

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ
и
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 19.11.2025. године (број одлуке: IV-04-685/12) одређени смо за чланове Комисије за писање Извештаја о оцени научне заснованости теме докторске дисертације под насловом: „**Мапирање загађења и идентификације извора суспендованих честица мањих од 2,5 µm**”, и испуњености услова кандидата **Филипа Нastiћа, истраживача-приправника** и предложеног ментора **Давора Кончаловића, редовног професора** за израду докторске дисертације.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ
О ОЦЕНИ НАУЧНЕ ЗАСНОВАНОСТИ ТЕМЕ И ИСПУЊЕНОСТИ УСЛОВА
КАНДИДАТА И ПРЕДЛОЖЕНОГ МЕНТОРА
ЗА ИЗРАДУ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о теми докторске дисертације
1.1.Наслов докторске дисертације:
Мапирање загађења и идентификација извора суспендованих честица мањих од 2,5 µm
1.2.Научна област докторске дисертације:
Машинско инжењерство
1.3.Образложење теме докторске дисертације (до 15000 карактера):
1.3.1. Дефинисање и опис предмета истраживања Загађење ваздуха представља један од највећих еколошких проблема који је захватио целокупну планету Земљу. Према смерницама Светске здравствене организације (СЗО) дозвољена изложеност PM _{2.5} ¹ честицама износи 5 µg/m ³ (годишњи просек). У 2021. години загађење ваздуха је изазвало 8,1 милиона превремених смрти сврставајући га на друго место највећих глобалних фактора ризика у тој години ² . Исти извор наводи да и поред тога што се на глобалном нивоу смањује изложеност људи PM _{2.5} честицама, популације у регионима ниских и средњих прихода су изложене 1,3

¹ Честице суспендоване у ваздуху које су мање од 2.5 µm.
² State of Global Air. State of Global Air report 2024. Доступно на: <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024> [Приступљено 5.5.2025.]

до 4 пута већим концентрацијама $PM_{2.5}$ од светског просека који износи $31,3 \mu g/m^3$ (просечан грађанин планете је изложен 6 пута већој концентрацији од дозвољених према СЗО).

Друштва развијених земаља су у својој борби са проблемом загађења ваздуха дошле до првих резултата. На жалост, земље у развоју скоро увек бирају економски развој уместо квалитета животне средине, па се сходно томе у таквим срединама квалитет ваздуха може временом и погоршавати. Додатан проблем у земљама у развоју је недостатак система за праћење концентрација $PM_{2.5}$ који може бити изазван недостатком економских средстава или мањком транспарентности, тј. жељом да се пред грађанима прикрије или маскира реално стање животне средине. Са друге стране, са жељом да се информишу о реалном стању квалитета ваздуха, грађани постављају нискобуџетне $PM_{2.5}$ сензоре у близини својих домова, чија су мерења доступна на *sensor.community* и сличним порталима (*opensensemap.org*, *waqi.info* и други). Прегледом мапе сензора са поменутих портала, видљиво је да Република Србија поседује значајан број грађанских сензора што указује на њихов потенцијал са аспекта стварања густе мреже за мониторинг загађења ваздуха. Истовремено, значајан број радова је користио поменуте нискобуџетне сензоре различитих произвођача у сврхе својих истраживања са следећим закључцима: 1) због своје ниске цене и једноставности примене они могу бити инсталирани од стране истраживача, локалних организација и грађана³, 2) иако су мање тачни од референтних сензора, нискобуџетни сензори се могу користити као извор релевантних података о концентрацији $PM_{2.5}$ и 3) резултати мерења се могу, применом метода кориговања, значајно побољшати.

Постоји више стратегија помоћу којих је могуће умањити загађење ваздуха, а свака од њих захтева одређена економска улагања. Као предкорак генералном смањењу емисија $PM_{2.5}$ честица могу бити стратегије које теже смањењу изложености грађана високим концентрацијама. Те стратегије обухватају: 1) предвиђање будућих концентрација, 2) мапирање загађења и 3) идентификацију извора. Предвиђањем концентрација $PM_{2.5}$ се пружа могућност грађанима да организују своје активности и да на тај начин смање изложеност високим загађењима. Мапирање $PM_{2.5}$ загађења може пружити корисне информације заједници о временској и просторној варијацији концентрација унутар неке територије. Тиме се дефинишу области вишег и нижег загађења, локације са највећом концентрацијом $PM_{2.5}$ (енг. *hotspots*), карактер $PM_{2.5}$ са променом времена и сезона (грејна/негрејна сезона), потенцијални извори $PM_{2.5}$, итд. Идентификацијом извора је могуће закључити колико процентуално одређени извор утиче на коначно загађење ваздуха и тиме организовати даље кораке у редукцији загађења ваздуха.

