

КРИМИНАЛИСТИЧКО - ПОЛИЦИЈСКИ УНИВЕРЗИТЕТ
БЕОГРАДУ

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ФОРЕНЗИЧКОГ ИНЖЕЊЕРСТВА

Одлуком Већа научних области природно-математичких и техничко технолошких студија Криминалистичко-полицијског универзитета у Београду 28 број 85/6-2-2021, од 20.12.2021. године, а на основу Предлога одлуке 25 број 82/11-3-2021 од 14.12. 2021. именована је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Александре З. Вуловић**, под називом „Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике“ у саставу:

1. *проф. др Радован Радовановић*, председник, редовни професор Криминалистичко-полицијског универзитета;
2. *проф. др Слободан Миладиновић*, члан, редовни професор Криминалистичко-полицијског универзитета;
3. *проф. др Душан Јоксимовић*, члан, редовни професор Криминалистичко-полицијског универзитета;
4. *проф. др Бранкица Поповић*, члан, редовни професор Криминалистичко-полицијског универзитета;
5. *проф. др Ненад Филиповић*, члан, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Комисија је прегледала и проучила наведену докторску дисертацију, и на основу изнетог мишљења чланова Комисије достављају Већу департмана форензичког инжењерства следећи:

ИЗВЕШТАЈ

О ЗАВРШЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

Александра Вуловић је рођена 15.10.1991. године у Крагујевцу, Република Србија. Основне академске студије на Машинском факултету (сада Факултет инжењерских наука) у Крагујевцу уписала је 2010. године, а завршила 2013. године, на смеру за Примењену механику и аутоматско управљање, са просечном оценом у току студија 10,00 (десет и 00 /100). Након завршетка основних академских студија, 2013. године уписује мастер академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, смер Машинско инжењерство, модул Примењена механика и аутоматско управљање. Мастер академске студије је завршила 2015. године са просечном оценом 10,00 (десет и 00 /100). Мастер академске студије из области Биомедицинског инжењерства уписује 2018. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и завршава их 2020. године са просечном оценом 10,00 (десет и 00 /100).

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

Након завршених мастер академских студија уписује докторске академске студије, школске 2015/2016 године, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Докторске академске студије форензичког инжењерства на Криминалистичко-полицијској академији (сада Криминалистичко-полицијски универзитет) уписује школске 2016/2017 године. Положила је све испите предвиђене студијским програмом докторских академских студија са просечном оценом 10,00 (десет и 00/100).

Запослена је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу од јануара 2017. Тренутно је у звању истраживача сарадника. Учествује у реализацији наставе на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Веза са досадашњим истраживањима

Научно-истраживачка активност кандидата припада научним областима примењене механике, биомедицинског инжењерства и форензичког инжењерства. У докторској дисертацији, кандидат тежи повезивању и надоградњи резултата које су истраживачи остварили код решавања једначина дисперзије аерополутаната ради њиховог прецизнијег

моделовања. Постојећи резултати се користе као основа за анализу транспорта полутаната у респираторном систему човека и заснивају се на анализи креираних реалних модела горњег и доњег респираторног система применом методе коначних запремина и коначних елемената са којима кандидат има искуства што се може видети у објављеним радовима.

Научно-истраживачки рад

Кандидат је објавио преко 30 научних и стручних радова у домаћим и међународним часописима као и на међународним скуповима. Научно-истраживачка активност припада интердисциплинарним областима примењене механике, биомедицинског инжењерства као и форензичког инжењерства.

Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја (категорија M13)

1. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, The biomechanics of lower human extremities, In: Computational Modeling in Bioengineering and Bioinformatics, Academic Press, ISBN: 978-0-128-19583-3, 2020.

Рад у врхунском међународном часопису (категорија M21)

1. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Coupled in silico platform: Computational fluid dynamics (CFD) and physiologically-based pharmacokinetic (PBPK) modelling, European Journal of Pharmaceutical Sciences, Vol. 113, pp. 171-184, ISSN: 0928-0987, DOI: 10.1016/j.ejps.2017.10.022, 2018.
2. Marijana Madzarevic, Djordje Medarevic, **Aleksandra Vulovic**, Tijana Sustersic, Jelena Djuris, Nenad Filipovic, Svetlana Ibric, Optimization and Prediction of Ibuprofen Release from 3D DLP Printlets Using Artificial Neural Networks, Pharmaceutics, Vol.11, No.10, pp. 544, ISSN 1999-4923, 2019.

