ткива и побољшања живота корисника предлаже се израда анатомски прилагођених скафолда-АПС. АПС за раст и опоравак коштаног ткива представља нову врсту скафолда (потпорне структуре за опоравак, најчешће, коштаног ткива) који је намењен „ношењу“ и имплантацији (коштаног) графта¹, а који је прилагођен анатомији корисника. Предложена геометрија АПС треба да омогући и препусти организму несметано и морфолошки исправно зарастање ткива а истовремено да буде технологична. Такође, овакав концепт АПС ткива се уклапа у савремени тренд примене матичних ћелија и фактора раста у опоравку оштећених и/или недостајућих ткива по коме потпорна мрежица ткива треба да послужи као својеврсна потка за раст ћелија. Са друге стране, у имплантологији је присутан неоспорни тренд израде и уградње имплантата прилагођених пацијенту. С тим у вези треба имати на уму да се *прилагођеност* имплантата сагледава у три нивоа: анатомска, хистолошка и биолошка прилагођеност. Предложени концепт скафолда управо инсистира на испуњењу свих аспеката пролагођености. У погледу анатомске прилагођености, АПС се дизајнира тако да обезбеђује зарастање ткива са минималним одступањима у односу на оригиналну анатомију. У погледу хистолошке прилагођености, дизајн АПС препушта организму да самостално изгради трауматизовани део ткива према инструкцијама сопствене ДНК и другим подстицајима (нпр. оптерећењима). Биолошка прилагођеност (биокомпатибилност и/или инертност) је обавезна одлика материјала свих имплантата, па се тако и за овакаве скафолде планира да буду израђени од био-полимера и од био-инертних металних Ti-легура.

Приликом конципирања геометрије и избора задовољавајућег конструктивног решења међу кандидатима конструкција узети су у обзир и захтеви као што су постојаност графта, пропустљивост решетки, структурална чврстоћа имплантатног склопа, имплантабилност и технологичност конструкције.

Један од највећих изазова истраживања реконструкције кости је дефинисање технологије израде персонализованих скафолда. Управо ће то бити предмет истраживања ове дисертације у ужем смислу. Изузетна геометријска сложеност дизајна АПС као и мале димензије експерименталних узорака (обзиром да се експерименти односе на делове потколеничне кости кунића) захтева примену адитивних производних технологија. С тим у вези, у дисертацији ће посебна пажња бити посвећена спровођењу детаљне анализе (или

¹ Графт је део здравог ткива које се преноси (смешта) на друго место, углавном ради подстицања оздрављења и раста новог ткива и унапређења опоравка оштећеног или недостајућег ткива.

истраживања) могућности примене различитих адитивних технологија у изради АПС. Коначни резултат истраживања треба да буде избор најадекватније АТ за израду задовољавајућег конструктивног решења АПС као и знање о технолошким параметрима израде и технолошком поступку у целини.

Спровођење истраживања ће се одвијати у пет фаза:

1. припрема анализе адитивних технологија - кандидата за израду АПС
2. дефинисање ограничења: технолошких, механичких, медицинских и у погледу материјала
3. анализа и прелиминарни изабор АТ и материјала за решење
4. израда узорка АПС помоћу прелиминарно изабраних АТ
5. тестирање добијених узорака АПС према упутствима/плану анализе
6. анализа резултата тестирања и дефинисање препоруке за примену АТ у изради АПС.

Припрема анализе подразумева дефинисање критеријума за избор одговарајуће адитивне технологије (параметри дизајна, биоматеријали...) као и дефинисање критеријума за избор одговарајућих биоматеријала за израду структура које ове технологије могу подржати.

4.3 Циљеви истраживања

1. Основни циљ докторске дисертације јесте испитивање могућности да се адитивне производне технологије примене за израду скафолда и то :
 - a. Испитивање могућности израде трајних АПС коришћењем Ti-легура и
 - b. Испитивање могућности израде привремених (биоразградивих) АПС од биополимера.
2. Други веома важан циљ, који је непосредно повезан са првим, јесте дефинисање критеријумске матрице за процену употребљивости актуелних АТ, али и дефинисање препорука за нове или побољшане АТ за израду скафолда.
3. Коначно, истраживање у оквиру дисертације, као део ширег истраживања дефинисаног пројектом III41017 VIHOS , треба да омогући израду узорака АПС који ће потом бити даље испитивани у циљу истраживања:
 - a. механичких одлика АПС
 - b. био-медицинских одлика АПС.