У овој дисертацији предмет истраживања је град Крагујевац, Република Србија. Крагујевац је град који има око 150,000 становника и простире се на површини од око $82 km^2$. Један је од највећих административних, едукативних и индустријских центара у Републици Србији. Једним делом због свега набројаног, Крагујевац представља један од најзагађенијих градова у Републици Србији. Прегледом доступних истраживања, могућност предвиђања концентрација $PM_{2.5}$ је већ испитана и показана као могућа⁴. Са друге стране, Крагујевац још увек није „подвргнут“

³ E. Snyder, T. Watkins, P. Solomon, E. Thoma, R. Williams, G. Hagler, D. Shelow, D. Hindin, V. Kilaru, P. Preuss, „The changing paradigm of air pollution monitoring”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 47, No. 20, pp. 11369-11377, Doi <https://www.doi.org/10.1021/es4022602>, 2013

⁴ Filip Nastić, Nebojša Jurišević, Davor Končalović, „Using a Citizen-installed Network of $PM_{2.5}$ Sensors to Predict Hourly $PM_{2.5}$ Airborne Concentration”, *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 236, No. 102, ISSN 1567-7230, Doi <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x>, 2025

мапирању и идентификацији извора, пре свега због мањка иницијативе надлежних институција, недостатка опреме, недовољног броја сензора, али и сложености самог поступка.

Предмет рада ове докторске дисертације је методологија за мапирање и идентификацију извора $PM_{2.5}$ загађења у урбаним срединама. Методологија подразумева примену нискобуџетних сензора за праћење концентрација $PM_{2.5}$ и статистичке методе за обраду прикупљених података. Тиме ће се омогућити просторни и временски мониторинг и карактеризација загађења на одређеној локацији, са разумно ниским улагањима.

1.3.2. Полазне хипотезе

На основу дефинисаног циља истраживања и истраживачког рада кандидата, као и других аутора у дефинисаној области, формиране су основне хипотезе:

X1: Могуће је развити методологију за мапирање $PM_{2.5}$ концентрација која ће постићи задовољавајућу тачност користећи нискобуџетне (грађанске) сензоре.

X2: Могуће је развити методологију која ће идентификацију извора $PM_{2.5}$ извршити унутар неколико основних категорија (индивидуална ложишта, саобраћај, индустрија, котларнице/топлане, и остало), а која не захтева неки вид референтних анализа.

X3: Укључивањем параметара употребе земљишта (присуство и прометност саобраћајница, присуство индустријских зона, итд.) могуће је побољшати прецизност мапирања $PM_{2.5}$ концентрација.

1.3.3. План рада

Кандидат је план рада предметне докторске дисертације дефинисао на следећи начин:

1. Постављање $PM_{2.5}$ сензора: Сходно скромном броју постављених грађанских сензора у Крагујевцу, као предкорак целокупном истраживању јесте инсталација нискобуџетних сензора како би се формирала адекватна мониторинг мрежа, довољна за обезбеђење равномерне просторне дисперзије прикупљених часовних концентрација $PM_{2.5}$.
2. Преглед литературе: Детаљно проучавање литературе и истраживања која су у вези са мапирањем загађења $PM_{2.5}$ и идентификацијом извора загађења применом метода машинског учења.
3. Припрема теоријских основа: Проучавање теоријских основа утицаја $PM_{2.5}$ на здравље људи и квалитет животне средине и примене машинског учења у области квалитета ваздуха са фокусом на мапирање загађења и идентификацију извора.
4. Развој и тестирање модела за мапирање загађења: Развој модела за мапирање загађења $PM_{2.5}$ применом машинског учења на мерењима нискобуџетних сензора и његова валидација применом приступа унакрсне провере (енг. *cross-validation*) или њему сличних приступа.
5. Развој и тестирање модела за идентификацију извора: Развој и валидација модела за идентификацију извора $PM_{2.5}$ који не захтева било који вид референтних анализа.
6. Анализа резултата: Анализа резултата истраживања, дискусија о потенцијалним недостацима и ограничењима развијених приступа за мапирање загађења и идентификацију извора уз дефинисање потенцијалних праваца за даља истраживања и извођење закључака о спроведеном истраживању.

1.3.4. Методе истраживања

Према информацијама прикупљеним у разговору кандидата са надлежним лицима Института за јавно здравље Крагујевац, у граду су инсталирана два референтна сензора за мерење концентрација $PM_{2.5}$. Једна од мерних локација је управо зграда Института за јавно здравље, док је друга мерна локација Основна школа Мирко Јовановић. Произвођач ових сензора је „*Tecora*“ и они раде на гравиметријском принципу мерења концентрација који се заснива на филтрацији ваздуха у трајању од 24 сата при константном запреминском протоку. Подацима са ових сензора (часовна мерења) се може приступити са званичног сајта Агенције за заштиту животне средине Републике Србије⁵, и она су доступна само за претходних 30 дана. Са друге стране, ако се приступа подацима преко *aqicn.org*⁶ портала они су доступни од фебруара 2023. године, али у дневној резолуцији која није погодна за овај вид истраживања.

Прегледом *sensor.community* мапе видљиво је да је у Крагујевцу инсталирано 5 грађанских $PM_{2.5}$ сензора што је недовољно за процес мапирања загађења и идентификације извора. Аналогно овом закључку, као предкорак целокупном истраживању биће потребно одредити довољан број и локације $PM_{2.5}$ сензора чијом инсталацијом ће бити формирана функционална мрежа за мониторинг концентрација која ће за потребе овог и будућих истраживања пружити равномерну дисперзију часовних података о концентрацији $PM_{2.5}$. Даље ће бити потребно прикупити податке за минимални временски период од годину дана на сатном (или краћем) нивоу како би се омогућио увид и у временску варијацију концентрација $PM_{2.5}$ у зависности од месеца и сезоне (грејна/негрејна).