Радови у међународним часописима (категорија M23)

1. **Aleksandra Vulović**, Jelena Lamovec, Stevo Jaćimovski, Nenad Filipović, Transient numerical simulation of airflow characteristics in the mouth-throat 3D model, Tehnički vjesnik, In print

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (категорија М24)

1. **Vulović Aleksandra**, Filipovic Nenad, Computational analysis of hip implant surfaces, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol.13, No.1, pp. 109-119, ISSN 1820-6530, 2019

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (категорија М33)

1. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Branko Ristić, Effects of ruptured anterior cruciate ligament and medial meniscectomy on stress distribution of human knee joint at full extension, 15th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2015), Belgrade, 2nd-5th November, pp. 132 – 135, ISBN 978-1-4673-7984-7, DOI: 10.1109/BIBE.2015.7367650, 2015.
2. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Femur During Gait, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 3th-5th July, pp. 61 – 66, ISBN 978-86-921243-0-3, 2017.
3. Tijana Šušteršič, **Aleksandra Vulović**, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Simulation of Aerosol Particle Flow Through Dry Powder Inhaler Aerolizer®, 4th South-East European Conference on Computational Mechanics - SEECCM 2017, Kragujevac, 3th-5th July, pp. 52 – 60, ISBN 978-86-921243-0-3, 2017.
4. **Aleksandra Vulović**, Tijana Šušteršič, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Femoral Implant Under Static Load, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2017), Washington DC, 23rd-25th October, ISBN 978-1-5386-1325-2, pp. 559 – 562, DOI: 10.1109/BIBE.2017.00012, 2017.
5. Tijana Šušteršič, **Aleksandra Vulović**, Sandra Cvijić, Svetlana Ibrić, Nenad Filipović, Effect of Circulation Chamber Dimensions on Aerosol Delivery Efficiency of a Commercial Dry Powder Inhaler Aerolizer®, 17th IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2017), Washington DC, 23rd-25th October, pp. 555 - 558, ISBN 978-1-5386-1325-2, DOI: 10.1109/BIBE.2017.00011, 2017.
6. **Vulović Aleksandra**, Ilijazi Venezija, Jaćimovski Stevo, Analysis of turbulent diffusion model with variable coefficients in case of stationary point source, Thematic Conference Proceedings of International Significance Archibald Reiss Days, ISBN 978-86-7020-387-7, vol. 3, pp. 307-320, 2017.
7. **Vulović, A.**, Warchomicka, F., Ramskogler, C., Sommitsch, C., Filipović, N., Simulation of the Interlocking Capacity of the Modified Hip Implant Surface, In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) ICIST 2018 Proceedings Vol.1, pp. 202 - 205, 2018, <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/399>.

8. Šušteršič, T., **Vulović, A.**, Cekerevac, I., Susa, R., Baumann, S., Zisaki, A., Braojos, R., Rincón, F., Murali, S., Filipović, N., Automatic Sleep Apnea/Hypopnea Detection based on Nasal Airflow Signal. In: Konjović, Z., Zdravković, M., Trajanović, M. (Eds.) ICIST 2018 Proceedings Vol. 1, pp. 206 - 211, 2018, <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/400>.
9. **Aleksandra Vulovic**, Venezija Ilijazi, Jelena Lamovec, Stevo Jacimovski, Assessment of air pollution distribution from radioactive sources and its impact on human health, Thematic Conference Proceedings of International Significance Archibald Reiss Days, ISBN 978-86-7020-408-9, vol. 2, pp. 475-483, 2018.
10. Venezija Ilijazi, **Aleksandra Vulović**, Jelena Lamovec, Stevo Jaćimovski, Assessment of risk for transporting hazardous materials, Road Safety in Local Community, ISBN 978-86-7020-419-5, vol. 2, pp. 1-10, 2019.
11. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Effect of Hip Implant Surface Modification on Shear Stress Distribution, Eight International Conference on Computational Bioengineering ICCB, Belgrade, 2020, ISBN 978-3-030-43657-5
12. **Aleksandra Vulović**, Fernando Gustavo Warchomicka, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Surface Modification of Titanium Alloy Used for Hip Implant, THERMEC, Online, 2021, pp. 1544-1548, ISBN 1662-9752
13. **Aleksandra Vulović**, Giuseppe Filardo and Nenad Filipović, Comparison of mechanical response of knee joint with healthy and damaged femoral cartilage, 21st IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering, Kragujevac, 2021
14. Radivoje Radaković, Nikola Janković, Jelena Dimitrijević, Nataša Zdravković Petrović, **Aleksandra Vulović** and Nenad Filipović, Force Analysis in the Knee of Top Football Players and Futsal Players in Different Types of Jumps, 21st IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering, Kragujevac, 2021
15. Radivoje Radaković, Sara Mijailović, Nataša Zdravković Petrović, **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović and Nebojša Zdravković, Force Analysis in the Knee of Top Futsal Players in Different Types of Jumps at the Beginning and the End of the Preparation Period, 21st IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering, Kragujevac, 2021
16. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Numerical analysis of hip implant surfaces, In: Zdravković, M., Trajanović, M., Konjović, Z. (Eds.) ICIST 2021 Proceedings, pp.128-130, 2021.
17. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Finite Element Analysis of Modified Hip Implant Surfaces, International Conference on Medical and Biological Engineering. Springer, Cham, (pp. 582-588), 2021.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (категорија М34)

