

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/254

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

8. 10. 2024.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Процена ризика по здравље ученика школе у урбаној средини услед присуства штетних
хемијских супстанци на суспендованим честицама у ваздуху**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Јелена (Радиша) Обрадовић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Биолошки факултет, дипломирани професор биологије и хемије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2007.

4. Година уписа на докторске студије: 2021.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 1:

Име и презиме ментора: др Антоније Оњиа

Звање: Редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Todorović, M.N., Radenković, M.B., **Onjia**, A.E. and Ignjatović, L.M., 2020. Characterization of PM 2.5 sources in a Belgrade suburban area: a multi-scale receptor-oriented approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, pp.41717-41730. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10129-z>. ISSN: 0944-1344. IF(2020)=4.223
2. Ćujić, M.R., Ćirović, Ž.M., Đolić, M.C., Janković-Mandić, L.J., Radenković, M.B. and **Onjia**, A.E., 2023. Assessment of the burden of disease due to PM2.5 air pollution for the Belgrade district. *Thermal Science*, 27(3 Part B), pp.2265-2273. <https://doi.org/10.2298/TSCI220131104C>. ISSN: 0354-9836. IF(2023)=1.1
3. Miletić, A., Lučić, M., and **Onjia**, A., 2023. Exposure factors in health risk assessment of heavy metal(loid)s in soil and sediment. *Metals* 13(7), p.1266. <https://doi.org/10.3390/met13071266>. ISSN: 2075-4701. IF(2023)=2.6
4. Todorović, Ž.N., Radulović, J.M., Ignjatović, I.D.S., Ignjatović, L.M. and **Onjia**, A.E., 2021. Ambient air particles: The use of ion chromatography and multivariate techniques in the analysis of water-soluble substances. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 86(7-8), pp.753-766. <https://doi.org/10.2298/JSC200826077T>. ISSN: 0352-5139. IF(2023)=1.0
5. Tanić, M.N., Dinić, D., Kartalović, B., Mihaljev, Ž., Stupar, S., Ćujić, M. and **Onjia**, A., 2023. Occurrence, source apportionment, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil of urban parks in a mid-sized city. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(7), p.484. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06504-4>. ISSN: 0049-6979. IF(2023)=3.8

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Славица Ражић

Звање: редовни професор Фармацеутског факултета, Универзитета у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Mušović, J., Vraneš, M., Papović, S., Gadžurić, S., **Ražić, S.** and Trtić-Petrović, T., 2023. Greener sample preparation method for direct determination of Cd (II) and Pb (II) in river sediment based on an aqueous biphasic system with functionalized ionic liquids. *Journal of Molecular Liquids*, 369, p.120974. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120974>. ISSN: 0167-7322. IF(2023)=5.3
2. Đogo-Mračević, S., **Ražić, S.**, Trišić, J., Mitrović, N. and Đukić-Ćosić, D., 2022. Toxic elements in children's crayons and colored pencils: Bioaccessibility assessment. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 87(6), pp.723-734. <https://doi.org/10.2298/JSC20091078D>. ISSN: 0352-5139. IF(2022)=1.0
3. Culicov O.A., Trtić-Petrović T., Balvanović R., Petković A. & **Ražić S.** 2021. Spatial Distribution of multielements including lanthanides in sediments of Iron Gate I Reservoir on the Danube River. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp, 44877-44889. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13752-6>. ISSN: 0944-1344. IF(2021)=5.190
4. Katsoyiannis, I.A., Lammel, G., Samara, C., Ernst, M., Wenk, J., Torretta, V., Voutsas, D., Vollertsen, J., Bucheli, T.D., Godbersen, L. and Lambropoulou, D., Heath, E., Kallenborn, R., Giannakoudakis, D., Deliyanni, E., Bandosz, T.J., **Ražić, S.**, Samanidou, V., Papa, E., Lacorte, S. and Katsoyiannis A. 2021. Innovative aspects of environmental chemistry and technology regarding air, water, and soil pollution. *Environmental science and pollution research*, pp.1-11. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15370-8>. ISSN: 0944-1344. IF(2021)=5.190
5. Đurđić S., Vukojević V., **Ražić S.** & Mutić J. 2020. Lead isotope ratios as tool for elucidation of chemical environment in a system of *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer - soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 59003-59014. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07947-6>. ISSN: 0944-1344. IF(2020)=4.223