Ради утврђивања алгоритама и врсте података који ће се користити у овој докторској дисертацији, кандидат ће детаљно систематизовати истраживања која су се бавила истом или сличном темом. Неопходно је детаљно истражити: 1) који улазни параметри и која временска резолуција је коришћена у сврху просторног моделирања $PM_{2.5}$ концентрација, 2) како су предпроцесирани подаци са мерача и како је то утицало на крајњи резултат, 3) који алгоритми су ангажовани за потребе просторног моделирања $PM_{2.5}$ концентрација и 4) како су евалуиране перформансе добијених модела за мапирање.

Поступак просторног моделирања $PM_{2.5}$ концентрација ће бити спроведен помоћу два приступа. Први приступ подразумева традиционалне методе интерполације које се заснивају на математичким формулацијама за налажење непознате између две познате вредности. Традиционалне методе интерполације су показале задовољавајућу прецизност само у случају високе густине сензора. У случајевима мале или средње густине сензора значајно бољу прецизност су показале методе које укључују и машинско учење у процесирање података. Тиме се долази до другог приступа. Наиме, коришћењем алгоритама машинског учења, пре свега LUR (*Land-Use regressor*) модела, могуће је на основу постојећих мерења повећати густину сензора стварањем такозваних квази-сензора чија су читавања претпостављена од стране алгоритма машинског учења. Затим се, коришћењем реалних и квази-сензора врши интерполација применом традиционалних метода како би се добила мапа веће прецизности него она добијена класичном интерполацијом.

На крају, кандидат ће перформансе модела евалуирати нумерички коришћењем *cross-validation* или њему сличним приступом. Као индикатори

⁵ Обједињени приказ аутоматског мониторинга квалитета ваздуха у Републици Србији. Доступно на: <http://www.amskv.sepa.gov.rs/> [Приступљено 2.7.2025.]

⁶ Kragujevac Air Pollution: Real-Time Air Quality Index (AQI). Aqicn.org. Доступно на: <https://aqicn.org/city/serbia/kragujevac/> [Приступљено 2.7.2025.]

перформанси модела биће коришћени коефицијент детерминације (R^2), средња апсолутна грешка (MAE), средња квадратна грешка (RMSE) и њима слични.

1.3.5. Циљ истраживања

Полазни циљ ове докторске дисертације јесте развој модела који ће омогућити мапирање загађења $PM_{2.5}$ ради добијања информација о његовој просторној и временској варијацији. Очекује се да добијени резултати укажу на делове града са већом и мањом концентрацијом, на локације са највећим загађењем и како се ове просторне карактеристике загађења мењају током времена (у зависности од доба дана, сезоне, итд.). Ове информације су од суштинског значаја са више аспеката: 1) грађани ће моћи да организују своје активности и обавезе са циљем смањења изложености високим концентрацијама $PM_{2.5}$; 2) локалне власти ће моћи да организују саобраћај, рад индустрије и других активности које имају утицај на загађење, а које су у њиховој надлежности, како би се смањило загађење на критичним локацијама; 3) локалним властима пружају се могућности детектовања најнефектнијих мера и бољег организовања будућих инвестиција за унапређење квалитета ваздуха и отварају се могућности за системско праћење и квантификовање резултата који су постигнути имплементацијом појединих политика, мера, субвенција и напора локалних/републичких власти у области заштите животне средине и унапређења квалитета ваздуха.

Основни научни циљ докторске дисертације јесте развој методологије за мапирање и идентификацију извора $PM_{2.5}$ која се базира искључиво на статистичким методама. Применом ове методологије дефинисаће се просторна и временска варијација $PM_{2.5}$, како би се утврдиле области виших и нижих концентрација, локације највишег загађења (енг. *hotspots*) и идентификовали извори ових суспендованих честица унутар основних категорија (саобраћај, индивидуална ложишта, индустрија, котларнице, топлане, остали извори који су специфични за одређену локацију). Ова дисертација ће детаљно описати поступак прикупљања, предпроцесирања и процесирања прикупљених података, процесирање, визуализацију, проверу и тумачење резултата симулације, као и предлог иницијалних мера за унапређење квалитета ваздуха.

1.3.6. Резултати који се очекују

Очекивани резултати предложене дисертацију су:

1. Инсталација додатних $PM_{2.5}$ сензора на предметној локацији који ће овом и будућим истраживањима пружити информације о интензитету, просторној и временској варијацији $PM_{2.5}$ концентрација;
2. преглед тренутног научно-истраживачког стања у области машинског учења у сфери квалитета ваздуха, са фокусом на мапирање и идентификацију извора $PM_{2.5}$;
3. провера потенцијала грађанских (нискобуџетних) $PM_{2.5}$ сензора са аспекта стварања мреже за мониторинг/мапирање/праћење/предикцију загађења;
4. дефинисана методологија мапирања загађења $PM_{2.5}$ заснована на нискобуџетним сензорима која може помоћи у смањењу броја и интензитета последица изложености високом загађењу;
5. подељена искуства о начину постављања допунских сензора и утицају локације/броја сензора на резултате мапирања;
6. идентификација и квантификација извора загађења у Крагујевцу применом статистичких метода.