4.4 Очекивани резултати и научни допринос

Као што је већ наглашено, резултати који се очекују од планираног истраживања су

- избор најприхватљивије конструкције међу различитим варијантним решења конструкција АПС која задовољава биолошке, ортопедско-хируршке захтеве и са инжењерског аспекта посебно значајне, захтеве за технолошкошћу. Оваква конструкција АПС би требало да обезбеди порознији АПС који ће са једне стране омогућити пролиферацију и друге биолошке захтеве, а са друге потребну носивост конструкције.
- избор АТ
- дефиниција технолошког поступка израде АПС уз помоћ изабране АТ, односно знање о технолошким параметрима и технолошком поступку у целини.
Конкретно, истраживање ће донети одговоре на следећа питања:
 1. Како треба вршити припрему дигиталног CAD модела за израду изабраном АТ (предпроцесирање)?
 2. Какви треба да буду технолошки параметри процеса израде АПС уз помоћ АТ?
 3. Каква је евентуална накнадна обрада АПС потребна (постпроцесирање)?

Као својеврсна практична последица ових резултата добиће се упутство за коришћење АТ за израду овакве класе АПС.

Узорци АПС који ће бити израђени представљаће најконкретнији материјални резултат истраживања. Значај њиховог постојања је од суштинске важности за целокупан резултат истраживачког пројекта, јер ће узорци бити коришћени у тестирањима која треба да истраже одлике јединственог концепта дизајна АПС са аспекта имплантације и инжењерства ткива. На тај начин, отвара се нови простор за даља био-медицинска истраживања од којих се очекује да, у позитивном сценарију, доведу до решења за унапређење опоравка оштећеног или недостајућег коштаног ткива.

Треба истаћи и то да ће дисертација донети и први научно-систематичан, детаљан и свеобухватан преглед актуелних концепата конструкције скафолда и производних процеса за њихову израду који је написан на српском језику.

4.5 Методологија истраживања

С обзиром на циљеве истраживања, предвиђен је следећи скуп активности:

1. Преглед стања истраживања у области инжењеринга коштаног ткива,
2. Преглед стања истраживања у области конструкција скафолда,
3. Разматрање постојећих решења примене АТ у изради скафолда са избором минималног скупа оптималних АТ (кандидата) за израду АПС који ће укључити и образложење,

4. Моделирање варијантних решења геометрије АПС коштаног графта за патолошки измењени део предње стране горњег краја тела потколеничне кости кунџа (експерименталне животиње).

Иако не припада непосредном скупу активности овог истраживања (посвећеној примени АТ у изради АПС), у оквиру ове активности ће бити спроведена и прелиминарна анализа напонско деформационог стања у АПС применом МКЕ. Ово ће бити спроведено у циљу оптимизације конструкције АПС спрам захтева који долазе од инжењеринга ткива (обезбеђивање потребне структурне чврстоће и механичког подстицаја за пиезо-електричне импулсе у биохемијским процесима раста ћелија ткива). За ове активности биће коришћени одговарајући МКЕ пакети.

5. Израда и испитивање варијантних решења конструкције АПС коштаног графта уз помоћ изабраних адитивних технологија.

- a. Са становишта материјала који ће бити употребљен за израду АПС, предвиђено је да се користе две класе материјала: био-разградиви материјали (нпр. *hidroksiapatit* захваљујући сарадњи са Институтом техничких наука *САНУ*) и *Ti*-легури чија је употреба већ проверена и одобрена за хумане имплантате.

Сви детаљи у вези са припремом модела за АТ (предпроцесирањем геометрије модела), као и технолошки параметри система АТ ће бити идентификовани у непосредној комуникацији са стручњацима из лабораторија и погона и заједничком раду са оператерима као и путем непосредног надгледања процеса израде (где год је то могуће/дозвољено). Такође, све ово се односи и на процес накнадне обраде (постпроцесирање) прототипа.

