

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У
КРАГУЈЕВЦУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
Богдана Милићевића, мастер информатичара

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-32/9 од 25.01.2023. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу (број одлуке: 01-1/4581-8 од 22.12.2022. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, у ужој научној области Примењена информатика у инжењерству, кандидата Богдана Милићевића, мастер информатичара, под називом:

**„СУРОГАТ МОДЕЛИ МИШИЋА ЗАСНОВАНИ НА ВЕШТАЧКИМ
НЕУРОНСКИМ МРЕЖАМА СА ПРИМЕНОМ У АНАЛИЗИ МЕТОДОМ
КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА”.**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја комисије за оцену подобности кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01-1/1311-12 од 21.05.2020. године и одлуком Већа за техничко-технолошке науке у Крагујевцу бр. IV-04-317/07 од 10.06.2020. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

У току анализе методом коначних елемената, модел од интереса се моделира мрежом коначних елемената. У свакој интеграционој тачки коначних елемената потребно је

одредити напоне и изводе напона, за шта се користе одговарајући материјални модели. Биофизички материјални модели мишића су погодни за моделирање неуниформних и променљивих контракција, али нису погодни за употребу у пракси, јер су рачунски неефикасни. Креирање сурогат модела, који опонашају биофизичке моделе али су рачунски ефикаснији од њих, омогућава коришћење ових модела у сложеним рачунарским симулацијама које опонашају срчану контракцију. У овој дисертацији су представљене процедуре за креирање сурогат модела биофизичких модела мишића, заједно са процедурама за интеграцију сурогат модела у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената. Ефикасност сурогат модела је демонстрирана у различитим нумеричким експериментима. На крају су дати и примери вишескалних симулација срчаног циклуса леве коморе.

Докторска дисертација је написана у потпуности на српском језику, ћиричним писмом. Дисертација је написана на 118 страна и обухвата следећа поглавља: **Сажетак**, **Увод**, **Феноменолошки и биофизички модели мишића**, **Нумеричке методе за моделирање механичког одзива мишића**, **Сурогат модели**, **Вештачке неуронске мреже**, **Креирање сурогат модела**, **Примена сурогат модела у анализи методом коначних елемената**, **Резултати и дискусија**, **Закључна разматрања**, **Литература** и **Додатак А**. У рукопису докторске дисертације налази се 97 слика и шема, као и 10 табела. Број библиографских података је 71. Саставни део дисертације је и **Биографија** кандидата.

Сажетак, на почетку докторске дисертације, указује на главни циљ истраживања, коришћене методе и најважније доприносе дисертације. Написан је на српском и енглеском језику уз додатак кључних речи које истичу главне појмове.

У поглављу **Увод** је дефинисан предмет и циљ дисертације, дате су полазне хипотезе, као и преглед литературе са досадашњим истраживањима у области моделирања мишића и области креирања сурогат модела.

У поглављу **Феноменолошки и биофизички модели мишића** су описани мишићи најпре са биолошког аспекта, а затим су представљени Хилов и Хакслијев модел мишића.

У поглављу **Нумеричке методе за моделирање механичког одзива мишића** су описане нумеричке методе које се користе приликом анализирања одзива мишића: метод

карактеристика за решавање Хакслијеве једначине за мишићну контракцију и метод коначних елемената за анализирање механичког одзива мишића на макронивоу.

У поглављу **Сурогат моделирање** су објашњени појмови сурогат моделирања, машинског учења и представљене су технике за препроцесирање података.

У поглављу **Неуронске мреже** су описани различити типови вештачких неуронских мрежа и алгоритми који се користе приликом обучавања мрежа.

У поглављу **Креирање сурогат модела** су описани поступци за креирање сурогат модела биофизичких модела мишића заснованих на (1) неуронским мрежама за анализу временских серија и (2) неуронским мрежама подржаним физичким законима.

У поглављу **Примена сурогат модела у анализи методом коначних елемената** је описан процес интеграције сурогат модела у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената.

У поглављу **Резултати и дискусија** су приказани резултати, дата су поређења оригиналних биофизичких модела мишића и сурогат модела, при чему се пореде добијени напони, изводи напона, брзина прорачуна и потрошња меморије.

У поглављу **Закључна разматрања** су дата закључна разматрања ове дисертације као и могући правци будућих истраживања.