1.3.7. Оквирни садржај докторске дисертације са предлогом литературе која ће се користити (до 10 најважнијих извора литературе)

1. Увод – Ово поглавље ће садржати основна уводна разматрања која се тичу утицаја загађења ваздуха суспендованим честицама мањих од 2.5 μm на животну средину и здравље људи. Такође, биће дефинисани предмет, циљеви и основне хипотезе истраживања.
2. Машинско учење у области квалитета ваздуха – Уводна разматрања – У овом поглављу биће направљен детаљан осврт на акутелне научноистраживачке радове који су примењивали основне принципе машинског учења у области квалитета ваздуха.
3. Преглед актуелних истраживања у области мапирања и идентификације извора загађења – У овом поглављу ће бити направљен преглед радова који су се бавили мапирањем и идентификацијом извора загађења.
4. Анализа тренутног стања квалитета ваздуха у Републици Србији и Крагујевцу – У овом поглављу ће бити урађена детаљна анализа трендова и евалуација тренутног стања квалитета ваздуха за случај Републике Србије и града Крагујевца.
5. Преглед постављених сензора, анализа и предпроцесирање прикупљених података – Ово поглавље ће дати детаљно објашњење процеса постављања сензора, дефинисаће локације постављених сензора, анализираће и дискутовати прикупљене податке и објаснити поступак њиховог предпроцесирања.
6. Преглед примењених метода за мапирање и идентификацију извора $\text{PM}_{2.5}$ – У овом поглављу ће бити објашњене примењене методе за мапирање и идентификацију извора суспендованих честица мањих од 2,5 μm , и дискутоваће се о целокупном процесу уз дефинисање свих евентуалних препрека на које је кандидат наишао.
7. Резултати мапирања загађења $\text{PM}_{2.5}$ – У овом поглављу биће евалуирани резултати мапирања загађења суспендованим честицама мањих од 2,5 μm .
8. Резултати идентификације извора $\text{PM}_{2.5}$ – У овом поглављу биће евалуирани резултати идентификације извора суспендованих честица мањих од 2,5 μm .
9. Закључна разматрања – У овом поглављу биће дата закључна разматрања заједно са смерницама за будућа истраживања у овој области.
10. Литература

Полазна литература:

- [1] C. Meng, S. Xie, L. Liu, P. Wei, Z. Tang, and Z. Yhang, „Regional $\text{PM}_{2.5}$ concentration prediction analysis and spatio-temporal mapping incorporating ZWD data”, Atmospheric Pollution Research, Vol. 15, No. 3, Art. No. 102028, ISSN 1309-1042, Doi <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.102028>, 2024
- [2] J. Bi, J. Stowell, E.Y.W. Seto, P.B. English, M.Z. Al-Hamdan, P.L. Kinney, F.R. Freedman, Y, and Y. Liu, „Contribution of low-cost sensor measurements to the prediction of $\text{PM}_{2.5}$ levels: A case study in Imperial County, California, USA”, Environmental Research, Vol. 180, Art. No. 108810, ISSN 0013-9351, Doi <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108810>, 2020
- [3] H. Bagheri, „A machine learning-based framework for high resolution mapping of $\text{PM}_{2.5}$ in Tehran, Iran, using MAIAC AOD data”, Advances in Space Research, Vol. 69, No. 9, pp. 3333-3349, ISSN 0273-1177, Doi <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.032>, 2022
- [4] L. Chen, Z. Wu, W. Tu, and Z. Cao, „Chapter 10 – Applying LUR model to estimate spatial variation of $\text{PM}_{2.5}$ in the Greater Bay Area, China”, Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health, Elsevier, pp. 207-215, ISBN 9780128158227, Doi <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815822-7.00010-8>, 2020

- [5] M. Bakirci, „Enhancing air pollution mapping with autonomous UAV networks for extended coverage and consistency”, *Atmospheric Research*, Vol. 306, Art. No. 107480, ISSN 0169-8095, Doi <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107480>, 2024
- [6] M.D. Adams and P.S. Kanaroglou, „Mapping real-time air pollution health risk for environmental management: Combining mobile and stationary air pollution monitoring with neural network models”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 168, pp. 133-141, ISSN 0301-4797, Doi <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.012>, 2016
- [7] F. Nastić, N. Jurišević, and D. Končalović, „Using a Citizen-installed Network of PM_{2.5} Sensors to Predict Hourly PM_{2.5} Airborne Concentration”, *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol. 236, No. 102, ISSN 1567-7230, Doi <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x>, 2025
- [8] S. Anwar, M. Shameer, H. Alawadhi, and N.M. Hamdan, „Source apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ pollutants near an urban roadside site using positive matrix factorization”, *Environmental Advances*, Vol. 17, Art. No. 100573, ISSN 2666-7657, Doi <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100573>, 2024
- [9] S. Mohyuddin, K. Alam, B. Zeb, M.F. Khokhar, K.A. Mir, A.S. Wexler, E. ul Haq, M. Ikram, and I. Shahid, „Characterization and source identification of PM_{2.5} during intense haze episodes in an urban Environment of Lahore”, *Atmospheric Environment: X*, Vol. 23, Art. No. 100276, ISSN 2590-1621, Doi <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2024.100276>, 2024
- [10] V.M. Tasić, A.V. Božilov, N.Z. Mišić, D.B. Topalović, I.S. Randjelović, N.S. Mirkov, and V.V. Kamenović, „A portable air quality monitor based on low-cost sensors”, *Thermal Science*, Vol. 27, No. 3B, pp. 2309-2319, ISSN 0354-9836, Doi <https://doi.org/10.2298/TSCI220118107T>, 2023