1. **Vulović Aleksandra**, Warchomicka Fernando, Ramskogler Claudia, Sommitsch Christof, Filipović Nenad, Finite Element Analysis of the Modified Hip Implant Surface, In Biologica Serbica - Belgrade BioInformatics Conference – BelBi 2018, Belgrade, 18th – 22nd June, Vol. 40, No.1 (Special Edition), pp. 7, ISSN 2334-6590, UDK 57 (051), 2018.
2. **Aleksandra Vulović**, Stevo Jaćimovski, Jelena Lamovec, Srećko Ilić, Air pollution Assessment from Kostolac Thermal Plant Based on Gaussian Dispersion Model, Ecologica, 22-24 april 2019, Beograd
3. **Vulović A**, Filipović N, Effect of the femoral bone material properties on the numerical simulation results, The 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia, 2019, ISBN 978-86-909973-7-4
4. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Effect of Patient Specific Young's Modulus on Mechanical Behaviour of Cortical Femoral Bone – A Finite Element Study, YOUng ResearcherS Conference 2020, Belgrade, 2020
5. **Aleksandra Vulović**, Nenad Filipović, Calculation of femoral cortical bone elasticity modulus from computed tomography scans, 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Kragujevac, 2021, pp. 486-487
6. Gordana Jovicic, **Aleksandra Vulovic**, Smiljana Djorovic, Arso Vukicevic, Radun Vulovic, Radivoje Radakovic, Nenad Filipovic, Numerical analysis of knee joint at maximum power tennis serve, 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Kragujevac, 2021, pp. 287-288

Рад у часопису националног значаја (категорија М52)

1. **A. Vulović**, A. Vukićević, G. Jovičić, B. Ristić, N. Filipović, The influence of ruptured anterior cruciate ligament on the biomechanical weakening of knee joint and posterior cruciate ligament, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol. 10, No. 2, pp 1-8, ISBN 1820-6530, DOI:10.5937/jsscm1602001V, 2016.

Рад у научном часопису (категорија М53)

1. **A. Vulovic**, T. Sustersic, V. Rankovic, A. Peulic, N. Filipovic, Comparison of Different Neural Network Training Algorithms with Application to Face Recognition Problem,

EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems 18(12): e3, ISSN 2410-0218, DOI: 10.4108/eai.10-1-2018.153550, 2018.

2. T. Sustersic, **A. Vulovic**, N. Filipovic, A. Peulic, FPGA Implementation of Face Recognition Algorithm, Pervasive Computing Paradigms for Mental Health. Selected Papers from MindCare 2016, Fabulous 2016, and IIoT 2015, pp. 93-99, ISSN 1867-8211, DOI: 10.1007/978-3-319-74935-8_13, 2018.
3. Filipović N., Šušteršič T., **Vulović A.**, Tsuda A., Big Data and machine learning: new frontier in lung cancer care, Shanghai Chest, Vol.3, No.51, pp. 1-11, ISSN 2521-3768, 2019

Учешће на пројектима

Учешће на националним пројектима:

1. Интердисциплинарни пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: Примена биомедицинског инжењеринга у претклиничкој и клиничкој пракси, ИИИ41007, 1.1.2011 - 31.12.2019.
2. Иновирање лабораторијских вежби и експеримената на предметима мастер студијског програма Биоинжењеринг (БИОЛАБ), 2019-2020, руководилац проф. др Ненад Филиповић
3. Унапређење и иновирање практичне наставе на предметима мастер академских студија - Информационе технологије (ИНО-ИТ), 2020-2021, руководилац проф. др Весна Ранковић
4. Пројекат Фонда за науку Републике Србије у оквиру Програма ИДЕЈЕ, под називом „Management of new security risks – reserach and simulation development“, 2022 – 2024, руководилац проф. др Петар Станојевић