Поглавље **Литература** садржи списак библиографских јединица цитираних у тексту дисертације.

Додатак А садржи листинге у којима су приказани делови програмског кода и табеле у којима су дати додатни резултати који се односе на степене корелације између оригиналних и предвиђених напона у нумеричким експериментима.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

У овој дисертацији је приказано креирање сурогат модела заснованих на различитим неуронским мрежама. Један од приступа је заснован на рекурентним и конволуционим неуронским мрежама за анализу временских серија, при чему се за обучавање користе прикупљени подаци. Подаци су, у току израде дисертације, прикупљени из рачунарске симулације под називом *Mexic*, која представља програм за вишескалну анализу методом

коначних елемената са имплементираним Хакслијевим моделом мишића на микронивоу. У току анализе методом коначних елемената, материјални модел добија стреч, и даје напон и тренутну крутост на основу стања и параметара материјала. Да би историја оптерећења била узета у обзир, креирана је временска серија која се састоји од активације у тренутном и претходним корацима, стреча у тренутном и претходним корацима, напона у претходним временским корацима и тренутне крутости у претходним временским корацима. На основу описане временске серије, рекурентне и конволуционе неуронске мреже предвиђају инкремент напона и тренутне крутости за тренутни временски корак.

Други приказан приступ за креирање сурогат модела је заснован на неуронским мрежама подржаним физичким законима, где је вишеслојни перцептрон обучаван тако да апроксимира решење Хакслијеве парцијалне диференцијалне једначине за мишићну контракцију. На основу тренутног и претходног издужења, као и тренутне мишићне активације, неуронска мрежа даје апроксимацију решења Хакслијеве једначине за контракцију. Решавањем Хакслијеве једначине се добијају вероватноће закачињања миозинских глава за актинске сајтове, на основу којих се рачунају напони и изводи напона.

Сурогат модел Хакслијевог модела мишића, такав да он ради у динамичком окружењу какве су вишескалне симулације методом коначних елемената, није направљен пре израде ове дисертације. Допринос ове дисертације је најпре методолошки, јер су уведени поступци за креирање сурогат модела мишића, као и поступци за њихову интеграцију у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената. Постигнути су резултати који показују да сурогат модел даје веома слична решења као оригинални модел, а притом је десетинама пута бржи од њега. На крају су приказане вишескале симулације леве коморе, у којима је сурогат модел коришћен на микронивоу.

На основу свега наведеног, комисија констатује да су у овој дисертацији представљени резултати добијени истраживањем актуелне области у склопу рачунарских наука, вештачке интелигенције и примењене информатике у инжењерству, а који могу бити корисни и другим научним гранама.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада

Извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата **Богдана Милићевића** на основу Правилника о поступку провере на плагијаризам докторских дисертација које се бране на Универзитету у Крагујевцу. Генерисани извештај показује подударања од 4%, од чега су подударања од 2% последица општих појмова који су у широкој употреби за одговарајуће методе истраживања, а преосталих 2% подударања су последица поклапања са научном публикацијом, на којој је кандидат Богдан Милићевић први аутор и која представља основу за израду ове докторске дисертације. Након разматрања горе наведених чињеница, комисија је закључила да је докторска дисертација производ оригиналног научног рада кандидата **Богдана Милићевића**.

4. Преглед остварених резултата научно–истраживачког рада кандидата

Кандидат **Богдан Милићевић** је у досадашњем научно-истраживачком раду постигао значајне резултате из уже научне области Примењена информатика у инжењерству. Наиме, кандидат има више научних радова који су публиковани у часописима међународног и националног значаја као и саопштења публикованих на међународним и домаћим конференцијама. Резултати научно-истраживачког рада публиковани су у виду 3 поглавља у монографијама (**M14** категорија), 13 радова **M20** категорије (1 рад **M21a**, 7 радова **M21**, 1 рад **M22**, 3 рада **M23**, 1 рад **M24** категорије), 2 рада у националним часописима (**M53** категорије), 5 саопштења на међународним конференцијама штампаним у целини (**M33** категорија), 19 саопштења на међународним конференцијама штампаним у изводу (**M34** категорија), 8 саопштења на националним конференцијама штампаним у изводу (**M64** категорија).