1.4. Веза са досадашњим истраживањем у овој области уз обавезно навођење до 10 релевантних референци:

Као предкорак генералном смањењу емисија PM_{2.5} могу бити стратегије које теже смањењу изложености грађана високим концентрацијама. Те стратегије обухватају: 1) предвиђање будућих концентрација, 2) мапирање загађења и 3) идентификацију извора. Nastić и сарадници (2025) су већ испитали могућност предикције будућих концентрација PM_{2.5} на територији града Крагујевца и доказали да је она могућа применом нискобуџетних (SDS011) сензора. Са друге стране, мапирање загађења и идентификација извора још увек није испитана за предметну локацију. Сходно томе, направљен је кратак преглед истраживања која су се бавила мапирањем загађења и идентификацијом извора на другим локацијама.

Bagheri (2022) је анализирао потенцијал AOD (*Aerosol Optical Depth*) података као параметра у моделирању просторне варијације PM_{2.5} концентрација. Наиме, у Техерану, Иран, постоји мрежа регулаторних сензора, али број тих сензора није довољан за прецизно мапирање PM_{2.5} концентрација. Идеја овог истраживања је да је коришћењем мерења са постојећих сензора, AOD и климатских података могуће проценити концентрације у такозваним квази-сензорима, чија се мерења претпостављају применом алгоритама машинског учења како би се повећала густина постојеће мреже. Закључак рада је био да је коришћењем мерења са стварних сензора и процена концентрација у квази-сензорима уз примену метода интерполације могуће формирати мапе PM_{2.5} концентрација високе резолуције. Chen и сарадници (2020) су испитивали потенцијал примене *Land-use regressor* (LUR) модела за предвиђање просторне дистрибуције PM_{2.5} концентрација. Утицајне параметре су поделили у 5 категорија: 1) метеоролошки параметри, 2) индикатори саобраћаја, 3) индикатори коришћења земљишта, 4) демографски параметри и 5) топографске карактеристике. Од укупно 174 почетних утицајних параметара, одабрано је крајњих 5. Након развојка модела коришћен је *Leave-one-out cross validation* (LOOCV) поступак валидације модела како би се евалуирале његове перформансе. Резултати рада су показали да је

развијени предиктивни модел достигао задовољавајућу тачност, резултујући коефицијентом детерминације од 0,808.

Значајан број скорашњих истраживања се бавио идентификацијом извора $PM_{2.5}$ загађења на различитим локацијама. Претежно су сва истраживања користила методе које се базирају на физикално-хемијским методама (Anwar и сарадници, 2024; Mohyuddin и сарадници, 2024).

Кандидат је прегледом досадашњих истраживања закључио да нико није доказао да су мапирање загађења применом нискобуџетних сензора и идентификација извора без примене референтних анализа могући. Сходно томе ова докторска дисертација доприноси научној заједници са више аспеката: 1) испитује могућност мапирања загађења $PM_{2.5}$ применом нискобуџетних сензора, 2) испитује могућност идентификације извора без примене референтних анализа, 3) испитује могућност мапирања загађења и идентификације извора $PM_{2.5}$ за случај града Крагујевца у коме до сада није било предметног истраживања.

Литература:

- [1] H. Bagheri, „A machine learning-based framework for high resolution mapping of $PM_{2.5}$ in Tehran, Iran, using MAIAC AOD data”, *Advances in Space Research*, Vol. 69, No. 9, pp. 3333-3349, ISSN 0273-1177, Doi <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.032>, 2022
- [2] L. Chen, Z. Wu, W. Tu, and Z. Cao, „Chapter 10 – Applying LUR model to estimate spatial variation of $PM_{2.5}$ in the Greater Bay Area, China”, *Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health*, Elsevier, pp. 207-215, ISBN 9780128158227, Doi <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815822-7.00010-8>, 2020
- [3] F. Nastić, N. Jurišević, and D. Končalović, „Using a Citizen-installed Network of $PM_{2.5}$ Sensors to Predict Hourly $PM_{2.5}$ Airborne Concentration”, *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol. 236, No. 102, ISSN 1567-7230, Doi <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x>, 2025
- [4] S. Anwar, M. Shameer, H. Alawadhi, and N.M. Hamdan, „Source apportionment of $PM_{2.5}$ and PM_{10} pollutants near an urban roadside site using positive matrix factorization”, *Environmental Advances*, Vol. 17, Art. No. 100573, ISSN 2666-7657, Doi <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100573>, 2024
- [5] S. Mohyuddin, K. Alam, B. Zeb, M.F. Khokhar, K.A. Mir, A.S. Wexler, E. ul Haq, M. Ikram, and I. Shahid, „Characterization and source identification of $PM_{2.5}$ during intense haze episodes in an urban Environment of Lahore”, *Atmospheric Environment: X*, Vol. 23, Art. No. 100276, ISSN 2590-1621, Doi <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2024.100276>, 2024