Учешће на међународним пројектима:

1. SIFEM, Semantic Infostructure interlinking an open source Finite Element tool and libraries with a model repository for the multi-scale Modelling and 3D visualization of the inner-ear, FP7-ICT-2011-9-600933, Project Coordinator: dr Ratnesh Sahay, National University of Ireland, Galway, 01.02.2013 – 31.01.2016.
2. Билатерални пројекат Србија – Аустрија, Моделирање иновативних слушних имплантата уз помоћ коштане проводљивости звука, руководилац проф. др. Ненад Филиповић, 2016-2017.
3. New Generation Biomimetic and Customized Implants for Bone Engineering, COST Action MP1301, 2013-2017.
4. SimInhale: Simulation and pharmaceutical technologies for advanced patient-tailored inhaled medicines, MPNS COST action Action P1404, 2015-2019.

5. SILICOFCM, In Silico trials for drug tracing the effects of sarcomeric protein mutations leading to familial cardiomyopathy, H2020-SC1-2017-CNECT-2-777204, Project Coordinator: Prof. Nenad Filipović, Bioengineering Research and Development Center BioIRC doo, 01.06.2018 – 20.11.2021
6. Билатерални пројекат Србија – Словенија, Компјутерско моделирање и симулација морфолошко-метаболичких упаривања неуронског пресинаптичког терминала и астроцитног процеса, руководилац проф. др. Ненад Филиповић, 2018-2019.
7. PANBioRA, Personalised And/or Generalised Integrated Biomaterial Risk Assessment, H2020-NMBP-2017-two-stage-760921, Coordinator: Steinbeis 2i GmbH , 01.01.2018-31.12.2021.
8. UNDP - Production of medical ventilators by using 3D printers and lasers, with lower production cost and in shorter production time compared to the standard industry approach, this solution enables the production of affordable medical ventilators in Serbia, for the fight against COVID-19 virus, 2020.
9. Use of regressive artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) methods in modelling of COVID-19 spread – COVIDAI, Central European Initiative 305.6019-20, 2020
10. SGABU, Increasing scientific, technological and innovation capacity of Serbia as a Widening country in the domain of multiscale modelling and medical informatics in biomedical engineering, Grant agreement No. 952603, 01.10.2020 - 30.09.2023

Боравци и усавршавања у иностранству

1. Боравак на Институту за материјале и заваривање, Технички Универзитет у Грацу, Аустрија, у трајању од месец дана, 1-30.09.2016. године, као стипендиста организације European Virtual Institute on Knowledge-Based Multifunctional Materials AISBL (KMM-VIN).
2. Тренинг школа "Non Living Materials Meet Living Biology", у оквиру пројекта NEWGEN COST Action MP1301, 9-12. мај 2017. године, Патрас, Грчка.
3. Тренинг школа "The emerging role of fluid-particle dynamics and reduced methods in the context of in silico population studies for pulmonary drug development", у оквиру пројекта Simlnhale COST Action MP1404, 2-4. октобар 2017. године, Атина, Грчка.
4. Боравак на Институту за мултифазне протоке, Универзитета у Магдебургу, Хале, Немачка, у трајању од месец дана, 1-30.11.2017. године, одобрено од стране пројекта Simlnhale COST Action MP1404.
5. Летња школа у оквиру пројекта Simlnhale COST Action MP1404, 3-6. септембар 2018. године, Даблин, Ирска.
6. Програм Отворени свет - Higher Education System in the U.S., 10-20. октобар, година 2018, Акрон, Охајо, Сједињене Америчке Државе

2. Предмет и циљ дисертације

Тема докторске дисертације припада интердисциплинарним областима форензичког инжењерства и биомедицинског инжењерства, а односи се на примене различитих нумеричких метода и софтверских алата у циљу анализе транспорта загађеног ваздуха као и анализе транспорта честица загађивача у респираторном систему. Захваљујући епидемиолошким студијама, које су спроведене претходних година и деценија, знамо да изложеност загађивачима ваздуха има штетни утицај на наше здравље. Последњих година смо сведоци све већег загађења ваздуха у нашем окружењу, које постаје једно од највећих проблема данашњице. Загађење ваздуха се налази на четвртом месту фактора ризика, у укупном броју смртних случајева у 2019. години. Под загађеним ваздухом подразумевамо присуство материја у ваздуху, које штете човеку и другим живим бићима. Штетне материје се транспортују ваздухом до удаљених локација, при чему често загађују воду и земљиште. Интензитет загађења ваздуха сваким даном постаје све већи, баш као и учесталост болести, које су последица истог. Због тога се јавља потреба за унапређењем процеса контроле и смањења загађења.