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 19.9.2024. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Јелена Обрадовић**, број индекса 4010/21, под називом: **„Процена ризика по здравље ученика школе у урбаној средини услед присуства штетних хемијских супстанци на суспендованим честицама у ваздуху“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Антоније Оњиа, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Славица Ражић, редовни професор Универзитета у Београду, Фармацеутски факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Јелене Обрадовић, дипломираног професора биологије и хемије, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду бр. 35/208 од 28.08.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме кандидата Јелене Обрадовић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Процена ризика по здравље ученика школе у урбаној средини услед присуства штетних хемијских супстанци на суспендованим честицама у ваздуху“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Јелена Обрадовић, дипломирани професор биологије и хемије, рођена је 01.09.1983. године у Јагодини. Основну школу „Јован Јовановић Змај“ завршила је у Свилајнцу као носилац дипломе „Вук Караџић“, док је средњу медицинску школу „Дулић др Војислав“ завршила у Пожаревцу. Биолошки факултет, смер професор биологије и хемије, Универзитета у Београду, уписала је 2002. године, а завршила 2007. године са просечном оценом 8,68, одбранивши дипломски рад под називом: “Ученичка постигнућа из области неметали и њихова једињења” са оценом 10. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету на студијском програму Инжењерство заштите животне средине уписала је 2021/2022. године. У оквиру докторских академских студија Јелена Обрадовић је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,18. Завршни испит на докторским академским студијама под називом „Анализа просторне и временске дистрибуције загађујућих материја у амбијенталном ваздуху“ одбранила је 26.09.2023. године, са оценом 10.

Јелена Обрадовић је од 2007. године до данас радила као наставник биологије, хемије и стручних предмета у више основних школа и у средњој стручној школи Ваздухопловна академија у Београду. Од 2019. ради као наставник билингвалне наставе на предмету Опасне материје у школи Ваздухопловна академија. У октобру 2021. године запослена је у својству сарадника у настави, а потом у априлу 2024. године изабрана у звање асистента на предмету Екологија и заштита животне средине у Високој школи струковних студија Ваздухопловна академија у Београду. Од септембра 2023. године обавља функцију помоћника директора за наставу у Високој школи струковних студија Ваздухопловна академија. У сарадњи са Заводом за вредновање квалитета образовања и васпитања Београд, била је ангажована на 4 пројекта припреме и писања задатака за полагање завршног испита у основном образовању, за област

хемија, 3 пројекта унапређења квалитета образовања кроз увођење испита на крају средњег образовања и 3 пројекта у оквиру којих је водила обуке запослених у образовању за остваривање образовних стандарда и вредновање знања. Од 2023. године до данас ангажована је на два међународна Ерасмус+ пројекта (Ecology and Meteorology – Cooperation Partnership (ЕАС/А10/2022) и Erasmus Mundus Design Measures project (101128169 МВАА)). Похађала је више стручних курсева и радионица. Члан је Српског хемијског друштва од 2014. године.

Научно-истраживачки рад Јелене Обрадовић усмерен је на област инжењерства заштите животне средине, и то на пољу испитивања загађења ваздуха. Из досадашњих истраживања публиковала је један научни рад у међународном часопису (M23) и три саопштења са међународних и националних скупова, од чега два саопштења из категорије M34 и једно саопштење из категорије M64. Такође, аутор (за област хемија) је на једанаест издања Збирке задатака из биологије, географије, историје, физике и хемије за полагање завршног испита на крају основног образовања и васпитања. Током свог стручно-педагошког рада у својству аутора објавила је четири радне свеске и приручник за потребе ученика Ваздухопловне академије. Говори и пише енглески језик.

1.2. Сечено научно-истраживачко искуство

Јелена Обрадовић је од 01.10. 2021. године запослена је у својству сарадника у настави, а потом 23.04.2024. године изабрана у звање асистента у Високој школи струковних студија Ваздухопловна академија у Београду. У оквиру докторских академских студија положила је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,18. Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом „Анализа просторне и временске дистрибуције загађујућих материја у амбијенталном ваздуху“ одбранила је 26.09.2023. године са оценом 10. У табели 1. приказан је списак положених испита, са оценама и оствареним ЕСПБ бодовима.