1.5. Оцена научне заснованости теме докторске дисертације:

На основу пријаве теме докторске дисертације и постављеног концепта, Комисија закључује да постоји потреба за развојем и имплементацијом модела за мапирање загађења и идентификацију извора загађења суспендованих честица мањих од $2,5 \mu m$. Ова докторска дисертација је усмерена на развој и тестирање модела за мапирање загађења суспендованим честицама мањим од $2,5 \mu m$ применом два приступа. Први приступ обухвата традиционалне методе интерполације чији је главни недостатак мањак прецизности у случајевима мале или средње густине постављених $PM_{2.5}$ сензора. Овај недостатак је решен применом другог приступа који укључује алгоритме машинског учења ради формирања квази-сензора са претпостављеним мерењима. Такође, дисертација тежи идентификацији извора $PM_{2.5}$ извора у пар основних категорија искључиво применом сензора, односно, без примене референтних анализа.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим досадашњим самосталним истраживањима и детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

2. Подаци о кандидату
2.1.Име и презиме кандидата:
Филип Настић
2.2.Студијски програм докторских академских студија и година уписа:
Машинско инжењерство, 2022
2.3.Биографија кандидата (до 1500 карактера):
Филип Настић, рођен 13. 6. 1998. године у Приштини, Република Србија. Основну школу „Војислав Вока Савић“ у Лазаревцу је завршио 2013. године са одличним успехом. По завршетку основне школе уписао је Гимназију у Лазаревцу, природно-математички смер, коју је завршио 2017. године са врло добрим успехом. Основне студије уписао је 2017. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Машинско инжењерство, а завршио је 2020. године на модулу за Енергетику и процесну технику, са просечном оценом 9,83 (девет и 83/100). Завршни рад је одбранио 7. 7. 2020. са оценом 10 (десет). Након завршених основних академских студија, 2020. године уписао је мастер академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Машинско инжењерство, модул Енергетика и процесна техника. Мастер академске студије завршио је 2022. године са просечном оценом 10,00 (десет). Мастер рад је одбранио 23. 6. 2022. са оценом 10 (десет). Двоструки је добитник стипендије Фонда за младе таленте, која се додељује најбољим студентима завршних година основних и мастер студија у Републици Србији и иностранству, први пут при завршетку основних академских студија 2020. године и други пут при завршетку мастер академских студија 2022. године. Такође је 5 година за редом добитник награде студентима факултетских установа у Републици Србији и иностранству коју додељује ГО Лазаревац. Докторске академске студије уписао је у октобру 2022. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Машинско инжењерство под менторством ванредног професора др Давора Кончаловића. Положио је све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 10. Као сарадник учествује у извођењу вежби из: Рачунарских алата (БМ1300), Енергије и животне средине (БМ4200), Инжењерских алата (БМ4400) и Хидрауличних и пнеуматских машина (БМ5441). Исказује жељу да се у будућности усавршава и бави областима производње енергије из обновљивих извора, енергетске ефикасности, заштите животне средине, квалитета ваздуха, као и примене машинског учења у поменутих областима.
2.4.Преглед научноистраживачког рада кандидата (до 1500 карактера):
Кандидат је у свом досадашњем научно-истраживачком раду самостално или у сарадњи са другим ауторима публикувао укупно седам научних радова и то: два рада у водећим међународним часописима [M21], два саопштења са међународних скупова штампаних у целини [M33] и три рада у истакнутим националним часописима [M52]. Рад под називом „<i>Harnessing open data for hourly power generation forecasting in newly commissioned photovoltaic power plants</i>“ [M21] се бавио предикцијом часовне производње електричне енергије из фотонапонских панела, али за случај новонасталих система без историјских података о производњи енергије на посматраној локацији. Други објављени научноистраживачки рад M21 категорије носи назив „<i>Using a Citizen-installed Network of PM2.5</i>

Sensors to Predict Hourly PM2.5 Airborne concentration" и испитује могућност предикције часовних концентрација суспендованих честица мањих од 2,5 µm применом машинског учења и мерења са нискобуџетних сензора (SDS011). Овај рад, заједно са радовима „*From coal to natural gas: Analyzing PM2.5 concentration changes caused by district heating plant fuel switch*“ [M33] и „*Предлог модела за предвиђање концентрације суспендованих (PM_{2.5}) честица у ваздуху*“ [M52] представљају доказ о стеченом знању кандидата током докторских студија о примени машинског учења у сфери квалитета ваздуха.

Као што је већ поменуто, једним од наведених научноистраживачких радова кандидата је доказана могућност предикције часовних концентрација суспендованих честица на територији града Крагујевца, али само за непосредну околину локације на којој је постављен сензор, без улажења у природу самог загађења, тј. идентификација извора загађења није била тема тадашњег истраживања. За разлику од претходних истраживања, предложена докторска дисертација ће испитати могућност мапирања загађења и идентификације извора суспендованих честица мањим од 2,5 µm на територији града Крагујевца.