Предмет истраживања дисертације била је анализа утицаја загађења ваздуха на здравље људи, применом аналитичких и нумеричких метода. Проблематика која се анализира је веома комплексна, и захтева мултидисциплинарни приступ и примену знања из еколошког инжењеринга, физике, хемије и медицине. Приликом анализе проблема транспорта загађеног ваздуха као и његовог утицаја на здравље људи, нагласак је био на примени нумеричких метода. Последњих деценија нумеричке методе су пронашле велику примену приликом анализа сложених проблема, јер омогућавају уштеду времена, али и пружају истраживачима информације до којих није могуће доћи применом аналитичких метода. Од нумеричких метода, посебно су издвојене две: метод коначних елемената и метод коначних запремина.

Циљ ове дисертације био је да унапреди тренутно знање о утицају загађења ваздуха на здравље људи, применом иновативног приступа анализе коришћењем аналитичких и нумеричких метода. За реализацију циља коришћене су основне методе истраживања: метода анализе, метода дескрипције, компаративна метода и метода синтезе. Поред основних метода, коришћене су и савремене научно-истраживачке методе: метода компјутерског моделирања за креирање реалних тродимензионалних модела горњег и доњег респираторног тракта као и нумеричке методе коначних запремина и коначних елемената. Увидом у дисертацију, може се закључити да је постављени циљ испуњен, као и да су отворени нови правци за будућа истраживања.

3. Хипотезе

У циљу анализе утицаја аерополутаната на здравље људи, са аспекта еколошке форензике, кандидат је дефинисао пет хипотеза.

- Хипотеза 1** **Познавање начина транспорта честичног загађења ваздуха је неопходно за контролу и заштиту животне средине и здравља људи.**
- Верификација* Моделовање загађења ваздуха даје комплетан опис настанка проблема загађења ваздуха, укључујући и анализу узрочно-последичних веза између различитих параметара (броја и распореда извора емисије загађивача, топографије терена у околини извора, метеоролошких услова као што су: правац и брзина ветра, стабилност атмосфере и температурни градијенти, затим физичко-хемијских промена загађивача итд.), као и неке смернице о примени мера за ублажавање последица загађења. Подаци добијени моделовањем дисперзије пружају неопходне информације о утицају загађивача на људско здравље и животну средину.
- Хипотеза 2** **Аналитичке и нумеричке методе могу значајно унапредити знања о транспорту аерополутаната.**
- Верификација* Област еколошке форензике примењује различите научне методе приликом анализе проблема који су везани за загађење ваздуха. Проблеми који се најчешће анализирају у оквиру ове научне области су: идентификација извора загађења и узрочна анализа како би се утврдиле везе између извора загађења и здравствених проблема. Истраживања у области еколошке форензике су првенствено засноване на теренским и лабораторијским истраживањима. Један од начина унапређења истраживања у овој области је применом нумеричких симулација. Кроз дисертацију је описан начин примене аналитичких и нумеричких метода као и значај њихове примене у циљу унапређења знања о транспорту аерополутаната.
- Хипотеза 3** **Аналитичко и нумеричко решавање адвективно дифузне једначине нам пружа информацију о квалитету ваздуха на различитим удаљеностима од извора загађења.**
- Верификација* Аналитичко решење ЈАД пружа комплетну функционалну зависност између тражених величина у моделу и параметара који утичу на дисперзију аерозагађења. Приказано је решење ЈАД применом методе коначних елемената за тачкасти извор загађења. Анализирано је стационарно струјање ваздуха и приказани су резултати нумеричког решавања ЈАД за извор загађења на висини од 50 m, 100 m, 150 m и 200 m. Добијени резултати показују да се са повећањем висине извора загађења смањује дOMET загађења, при чему је посматрано растојање од 1000 m од извора загађења. Такође, применом ове методологије можемо одредити места са повећаном концентрацијом загађења, током различитих временских услова.
- Хипотеза 4** **Добијена решења адвективно дифузне једначине се могу**

користити као улазне величине за нумеричке симулације респираторног тракта човека.