- b. Испитивање варијантних решења АПС као и њихово тестирање ће обухватити неколико аспеката:

- i. структурални аспект - испитивање механичких карактеристика
- ii. производни аспект - анализа технолошкости АПС што ће обухватити сагледавање свих детаља технолошког поступка (поступак припреме модела, технолошки параметри израде АПС применом АТ, поступак накнадне обраде).

6. Сумарна анализа и израда упутства за спровођење технолошког поступка израде АПС применом АТ као и дефинисање критеријумске матрице за процену употребљивости актуелних, али и будућих адитивних производних технологија за израду имплантатних склопова (скафолда пре свега)

4.6 Оквирни садржај рада

1. Увод
2. Опште особине коштаног система
 - a. Коштано ткиво
 - b. Структура кости
 - c. Осификација костију
 - d. Ремоделирање костију
3. Преглед савремених истраживања у области
 - a. Основни принципи инжењеринга ткива и појам скафолда
 - b. Захтеви везани за скафолде
 - c. Дизајн скафолда
 - d. Биоматеријали за израду скафолда
 - e. Технологије за израду скафолда
 - i. Конвенционалне технологије
 - ii. Адитивне технологије
4. Предмет и задатак истраживања
5. Моделирање АПС
 - a. Конструкција/ дизајн метод
 - b. Материјал АПС
6. Избор АТ и експериментала израда узорак
 - a. Избор АТ
 - b. Експериментална израда АПС
 - c. Производна анализа
 - d. Приказ резултата по аспектима
7. Закључна разматрања (Закључак)
 - a. Сумарни преглед остварених истраживања
 - b. Сумарни преглед резултата
 - c. Универзалност и примена
 - d. Недостаци концепта
 - e. Будућа истраживања
8. Литература
9. Прилог

5. Ментор и референце ментора

За ментора је предложен др Мирослав Трајановић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Нишу, ужа научна област производни системи и технологије.

Референце ментора:

1. M. Stojkovic, J. Milovanovic, N. Vitkovic, M. Trajanovic, N. Grujovic, V. Milivojevic, S. Milisavljevic & S. Mrvic (2010). Reverse modeling and solid free-form fabrication of sternum implant. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 33(3), 243-250.
2. M.Stojkovic, J. Milovanovic, N. Vitkovic, M. Trajanovic, S.Arsic, M. Mitkovic, Analysis of femoral trochanters morphology based on geometrical model, *JSIR-Journal of Scientific Industrial Research*, Vol. 71 (03), March 2012, pp 210-216.
3. Trajanovic M., Vitkovic N., Stojkovic M., Manic M., Arsic S., The morphological approach to geometrical modelling of the distal femur, SEECCM 2009, 2nd South-East European Conference on Computational Mechanics, An IACM-ECCOMAS Special Interest Conference, Rhodes, Greece, 22–24 June 2009.
4. M. Stojkovic, M. Trajanovic, N. Vitkovic, J. Milovanovic, S. Arsic, M. Mitkovic, Referential geometrical entities for reverse modeling of geometry of femur, Computational Vision and Medical Image Processing - VipIMAGE 2009, Porto, Portugal, 14.-16. October 2009.
5. J. Milovanovic, M. Stojkovic, M. Trajanovic, Rapid Tooling of Tyre Tread Ring Mould Using Direct Metal Laser Sintering, *JSIR-Journal of Scientific Industrial Research*, Vol.68(12), December 2009, pp 1038-1042, , ISSN: 0975-1084 (Online), ISSN: 0022-4456.
6. Nikola Korunović, Miroslav Trajanović, Jelena Milovanović, Miloš Stojković, Nikola Vitković, Bone modelling for structural analysis using FEM, Proceedings of The International conference Mechanical Engineering in XXI Century, Niš, 2010, pp 205- 208.
7. Milan Trifunović, Jelena Milovanović, Miroslav Trajanović, Nikola Korunović, Miloš Stojković, Approaches to Automated Creation of Tissue Engineering Scaffolds, Proceedings of 34. International Conference on Production Engineering, pp 335-338, Niš, 2011
8. Marko Veselinović, Dalibor Stevanović, Miroslav Trajanović, Miodrag Manić, Stojanka Arsić, Milan Trifunović, Dragan Mišić, Method for Creating 3D Surface Model of the Human Tibia, Proceedings of 34. International Conference on Production Engineering, pp 355-358, Niš, 2011