4.1. Поглавља у тематском зборнику међународног значаја (**M14**)

1. Milos Kojic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Heart mechanical model based on Holzapfel experiments, *Computational Bioengineering and Bioinformatics*, ICCB

2019, 11, 12-21, Learning and Analytics in Intelligent Systems, Springer Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-43658-2_2, ISBN: 978-3-030-43657-5, 2020.

2. Milos Kojic, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Vladimir Geroski, **Bogdan Milicevic**, Arturas Ziemys, Nenad Filipovic, Finite Element Models with Smearred Fields Within Tissue – A Review of the Current Developments, *Computational Bioengineering and Bioinformatics*, ICCB 2019, 11, 22-34, Learning and Analytics in Intelligent Systems, Springer Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-43658-2_3, ISBN: 978-3-030-43657-5, 2020.
3. Vladimir Geroski, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Composite Smearred Finite Element – Application to Electrical Field, *Computational Bioengineering and Bioinformatics*, ICCB 2019, 11, 35-43, Learning and Analytics in Intelligent Systems, Springer Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-43658-2_4, ISBN: 978-3-030-43657-5, 2020.

4.2. Радови публиковани у врхунским часописима међународног значаја (M21a)

1. Miljan Milosevic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, E.J. Koay, Mauro Ferrari, Arturas Ziemys, Milos Kojic, Correction function for accuracy improvement of the Composite Smearred Finite Element for diffusive transport in biological tissue systems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 338(-), 97-116, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2018.04.012>, ISSN: 0045-7825, 2018.

4.3. Радови у врхунском међународном часопису (M21)

1. Miljan Milosevic, Dusica Stojanovic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Andjela Radisavljevic, Petar Uskokovic, Milos Kojic, A Computational Model for Drug Release from PLGA Implant, *Materials*, 11(12), 1-17, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11122416>, ISSN: 1996-1944, 2018.
2. Milos Kojic, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Sara Nizzero, Arturas Ziemys, Nenad Filipovic, Mauro Ferrari, Smearred Multiscale Finite

Element Models for Mass Transport and Electrophysiology Coupled to Muscle Mechanics, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7(381), 1-16, DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00381>, ISSN: 2296-4185, 2019.

3. Miroslav Stojadinovic, **Bogdan Milicevic**, Jankovic Slobodan, Improved predictive performance of Prostate Biopsy Collaborative Group risk calculator when based on automated machine learning, *Computers in Biology and Medicine*, 138(-), -, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104903>, ISSN: 0010-4825, 2021.
4. Nenad Filipovic, Tijana Sustersic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Momcilo Prodanovic, Srboljub Mijailovich, Milos Kojic, SILICOFCM platform, multiscale modeling of left ventricle from echocardiographic images and drug influence for cardiomyopathy disease, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 227(-), -, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107194>, ISSN: 0169-2607, 2022.
5. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Miljan Milosevic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Huxley muscle model surrogates for high-speed multi-scale simulations of cardiac contraction, *Computers in Biology and Medicine*, 149(-), -, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105963>, ISSN: 0010-4825, 2022.
6. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Goran Stankovic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Cardiac hypertrophy simulations using parametric and echocardiography-based left ventricle model with shell finite elements, *Computers in Biology and Medicine*, 157(-), -, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.106742>, ISSN: 0010-4825, 2023.
7. Smiljana Tomasevic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Momcilo Prodanovic, Srboljub Mijailovich, Nenad Filipovic, Computational Modeling on Drugs Effects for Left Ventricle in Cardiomyopathy Disease, *Pharmaceutics*, 15(3), 793, DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15030793>, ISSN: 1999-4923, 2023.

4.4. Научни радови публиковани у истакнутим међународним часописима (M22)

1. Miljan Milosevic, Milos Anic, Dalibor Nikolic, **Bogdan Milicevic**, Milos Kojic, Nenad Filipovic, InSilc Computational Tool for In Silico Optimization of Drug-Eluting Bioresorbable Vascular Scaffolds, *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022(-), 1-14 , DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/5311208>, ISSN: 1748-6718, 2022.