Табела 1. Списак положених испита, са оценама и оствареним ЕСПБ бодовима

Редни бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1.	Анализа трагова специфичних загађујућих материја	10	5
2.	Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	7
3.	Хемијска кинетика	6	5
4.	Хеометрија	9	5
5.	Хемијски сензори	10	5
6.	Виши курс аналитичке хемије	10	5
7.	Економија и заштита животне средине	10	4
8.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	6	5
9.	Индустријска екологија	10	5
10.	Хемија пестицида	10	5
11.	Енглески језик	10	/
12.	Завршни испит	10	30
Просечна оцена / Укупно бодова		9,18	81

Јелена Обрадовић, асистент на предмету Екологија и заштита животне средине Високе школе струковних студија Ваздухопловна академија у Београду, бави се анализом загађења ваздуха у школи које потиче од токсичних елемената и полицикличних ароматичних угљоводоника (РАН) присутних у финим суспендованим

честицама (PM_{2,5}) ваздуха, утврђивањем унутрашњих и спољашњих извора загађујућих супстанци, анализом дистрибуције токсичних елмената и РАН у PM_{2,5}, као и употребом савремених метода процене ризика. Из досадашњих истраживања Јелена Обрадовић публиковала је један научни рад у међународном часопису (M23) и четири саопштења са међународних и националних скупова, од чега три саопштења из категорије M34 и једно саопштење из категорије M64. Такође, аутор је (за област хемија) на једанесет издања Збирке задатака из биологије, географије, историје, физике и хемије за полагање завршног испита на крају основног образовања и васпитања.

M23 Рад у међународном часопису

1. Ćirović Z., Ćujić M., Radenkovic M., **Obradović J.**, Onjia A.: *AERMOD air dispersion modeling and health risks of gas and oil fueled heating plant emissions*. Thermal Science, Vol 27(3B), 2023, pp. 2321-2331, ISSN 0354-9836, IF(2023)= 1,1, <https://doi.org/10.2298/TSCI220214109C>.

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **Obradović J.**, Jovašević-Stojanović M., Onjia A.: *Analysis of the spatial and temporal distributions of air pollutants in Belgrade*. 37th International Congress on Process Industry – Processing'24, Belgrade, Serbia, May 29-31 (2024) Book of Abstracts, p.215-216., ISBN: 978-86-85535-18-5
2. **Obradović J.**, Onjia A.: *DISTRIBUTION OF PM_{2.5}, CO₂, HCHO, AND TVOC IN AIR IN A HIGH SCHOOL CLASSROOM*. 31st International Conference Ecological Truth & Environmental Research – EcoTER'24, Sokobanja, Serbia, June 18-11 (2024) Book of Abstracts, p.757-758., ISBN: 978-86-6305-152-2

M64 Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

1. **Obradović J.**, Jovašević-Stojanović M., Onjia A.: *The relationship between indoor and outdoor air pollution in school*. 60th Meeting of the Serbian Chemical Society, Niš, Serbia, June 8-9 (2024) Book of Abstracts/ Proceedings, HŽS-2, p.75., ISBN 978-86-7132-086-3

Збирке задатака

1. Група аутора: *Збирка задатака из биологије, географије, историје, физике и хемије за полагање завршног испита на карају основног образовања и васпитања за школску 2023/2024. годину*. Завод за вредновање квалитета образовања и васпитања, Просветни преглед, Београд, 2024, 128-151. ISBN 978-86-6072-109-1. (укључујући претходних десет издања – укупно 11 издања).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег научно-истраживачког рада и постигнутих резултата током докторских академских студија Јелена Обрадовић је показала способност и самосталност за бављење научно-истраживачким радом, што се огледа у реализацији истраживања, тј. извођењу експеримената, обради научних резултата и писању научних радова. Из научне области којој припада тема предложене докторске дисертације кандидат је коаутор једног научног рада у међународном часопису, два саопштења са међународних скупова штампаних у изводу и једног саопштења са скупа националног

значаја штампаног у изводу. На основу свега изложеног, Комисија сматра да кандидат Јелена Обрадовић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације..

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације усмерен је на проблематику загађења ваздуха у школи, утврђивање квалитета ваздуха у школи и у дворишту школе, као и индентификацији потенцијалних извора са највећим утицајем на утврђене промене. На квалитет ваздуха утичу бројни чиниоци који се разликују у зависности од извора загађења, експозиције терена и метеоролошких параметара. Међутим, утицај људских активности долази до изражаја нарочито у урбаним срединама што указује на потребу за анализом антропогеног фактора. Поред гасовитих загађујућих супстанци, од посебног токсиколошког значаја истичу се fine честице ($PM_{2.5}$; *engl. Particulate Matter*) суспендоване у ваздуху, које путем плућа лако дифундују у крвоток. Осим повишене концентрације, токсични потенцијал $PM_{2.5}$ првенствено је повезан са њиховим хемијским саставом. Предмет истраживања обухвата испитивање састава и количине токсичних елемената и полицикличних ароматичних угљоводоника (РАН) који се налазе у саставу $PM_{2.5}$ и њихов директни утицај на здравље ученика кроз процену здравственог ризика. У овој докторској дисертацији биће примењен интегрисан приступ испитивању утицаја токсичних елемената и РАН у ваздуху. Предмет истраживања ће укључивати испитивање квалитета ваздуха у учионици и дворишту школе. На тај начин моћи ће да се сагледа и упореди међусобна зависност загађења ваздуха унутар школе и у непосредној околини школе.