9. Sasa Randjelovic, Miodrag Manic, Miroslav Trajanovic, Mladomir Milutinovic, Dejan Movrin, The impact of die angle on tool loading in the process of cold extruding steel, Materials and technology, 46 (2012) 2, pp 149–154, ISSN: 1580-2949
10. Milan Zdravković, Hervé Panetto, Miroslav Trajanović, Alexis Aubry, An Approach for Formalizing the Supply Chain Operations, Enterprise Information System, Volume 5, Issue 4, Taylor & Francis Group, 2011, Page 401-421, DOI:10.1080/17517575.2011.593104

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

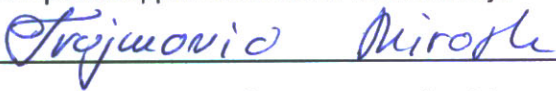
На основу свих чињеница изнетих у овом извештају, чланови комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључују:


- кандидат мр Јелена Миловановић, дипл. инж. маш. формално и суштински испуњава Законом предвиђене услове за стицање права на израду докторске дисертације.
- својим досадашњим стручним и научно- истраживачким радом кандидат испољава способност да се бави научним истраживањем.
- предложена тема докторске дисертације је актуелна, а садржај адекватан и она даје основу за оригинална научна истраживања и пружа могућност да кандидат дође до корисних научних сазнања и закључака.
- предложен наслов докторске дисертације у потпуности одговара дефинисаним циљевима рада, садржају, примењеној методологији и очекиваним резултатима.
- у контексту циља истраживања, предложени садржај рада је у потпуности адекватан.
- научни и стручни радови кандидата из области предложене теме докторске дисертације објављени у часописима и изложени на домаћим и међународним научно-стручним скуповима, указују на актуелност теме и способност кандидата да предложену докторску дисертацију успешно и квалитетно реализује.

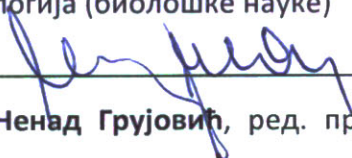
На основу претходно изложеног, чланови Комисије предлажу Наставно – научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу, да мр Јелени Миловановић, асистенту Машинског факултета у Нишу одобри израду докторске дисертације под радним насловом:

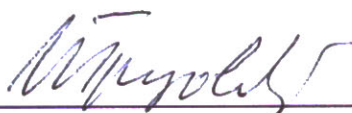
“ПРИМЕНА АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ИЗРАДИ АНАТОМСКИ ПРИЛАГОЂЕНИХ СКАФОЛДА ЗА РЕКОНСТРУКЦИЈУ КОШТАНОГ ТКИВА”

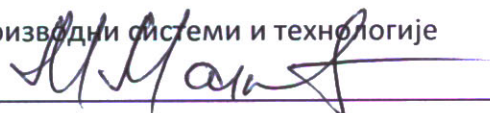
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ :

1. **др Мирослав Трајановић**, ред. проф., Машински факултет у Нишу, ужа научна област: Производни системи и технологије


2. **др Милорад Митковић**, ред. проф., Медицински факултет у Нишу, ужа научна област: Хирургија са ратном хирургијом – Ортопедија и трауматологија


3. **др Стево Најман**, ред. проф., Медицински факултет у Нишу, ужа научна област: Биологија (биолошке науке)


4. **др Ненад Грујовић**, ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, уже научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство


5. **др Миодраг Манић**, ред. проф., Машински факултет у Нишу, ужа научна област: Производни системи и технологије


У Нишу и Крагујевцу,

маја 2012