4.5. Научни радови публиковани у часописима међународног значаја (M23)

1. Raffaella Santagiuliana, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Giuseppe Sciume, Vladimir Simic, Arturas Ziemys, Milos Kojic, Bernhard Schrefler, Coupling tumor growth and bio distribution models, *Biomedical Microdevices*, 21(2), -, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10544-019-0368-y>, ISSN: 1387-2176, 2019.
2. Nenad Filipovic, Igor Saveljic, Tijana Sustersic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Milos Ivanovic, Milos Kojic, In Silico Clinical Trials for Cardiovascular Disease. *Journal of Visualized Experiments*. 183(-), e63573, DOI: <https://doi.org/10.3791/63573>, ISSN: 1940-087X, 2022.
3. Miroslav Stojadinovic, **Bogdan Milicevic**, Slobodan Jankovic, Improved Prediction of Significant Prostate Cancer Following Repeated Prostate Biopsy by the Random Forest Classifier, *Journal of Medical and Biological Engineering*, 43 (1), 83-92, DOI: <https://doi.org/10.1007/s40846-022-00768-7>, ISSN: 2199-4757, 2022.

4.6. Научни радови публиковани у часописима међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. Milos Kojic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Goran Stankovic, Nenad Filipovic, Computational model for heart tissue with direct use of experimental constitutive relationships, *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 15(1), 1-23, DOI: <https://doi.org/10.24874/jsscm.2021.15.01.01>, ISSN: 1820-6530, 2021.

4.7. Научни радови публиковани у часописима националног значаја (M53)

1. Miljan Milosevic, Milos Anic, Dalibor Nikolic, Vladimir Geroski, **Bogdan Milicevic**, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Application of in silico Platform for the Development and Optimization of Fully Bioresorbable Vascular Scaffold Designs, *Frontiers in Medical Technology*, 3(55), -, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmedt.2021.724062>, ISSN: 2673-3129, 2021.
2. Milos Anic, Slobodan Savic, Aleksandar Milovanovic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Nenad Filipovic. Solution of fluid flow through left heart ventricle, *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(4), 120-125, DOI: <https://doi.org/10.18485/aeletters.2020.5.4.2>, ISSN: 2466-4847, 2020.

4.8. Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Universal Service for Solving Systems of Linear Equations, 4th *South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017*, Kragujevac, Serbia, 3-4th July, -, DOI:-, ISBN:-, 2017.
2. Vladimir Simic, Jessica Domitrovic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Ashley Holder, Milos Kojic, Computational model for heat transfer coupled with fluid flow within peritoneal cavity, *1st International Conference on Chemo and Bioinformatics*, Kragujevac, Serbia, 26-27th October, 271-274, DOI: <https://doi.org/10.46793/iccbi21-271s>, ISBN: 978-86-82172-00-0, 2021.
3. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Huxley surrogate model for twitch muscle contraction, *1st International Conference on Chemo and Bioinformatics*, Kragujevac, Serbia, 26-27th October, 239-242, DOI: <https://doi.org/10.46793/iccbi21.239m>, ISBN: 978-86-82172-00-0, 2021.
4. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Image-based numerical simulation of heart with prescribed displacements on the heart surface, *14th World Congress*

in *Computational Mechanics (WCCM)*, Paris, 11-15th January, -, DOI:-, ISBN: 978-84-121101-7-3, 2021.

5. **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Miljan Milosevic, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Integration of Surrogate Huxley Muscle Model into Finite Element Solver for Simulation of the Cardiac Cycle, *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, Glasgow, Scotland, 11-15th July, 3943-3946, DOI: <https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9870995>, ISBN: 2694-0604, 2022.

4.9. Научна саопштења на међународним конференцијама штампана у изводу (M34)

1. Vladimir Simic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Milos Kojic, Application of multi-scale smeared finite element model for modeling of mass transport in capillary systems and biological tissue, *Belgrade BioInformatics Conference*, DOI:-, Belgrade, Serbia, 18-22nd June, 2018.
2. Milos Kojic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Heart mechanical model based on Holzapfel experiments, *8th International Conference on Computational Bioengineering (ICCB2019)*, DOI:-, Belgrade, Serbia, 4-6th September, 2019.
3. Milos Kojic, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Nenad Filipovic, Smeared finite element model of heart wall: electrophysiology coupled with muscle mechanics, *19th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, IEEE Computer Society, DOI:-, Athens, Greece, 28-30th October, 2019.
4. Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Vladimir Geroski, Smiljana Djorovic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Application of electro-mechanical model for investigation of human heart behaviour, *8th European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC 2020)*, DOI:-, Portorož, Slovenia, 29th November – 3rd December, 2020.
5. Vladimir Simic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Application of smeared modeling concept and Holzapfel material model for investigation of human heart properties, *8th European Medical and Biological Engineering*

Conference (EMBECE 2020), DOI:-, Portorož, Slovenia, 29th November – 3rd December, 2020.

6. Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Vladimir Simic, Milos Kojic, Application of the smeared concept in patient-specific heart electrophysiology models, 14th World Congress in Computational Mechanics (WCCM) ECCOMAS Virtual Congress, International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), DOI:-, Paris, France, 11-15th January, 2021.
7. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Huxley Surrogate Model Based on Gated-Recurrent Units and Temporal Convolutional Networks, *The IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, DOI:-, Athens, Greece, 27-30th July, 2021.
8. Tijana Sustersic, Andjela Blagojevic, **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Stefan Simovic, Nenad Filipovic, Ultrasound image processing and 3D reconstruction of heart in patients with cardiomyopathy, *The IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, DOI:-, Athens, Greece, 27-30th July, 2021.
9. Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Vladimir Geroski, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Biomechanical modeling of the heart left ventricle, *The IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, DOI:-, Athens, Greece, 27-30th July, 2021.
10. Vladimir Simic, Miljan Milosevic, Igor Saveljic, **Bogdan Milicevic**, Nenad Filipovic, Milos Kojic, 3D Reconstruction and Computational Modeling of Solid-fluid Interaction in Realistic Heart Model, *IEEE 21st International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, DOI: <https://doi.org/10.1109/BIBE52308.2021.9635284>, Kragujevac, Serbia, 25-27th October, 2021.
11. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Semi-Automatic Left Ventricle Model Generation, *IEEE 21st International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, DOI: <https://doi.org/10.1109/BIBE52308.2021.9635408>, Kragujevac, Serbia, 25-27th October, 2021.

12. Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Vladimir Geroski, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Computational model for simulation of left ventricle behaviour during heart beat, *IEEE 21st International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, DOI: <https://doi.org/10.1109/BIBE52308.2021.9635417>, Kragujevac, Serbia, 25-27th October, 2021.
13. Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Arturas Ziemys, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Parameter optimization of tumor drug delivery model using genetic algorithms, *1st Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAAI)*, DOI:-, Kragujevac, Serbia, 19-20th May, 2022.
14. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Solving the huxley equation for isometric muscle contraction using physics-informed neural network, *1st Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAAI)*, DOI:-, Kragujevac, Serbia, 19-20th May, 2022.
15. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Simulation of the Eccentric Hypertrophy in Realistic Heart Geometry Generated from Echocardiography Modeled by Shell Elements, *13th HSTAM International Congress on Mechanics*, DOI:-, Patras, Greece, 24-27th August, 2022.
16. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Simulation of the Full Cardiac Cycle Using Parametric Left Ventricle Model, *IX International Conference on Computational Bioengineering ICCB2022*, DOI:-, Lisbon, Portugal, 11-13th April, 2022.
17. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Membrane Left Ventricle Model Generated from Echocardiography, *15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV), 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM-VIII)*, DOI:-, Yokohama, Japan, 31st July – 5th August, 2022.
18. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Physics-informed Neural Network for Isotonic Muscle Contraction, *The IEEE-EMBS International Conference*

on *Biomedical and Health Informatics (BHI'22)*, DOI:-, Ioannina, Greece, 27-30th September, 2022.

19. Tijana Sustersic, Andjela Blagojevic, **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Nenad Filipovic, Towards Fully Automated 3d Reconstruction of Heart - Segmentation and Parametric Heart Model for Patients With Cardiomyopathy, *IX International Conference on Computational Bioengineering (ICCB2022)*, DOI:-, Lisbon, Portugal, 11-13th April, 2022.