Верификација

Решавање адвективно дифузне једначине је изузетно корисно за анализу транспорта загађења, посебно у ситуацијама када су доступна реална мерења у близини извора загађења. Реална мерења на месту извора загађења могу се користити за симулације кретања ваздуха и транспорт загађивача ваздуха. На основу почетних концентрација загађивача, као што су NO_2 и SO_2 честица, и начина дисања човека можемо одредити места у респираторном систему где ће доћи до највећег таложења честица. Такође, битно је напоменути да постоји могућност и да се резултати нумеричких симулација пореде са општим здравственим стањем неког пацијента. Резултати анализе ваздуха у близини тачкастих извора загађења, могу бити повезани са повећањем респираторних проблема као и смртних случајева који настају као последица загађења ваздуха. Могућност сазнања о количини штетних материја, у зависности од удаљености од извора загађења, могла би знатно утицати на побољшање квалитета живота људи кроз развој бољих смерница како би се унапредио процес контроле и смањења загађења.

Хипотеза 5

Нумеричке симулације омогућавају бржу процену здравственог ризика, због могућности коришћења једног модела за велики број симулација, што указује на значај примене у истраживањима у области еколошке форензике.

Верификација

Предност примене нумеричких симулација огледа се у могућности симулације већег броја извора загађења и различитих параметара, који утичу на кретање штетних материја. Могућност предвиђања таложења удахнутих честица омогућава боље разумевање транспорта РМ честица и пружа могућност за дефинисање бољих стратегија за контролу извора загађења ваздуха. Овај приступ омогућава одређивање укупне количине честица које се таложе у респираторном тракту, као и њихову расподелу у одређеним сегментима респираторног тракта. Сазнања, добијена на овај начин, могу наћи велику примену приликом изградње нових постројења, како би се што више умањило њихов штетни ефекат на животну средину.

4. Кратак опис садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидата **Александре З. Вуловић**, написана је на 128 страна, садржи 42 слике и 14 табела, а цитирано је 145 библиографских података. Структура

дисертације је конципирана у складу са хипотетичким оквиром истраживања. Она садржи увод, два дела, закључак, литературу и два додатка. Комисија сматра да је кандидат промишљено структурисао дисертацију и да је она у сагласности са предметом, циљевима и хипотезама истраживања. Дисертација је изложена у 10 поглавља, којима претходи резиме рада на српском и енглеском језику, списак слика и табела, преглед скраћеница, преглед ознака и садржај.

Поглавља дисертације су:

1. **Увод** – Кандидат је описао проблем који се анализира у оквиру дисертације. Дат је кратак историјски преглед проблема загађења ваздуха и веза између загађења ваздуха и здравља људи, као што је повећање морталитета услед загађења ваздуха. Поред описа проблема, указано је и на могућности нових истраживања у области еколошке форензике применом нумеричких симулација (метод коначних елемената и метод коначних запремина). На крају поглавља, кандидат је дефинисао предмет и циљ дисертације, као и хипотезе истраживања.
2. **Атмосфера и загађивачи ваздуха** – У оквиру овог поглавља, кандидат је анализирао састав, структуру и особине атмосфере. Описани су и метеоролошки параметри за мониторинг ваздуха у које спадају смер ветра, брзина ветра и атмосферска стабилност. Посебна пажња је посвећена загађивачима ваздуха и њиховим различитим класификацијама. Дат је приказ основних карактеристика честичних загађивача као и својства честица која имају велики утицај на њихово таложење.
3. **Моделовање загађивача** – Кандидат је објаснио основне појмове који су везани за моделовања аерозагађења. Поменути су различити модели који се користе за моделовање аерозагађења, при чему је фокус био на Ојлеровом и Гаусовом моделу. Информације о дистрибуцији концентрације аерозагађивача добијају се решавањем једначине адвективне дифузије (ЈАД), применом аналитичких или нумеричких метода. У склопу овог поглавља дат је и преглед литературе који се односи на аналитичко решавање ЈАД.
4. **Нумеричко решење ЈАД** – У овом поглављу приказан је начин нумеричког решавања адвективно дифузне једначине, коришћењем Адомиан декомпозиционе

методе која се користи за нумеричко решавање диференцијалних једначина. Приказана је расподела концентрација према Адомиан нумеричком решењу ЈАД, добијена коришћењем софтверског пакета Mathematica 11.2. Добијени резултати су упоређени са измереним вредностима у циљу валидације модела. Осим решавања ЈАД применом Адомиан декомпозиционе методе, кандидат је приказао и други начин нумеричког решавања, применом методе коначних елемената у софтверском пакету РАК-*F* који је развијен на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Овај приступ може бити изузетно користан за анализу транспорта загађења, на основу реалних мерења у околини различитих извора загађења.