2.5.Списак објављених научних радова кандидата из научне области из које се пријављује тема докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број⁷, категорија):

Списак објављених радова кандидата из научне области из које се пријављује тема докторске дисертације:

Рад у водећем међународном часопису [M21]:

- 1) **Nastić Filip**, Jurišević Nebojša, Nikolić Danijela, Končalović Davor, „Harnessing open data for hourly power generation forecasting in newly commissioned photovoltaic power plants“, *Energy for Sustainable Development*, Vol. 81, Art. No. 101512, ISSN 0973-0826, Doi <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101512>, 2024
- 2) **Nastić Filip**, Jurišević Nebojša, Končalović Davor, „Using a Citizen-installed Network of PM2.5 Sensors to Predict Hourly PM2.5 Airborne Concentration“, *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 236, No. 102, ISSN 0049-6979, Doi <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x>, 2025

Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M33]:

- 1) **Nastić Filip**, Končalović Davor, Vukašinović Vladimir, Jurišević Nebojša, Nikolić Jelena, Živković Dubravka, „Evaluating Serbian air quality initiatives in a regional context“, 3rd International Conference „Conference on Advances in Science and Technology“ COAST 2024, Herceg Novi, 29 May - 01 June, 2024, pp. 1046 - 1057, ISBN 978-9940-611-08-8
- 2) **Nastić Filip**, Šušteršič Vanja, Vukašinović Vladimir, Jurišević Nebojša, Aleksić Natalija, Končalović Davor, „From coal to natural gas: Analyzing PM2.5 concentration changes caused by district heating plant fuel switch“, 3rd International Conference „Conference on Advances in Science and Technology“ COAST 2024, Herceg Novi, 29 May - 01 June, 2024, pp. 62 - 70, ISBN 978-9940-611-08-8

Истакнути национални часопис [M52]:

- 1) **Nastić Filip**, „Predlog modela za predviđanje koncentracije suspendovanih (PM2.5) čestica u vazduhu“, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 3, pp. 39-44, ISSN 0354-8651, Doi <https://doi.org/10.46793/EEE23-3.39N>, 2023
- 2) **Nastić Filip**, Gordić Dušan, Končalović Davor, Vukašinović Vladimir, Nikolić Jelena, Jurišević Nebojša, „Water and Electricity Consumption and Carbon Footprint of Washing Machines“, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 25, No. 1, pp. 10-16, ISSN 0354-8651, Doi <https://doi.org/10.46793/EEE23-1.10N>, 2023

⁷ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

3) Nastić Filip , Vukašinović Vladimir, Končalović Davor, Josijević Mladen, Gordić Dušan, Živković Dubravka, „Possibilities of Cement Industry Decarbonisation Using Biomass”, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 27, No. 1, pp. 55-60, ISSN 0354-8651, Doi https://doi.org/10.46793/EEE25-1.55N , 2025
2.6. Оцена испуњености услова кандидата у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):
Кандидат је испунио све услове неопходне за пријаву докторске дисертације у складу са условима студијског програма, општим актом Факултета инжењерских наука и општим актом Универзитета у Крагујевцу и испунио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом докторских академских студија.
3. Подаци о предложеном ментору
3.1. Име и презиме предложеног ментора:
Давор Кончаловић
3.2. Звање и датум избора:
Редовни професор, 26.6.2025.
3.3. Научна област/ужа научна област за коју је изабран у звање:
Машинско инжењерство/Енергетика и процесна техника
3.4. НИО у којој је запослен:
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
3.5. Списак референци којима се доказује испуњеност услова за ментора у складу са Стандардом 9 (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број, категорија):
1. Končalović Davor, Vukašinović Vladimir, Živković Dubravka, Gordić Dušan, Džokić Ana, Neelen Marc, „Possibilities for Affordable, Low Environmental Footprint Passive House Implementation in Republic of Serbia“, Thermal Science, Vol. 25, No. 3A, pp. 1809-1825, ISSN 0354-9836, Doi https://doi.org/10.2298/TSCI200326224K, 2021 [M22] 2. Končalović Davor, Nikolić Jelena, Vukašinović Vladimir, Gordić Dušan, Živković Dubravka, „Possibilities for Deep Renovation in Multi-Apartment Buildings in Different Economic Conditions in Europe“, Energies, Vol. 15, No. 8, Art. No. 2788, ISSN 1996-1073, Doi https://doi.org/10.3390/en15082788, 2022 [M22] 3. Končalović Davor, Nikolić Jelena, Džokić Ana, Momčilović Predrag, Živković Dubravka, „Energy cooperatives and just transition in Southeastern Europe“, Energy, Sustainability and Society, Vol. 13, No. 1, Art. No. 21, ISSN 2192-0567, Doi https://doi.org/10.1186%2Fs13705-023-00400-9, 2023 [M22] 4. Nastić Filip, Jurišević Nebojša, Nikolić Danijela, Končalović Davor, „Harnessing open data for hourly power generation forecasting in newly commissioned photovoltaic power plants“, Energy for Sustainable Development, Vol. 81, Art. No. 101512, ISSN 0973-0826, Doi https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101512, 2024 [M21] 5. Nastić Filip, Jurišević Nebojša, Končalović Davor, „Using a Citizen-installed Network of PM2.5 Sensors to Predict Hourly PM2.5 Airborne Concentration“, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 236, No. 102, ISSN 0049-6979, Doi https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x, 2025 [M21]