4.10. Научна саопштења на националним конференцијама штампана у изводу (M64)

1. Vladimir Simic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Milos Kojic, Application of the CSFE finite element in liver model with tumors, *7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Serbia, 24-26th June, 2019.
2. **Bogdan Milicevic**, Raffaella Santagiuliana, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Bernhard Schrefler, Milos Kojic, Computational procedure for coupling of tumor growth and drug distribution model, *7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Serbia, 24-26th June, 2019.
3. Miljan Milosevic, Dusica Stojanovic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Andjela Radisavljevic, Petar Uskokovic, Milos Kojic, Numerical models for drug release from drug-loaded nanofibers, *7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Serbia, 24-26th June, 2019.
4. Vladimir Geroski, Milos Kojic, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, **Bogdan Milicevic**, Nenad Filipovic, Coupled electrophysiological and mechanical finite element model of the heart wall, *7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Serbia, 24-26th June, 2019.
5. Vladimir Simic, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Geroski, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Fluid-electro-mechanical parametric model of the left ventricle, *8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Serbia, 28-30th June, 2021.

6. **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Geroski, Vladimir Simic, Danijela Trifunovic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Left ventricle model generated from echocardiographic data, *8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Serbia, 28-30th June, 2021.
7. Vladimir Geroski, Miljan Milosevic, **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Nenad Filipovic, Milos Kojic, Coupled O'Hara- Rudy numerical model for electro-mechanics, *8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Serbia, 28-30th June, 2021.
8. Nenad Filipovic, **Bogdan Milicevic**, Miljan Milosevic, Vladimir Simic, Vladimir Geroski, Milos Kojic, Biomechanics of the left ventricle and in silico drug testing, *8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Serbia, 28-30th June, 2021.

5. Оцена испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

На основу прегледаног рукописа Комисија је закључила да су сви задаци који су предвиђени приликом пријаве теме за израду докторске дисертације под насловом **”Сурогат модели мишића засновани на вештачким неуронским мрежама са применом у анализи методом коначних елемената”**, по обиму и по квалитету добијених научних резултата у потпуности испуњени, и да приказани резултати представљају оригинални научни допринос у ужој научној области примењена информатика у инжењерству. Наслов докторске дисертације, рађена истраживања, као и циљеви проучавања су у складу са онима који су наведени у пријави теме.

6. Научни резултати из оквира докторске дисертације

Допринос ове дисертације је најпре методолошки, јер су уведени поступци за креирање сурогат модела мишића, као и поступци за њихову интеграцију у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената. Постигнути су резултати који показују да сурогат модел даје веома слична решења као оригинални модел, а притом је десетинама пута бржи од њега. На крају, сурогат модел је примењен за симулирање контракције леве коморе. Резултати научно-истраживачког рада у оквиру докторске дисертације објављени су у више радова, односно, резултати из дисертације објављени су као један рад из категорије М21, два саопштења категорије М33 и три саопштења М34 категорије.

6.1. Научни радови публиковани у међународним часописима у оквиру теме докторске дисертације

Рад у врхунском међународном часопису (М21)

1. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Miljan Milosevic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Huxley muscle model surrogates for high-speed multi-scale simulations of cardiac contraction, *Computers in Biology and Medicine*, 149(-), -, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.105963>, ISSN: 0010-4825, 2022.

Саопштења са међународног скупа штампано у целини (М33)

1. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Huxley surrogate model for twitch muscle contraction, *1st International Conference on Chemo and Bioinformatics*, Kragujevac, Serbia, 26-27th October, 239-242, DOI: <https://doi.org/10.46793/iccbi21.239m>, ISBN: 978-86-82172-00-0, 2021.
2. **Bogdan Milicevic**, Vladimir Simic, Miljan Milosevic, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Milos Kojic, Nenad Filipovic, Integration of Surrogate Huxley Muscle Model into Finite Element Solver for Simulation of the Cardiac Cycle, *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol*

Soc, Glasgow, Scotland, 11-15th July, 3943-3946. DOI:
<https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9870995>, ISBN: 2694-0604, 2022.

Научна саопштења на међународним конференцијама штампана у изводу (M34)

1. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Huxley Surrogate Model Based on Gated-Recurrent Units and Temporal Convolutional Networks, *The IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*, DOI:-, Athens, Greece, 27-30th July, 2021.
2. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Solving the huxley equation for isometric muscle contraction using physics-informed neural network, *1st Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICA AI)*, DOI:-, Kragujevac, Serbia, 19-20th May, 2022.
3. **Bogdan Milicevic**, Milos Ivanovic, Boban Stojanovic, Nenad Filipovic, Physics-informed Neural Network for Isotonic Muscle Contraction, *The IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI'22)*, DOI:-, Ioannina, Greece, 27-30th September, 2022.

7. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати постигнути у оквиру ове докторске дисертације представљају оригинални научни допринос кандидата **Богдана Милићевића**. Сматрамо да ова докторска дисертација, са практичног и теоријског аспекта представља значајан допринос у области сурогат моделирања мишића са применом у вишескалним нумеричким симулацијама. Описана је методологија за креирање сурогат модела мишића. Уведен је поступак за интеграцију сурогат модела мишића у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената. Описана методологија може бити примењивана у различитим типовима симулација методом коначних елемената, у којима се модели мишића користе на микронивоу. Креираним сурогат моделима је значајно смањена потрошња рачунарског времена, као и меморије, при чему је прецизност предвиђених напона веома висока.

Нумеричке симулације могу да помогну при анализирању механичког одзива леве коморе, омогућавајући лекарима и истраживачима да ефикасније испитају биофизичке процесе.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Научни допринос ове дисертације је потврђен публикавањем резултата у облику једног рада из категорије М21, два саопштења категорије М33 и три саопштења М34 категорије (радови су наведени у секцији 6.1. овог извештаја). Дисертација је по целинама подељена на следеће делове: **Сажетак, Увод (1-4), Феноменолошки и биофизички модели мишића (5-11), Нумеричке методе за моделирање механичког одзива мишића (12-20), Сурогат модели (21-23), Вештачке неуронске мреже (24-73), Креирање сурогат модела (74-78), Примена сурогат модела у анализи методом коначних елемената (79-81), Резултати и дискусија (82-104), Закључна разматрања (105-106), Литература (107-113), Додатак А (114-118) и Биографија.** Такође, резултати ће бити презентовани и на јавној одбрани докторске дисертације, након прихватања овог извештаја од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и Већа за техничко–технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

ЗАКЉУЧАК

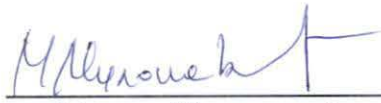

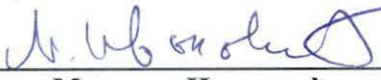
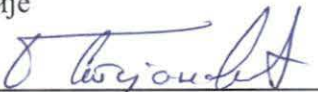

Докторска дисертација **”Сурогат модели мишића засновани на вештачким неуронским мрежама са применом у анализи методом коначних елемената”** кандидата **Богдана Милићевића** представља оригинални научни рад из области примењене информатике у инжењерству. Докторска дисертација урађена је под менторством др Ненада Филиповића, редовног професора Факултета инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу. У докторској дисертацији је приказано креирање сурогат модела мишића заснованих на неуронским мрежама за анализу временских серија и на неуронским мрежама подржаним физичким законима. Такође је представљен процес интеграције сурогат модела у софтверски оквир за анализу методом коначних елемената.

Квалитет добијених резултата потврђен је публикавањем више научних радова, и то: једног рада из категорије **M21**, два саопштења категорије **M33** и три саопштења **M34** категорије.

Имајући у виду све наведене чињенице, сматрамо да су испуњени сви научни, стручни и административни услови за прихватање наведене докторске дисертације као оригиналног научног рада. Предлажемо Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да прихвати и одобри одбрану докторске дисертације под називом **”Сурогат модели мишића засновани на вештачким неуронским мрежама са применом у анализи методом коначних елемената”** кандидата **Богдана Милићевића**.

У Крагујевцу, Новом Саду и Београду,
22. 3. 2023. године.

КОМИСИЈА

1. 
др **Миљан Милошевић**, ванредни професор, Универзитет Метрополитан, Београд.
Ужа научна област: Рачунарске науке – председник комисије
2. 
др **Весна Ранковић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Уже научне области: Машинско инжењерство, Аутоматика и мехатроника, Примењена информатика и рачунарско инжењерство – члан комисије
3. 
др **Милош Ивановић**, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитета у Крагујевцу. Ужа научна област: Методологије рачунарства – члан комисије
4. 
др **Бобан Стојановић**, редовни професор, Природно-математички факултет, Универзитета у Крагујевцу. Уже научне области: Примењено рачунарство и Информационе технологије и системи – члан комисије
5. 
др **Дубравко Ћулибрк**, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитета у Новом Саду. Ужа научна област: Инжењерство информационих система – члан комисије