5. **Респираторни систем** – Кандидат је описао улогу и грађу респираторног система. Описани су горњи и доњи респираторни системи који су анализирани у оквиру ове дисертације. Такође, описан је начин транспорта ваздуха као и честица које се у њему налазе. Посебна пажња је посвећена механизмима таложења честица као и различитим факторима који утичу на депозицију честица у респираторном систему.
6. **Генерисање 3D модела респираторног система** – У оквиру овог поглавља кандидат је детаљно приказао поступак аквизиције и сегментације СТ снимака пацијената у циљу генерисања површинске и запреминске мреже реалних 3D модела горњег и доњег респираторног система. Такође, кандидат је одвојио део овог поглавља да представи постојеће моделе респираторног система, при чему је нагласак био на моделима који су развијени последњих 20 година.
7. **Нумеричка анализа респираторног система** – У склопу овог поглавља, кандидат је направио преглед литературе за коришћене граничне услове за нумеричке симулације горњег и доњег респираторног система. На основу тога су дефинисани гранични услови коришћени у дисертацији. Горњи респираторни систем је анализиран методом коначних запремина и приказани су резултати који се односе на расподеле брзина, расподеле притисака, расподеле турбулентне кинетичке енергије, расподеле напона смицања и депозицију NO_2 и SO_2 честица. Доњи респираторни систем анализиран је методом коначних елемената у софтверу који је

развијан на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и приказани резултати обухватају расподелу брзина и напона смицања.

8. **Закључак** – Кандидат је приказао своје закључке на основу спроведеног истраживања, а које је приказано у претходним поглављима дисертације. Закључено је да примена нумеричких симулација пружа значајан допринос у области еколошке форензике, јер омогућава симулацију већег броја извора загађења и различитих параметара, као и предвиђања таложења удахнутих честица у циљу бољег разумевања транспорта честичних загађивача. Такође, кандидат је приказао и будуће правце истраживања у овој области.
9. **Прилози** – У оквиру овог поглавља, дата су два прилога - Аналитичко решење једначине молекуларне дифузије операторским методом (Прилог 1) и аналитичко решење ЈАД за различите граничне услове, профиле ветра и класе стабилности атмосфере (Прилог 2). У овом делу дисертације, кандидат је приказао израчунавање партикуларног интеграла једначине за нестационарну расподелу концентрације полутаната применом операторске методе као и решавање ЈАД за различите граничне услове (Дирихлеов и Нојманов гранични услов, Мешовити гранични услови типа I и Мешовити гранични услови типа II).
10. **Референце** – У овом поглављу је приказана литература коришћена за израду дисертације. Увидом у коришћене референце, може се констатовати да је кандидат извршио добар преглед литературе која је омогућила решавање проблема истраживања као и остварење постављених циљева дисертације.

5. Остварени резултати и научни допринос дисертације

Докторска дисертација кандидата **Александра З. Вуловић**, под називом „Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике“, представља значајно истраживање у области еколошке форензике. Са аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова дисертација представља оригиналан научни рад. Кандидат је извршио критичку анализу постојећих знања како из домена примене аналитичких тако и из домена примене нумеричких метода за анализу загађења ваздуха.

Део научних резултата који су проистекли при изради ове докторске дисертације презентован је објављивањем научног рада у међународном научном часопису, као и на међународним научним скуповима. Кандидат је као непосредни резултат рада на дисертацији публиковао један рад на којем је први аутор, а који је у целости везан за тему докторске дисертације. То је рад „*Transient numerical simulation of airflow characteristics in the mouth-throat 3D model*“ објављен у међународном часопису (категиорија M23).

Комисија сматра да истраживања и резултати ове докторске дисертације представљају обиман и користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и националним часописима и скуповима.

Моделовање загађења ваздуха даје комплетан опис настанка проблема загађења ваздуха, укључујући и анализу узрочно-последичних веза између различитих параметара (броја и распореда извора емисије загађивача, топографије терена у околини извора, метеоролошких услова као што су: правац и брзина ветра, стабилност атмосфере и температурни градијенти, затим физичко-хемијских промена загађивача итд.), као и неке смернице о примени мера за ублажавање последица загађења. Подаци добијени моделовањем дисперзије пружају неопходне информације о утицају загађивача на људско здравље и животну средину. Резултати добијени на овај начин се могу користити као улазне информације за нумеричке анализе, у циљу бољег разумевања кретања честица загађења у респираторном систему. Могућност сазнања о количини штетних материја у плућима, у зависности од удаљености од извора загађења, могла би знатно утицати на побољшање квалитета живота људи.