3.6. Списак референци којима се доказује компетентност ментора у вези са предложеном темом докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број, категорија): 1. Vukašinović Vladimir, Gordić Dušan, Babić Milun, Jelić Dubravka, Končalović Davor, „Review of efficiencies of cogeneration units using internal combustion engines“, International Journal of Green Energy, Vol. 13, No. 5, pp. 446-453, ISSN 1543-5075, Doi https://doi.org/10.1080/15435075.2014.962032, 2016 [M22] 2. Vukašinović Vladimir, Gordić Dušan, Babić Milun, Živković Dubravka, Končalović Davor, „Technical potential for using biomass as a fuel in cogeneration plants in Serbia“, Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 15, No. 11, pp. 2413-2420, ISSN 1582-9596, Doi https://doi.org/10.30638/eemj.2016.263, 2016 [M22] 3. Vukašinović Vladimir, Gordić Dušan, Živković Marija, Končalović Davor, Živković Dubravka, „Long term planning methodology for improving wood biomass utilization“, Energy, Vol. 175, pp. 818-829, ISSN 0360-5442, Doi https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.105, 2019 [M21a+] 4. Nastić Filip, Jurišević Nebojša, Nikolić Danijela, Končalović Davor, „Harnessing open data for hourly power generation forecasting in newly commissioned photovoltaic power plants“, Energy for Sustainable Development, Vol. 81, Art. No. 101512, ISSN 0973-0826, Doi https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101512, 2024 [M21] 5. Nastić Filip, Jurišević Nebojša, Končalović Davor, „Using a Citizen-installed Network of PM2.5 Sensors to Predict Hourly PM2.5 Airborne Concentration“, Water, Air, & Soil Pollution, Vol. 236, No. 102, ISSN 0049-6979, Doi https://doi.org/10.1007/s11270-024-07733-x, 2025 [M21] 6. Nastić Filip, Končalović Davor, Vukašinović Vladimir, Jurišević Nebojša, Nikolić Jelena, Živković Dubravka, „Evaluating Serbian air quality initiatives in a regional context“, 3rd International Conference „Conference on Advances in Science and Technology“ COAST 2024, Herceg Novi, 29 May - 01 June, 2024, pp. 1046 - 1057, ISBN 978-9940-611-08-8 [M33] 7. Nastić Filip, Šušteršič Vanja, Vukašinović Vladimir, Jurišević Nebojša, Aleksić Natalija, Končalović Davor, „From coal to natural gas: Analyzing PM2.5 concentration changes caused by district heating plant fuel switch“, 3rd International Conference „Conference on Advances in Science and Technology“ COAST 2024, Herceg Novi, 29 May - 01 June, 2024, pp. 62 - 70, ISBN 978-9940-611-08-8 [M33] 8. Jurišević Nebojša, Stojadinović Miroslav, Končalović Davor, Josijević Mladen, Gordić Dušan, “Students’ perceptions of air quality: An opportunity for more sustainable urban transport in the medium sized university city in the Balkans“, Tehnika, Vol. 78, No. 4, ISSN 0040-2176, pp. 455-463, Doi https://doi.org/10.5937/tehnika2304455J, 2023 [M51] 9. Vukašinović Vladimir, Gordić Dušan, Nikolić Jelena, Mladen Josijević, Končalović Davor, “Uticaj individualnih ložišta na biomasu na zagađenost vazduha u urbanim sredinama“, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 26, No. 2, ISSN 0354-8651, pp. 31-37, Doi https://doi.org/10.46793/EEE24-2.31V, 2024 [M52]
3.7. Да ли се предложени ментор налази на Листи ментора акредитованог студијског програма ДАС?
ДА
3.8. Оцена испуњености услова предложеног ментора у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):
Предложени ментор испуњава све услове у складу са студијским програмом, општим актом Факултета инжењерских наука и општим актом Универзитета у Крагујевцу.

4. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе приложене документације Комисија за писање извештаја о оцени научне заснованости теме и испуњености услова кандидата и предложеног ментора предлаже да се кандидату **Филипу Настићу, маг. инж. маш.** одобри израда докторске дисертације под насловом „Мапирање загађења и идентификација извора суспендованих честица мањих од 2,5 μm ” и да се за ментора именује **др Давор Кончаловић, редовни професор.**

Чланови комисије:



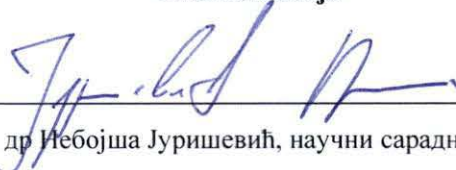
др Душан Гордић, редовни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Машинско инжењерство/Енергетика и процесна техника

Председник комисије



др Владимир Вукашиновић, ванредни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Машинско инжењерство/Енергетика и процесна техника

Члан комисије



др Небојша Јуришевић, научни сарадник
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Техничко-технолошке науке/Енергетска ефикасност

Члан комисије



др Милош Ивановић, редовни професор
Природно-математички факултет Универзитета у
Крагујевцу
Математичке науке/Методологије рачунарства

Члан комисије



др Владимир Ђурђевић, редовни професор
Физички факултет Универзитета у Београду
Физичке науке/Динамичка метеорологија

Члан комисије