Нумеричке методе су се користиле за анализу два проблема. Први проблем је обухватао решавање адвективно – дифузне једначине, у циљу бољег разумевања проблема транспорта штетних материја, од извора загађења до неке удаљење локације. Други проблем је обухватио анализу карактеристика струјања ваздуха и транспорт честица у људском респираторном тракту. Анализирана су два типа честица - NO_2 и SO_2 . За потребе анализе другог проблема, кандидат је развио тродимензионалне моделе горњег и доњег респираторног тракта на основу снимака пацијената, што представља значајан допринос ове дисертације. Предност примене нумеричких симулација огледа се у могућности симулације већег броја извора загађења и различитих параметара, који утичу на кретање штетних материја. Могућност предвиђања таложења удахнутих честица омогућава боље

разумевање транспорта РМ честица и пружа могућност за дефинисање бољих стратегија за контролу извора загађења ваздуха. Сазнања, добијена на овај начин, могу наћи велику примену приликом изградње нових постројења, како би се што више умањило њихов штетни ефекат на животну средину.

Област еколошке форензике примењује различите научне методе приликом анализе проблема који су везани за загађење ваздуха. Проблеми који се најчешће анализирају у оквиру ове научне области су: идентификација извора загађења и узрочна анализа како би се утврдиле везе између извора загађења и здравствених проблема. С обзиром да је познато да изложеност загађеном ваздуху утиче на повећање морталитета, очекивано је да представљен приступ пронађе велику примену у блиској будућности. Такође, претпоставка је да резултати анализе ваздуха, у близини тачкастих извора загађења, могу бити повезани са повећањем респираторних проблема као и смртних случајева који настају као последица загађења ваздуха.

Све веће загађење ваздуха и учесталост болести, које су последица истог, доводе до потребе за унапређењем процеса контроле и смањења загађења. Имајући у виду да готово не постоје студије које се баве овом проблематиком на представљен начин, предложена докторска дисертација је дала значајан допринос анализи овог проблема.

Резултати докторске дисертације кандидата Александре Вуловић, под називом „Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике“, применљиви су и корисни како у теоријском, тако и у практичном смислу. Коришћена методологија омогућава добијање значајних резултата који унапређују постојећа знања из области еколошке форензике.

ЗАКЉУЧАК КОМИСИЈЕ

На основу увида у завршену докторску дисертацију кандидата **Александре З. Вуловић**, под називом „**Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике**“, Комисија констатује да је кандидат успешно обрадио постављену тему. Предмет и циљеви дисертације су адекватно постављени, а рад је утемељен на релевантним научним достигнућима и савременој публицистици. Кандидат је у потпуности следио одобрену структуру дисертације.

Докторска дисертација „**Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике**“ представља актуелан, релевантан и оригиналан допринос интердисциплинарним областима форензичког инжењерства и биомедицинског инжењерства. Кандидат је показао да влада методологијом научноистраживачког рада и да поседује способност систематског приступа и коришћења литературе. При томе је, показао способност да приступи свеобухватно сложеној проблематици, у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и применљивих резултата.

На основу свега изложеног, имајући у виду научне резултате истраживања, практичну примену истраживања, методолошки оквир, научни и друштвени допринос, Комисија даје позитивну оцену докторске дисертације и Већу департмана форензичког инжењерства, Криминалистичко-полицијског универзитета у Београду

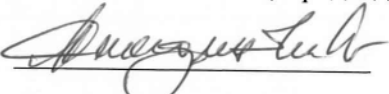
ПРЕДЛАЖЕ

да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата **Александре З. Вуловић**, под називом „Анализа утицаја аерополутаната на здравље људи са аспекта еколошке форензике“ и предложи Већу научних области природно-математичких и техничко-технолошких студија Криминалистичко-полицијског универзитета у Београду да одобри јавну одбрану

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. 

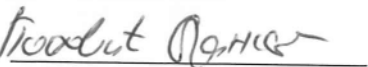
др Радован Радовановић, председник комисије

2. 

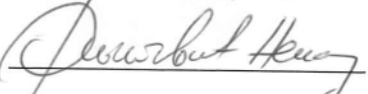
др Слободан Миладиновић, члан

3. 

др Душан Јоксимовић, члан

4. 

др Бранкица Поповић, члан

5. 

др Ненад Филиповић, члан

У Београду 07.02.2022. године.