Загађење ваздуха представља један од највећих еколошких проблема. Повећана урбанизација, коју прати све већа потреба за фосилним изворима енергије, различитим металима и хемикалијама доводи до загађености ваздуха у мери која штетно делује на здравље људи. Присуство токсичних елемената у $PM_{2.5}$ попут As, Cr, Cu, Cd, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, Sb, i V има штетан ефекат на здравље људи. Такође, у саставу $PM_{2.5}$ могу се наћи и РАН који се сврставају у веома токсична једињења. Иако се у атмосфери може детектовати преко 100 РАН, показано је да њих 16 који се могу детектовати у $PM_{2.5}$ има висок ризик по здравље ((нафтален (Nap), аценафтилен (Ace), аценафтен (Ane), флуорен (Flu), фенантрен (Phe), антрацен (Ant), флуорантен (Fla), пирен (Pyr), бенз[a]антрацен (BaA), кризен (Chy), бензо[b]флуорантен (BbF), бензо[k]флуорантен (BkF), бензо[a]пирен (BaP), дибенз[a,x]антрацен (DbA), бензо[г,х,и]перилен (BgP) и индено[1,2,3-ц,д]пирен (InP)). Дуготрајна изложеност штетним супстанцама из ваздуха чак и у малим повишеним дозама, доводи се у везу за озбиљним здравственим ризицима [1].

Токсични елементи налазе се у саставу земљине коре, а услед природних процеса присутни су и у атмосфери. Већина елемената налази се у људском телу у малим концентрацијама, где имају важну улогу у различитим физиолошким процесима. Међутим, широк спектар антропогених активности доприноси повећању њихових концентрација у ваздуху. Иако су токсични елементи присутни у $PM_{2.5}$ у малим концентрацијама или чак у траговима, услед високе биореактивности штетно утичу на здравље [2,3]. Такође, висока тенденција биоакмулације у људском телу доприноси штетном ефекту токсичних елемената, нарочито при хроничној изложености [1].

Поред токсичних елемената, РАН су друга група веома токсичних једињења која негативно утиче на квалитет ваздуха [4,5]. Ова органска једињења карактерише присуство два или више спојених бензенових прстенова, а настају приликом непотпуног сагоревања органског материјала. Доминантан узрок повишених

концентрација РАН у ваздуху последица је различитих процеса сагоревања које човек свакодневно примењује. За разлику од РАН са два или три прстена, они са већим бројем прстенова су постојанији у животној средини, а услед ниског напона паре адсорбују се на РМ у ваздуху и то углавном на честице мањих димензија, попут РМ_{2,5} [6]. Такође, РАН са већим бројем прстенова испољавају већи токсиколошки потенцијал, јер имају изразито канцерогено, мутагено и тератогено дејство .

Лош квалитет амбијенталног ваздуха не само да негативно утиче на когнитивне способности ученика у школама, већ може имати и дугорочне штетне ефекте на здравље. Деца су нарочито осетљива на штетне ефекте загађеног ваздуха, имајући у виду време које проводе у школама, бржи метаболизам, већи број удисаја у минути и интензиван развој свих система у организму. На квалитет ваздуха у школи могу да утичу различити унутрашњи фактори, укључујући карактеристике зграде и материјале у учионици, употребу хемикалија и друге људске активности. Међутим, доминантан утицај на квалитет ваздуха у учионици имају спољашњи извори загађења, нарочито у школама у урбаним срединама које имају природну вентилацију [7,8].

Имајући у виду да сваки извор токсичних елемената и РАН додатно повећава њихову концентрацију у РМ_{2,5}, одређивање специфичних извора емисије је од великог значаја јер доприноси разумевању дистрибуције токсичних елемената и РАН у ваздуху. Природни извори елемената у ваздуху су вулканске ерупције, космичка и терестрична прашина и пожари, док је присуство РАН у ваздуху узроковано вулканским ерупцијама и пожарима. Ипак, високе концентрације токсичних елемената и РАН у ваздуху углавном су последица антропошког загађења. Урбане средине нарочито су погођене контаминацијом ваздуха са токсичним елементима и РАН, а међу главним изворима препознати су саобраћај, топлане укључујући индивидуална ложишта и различите гране индустрије [1,9].

Како би се извршила процена здравственог ризика услед изложености токсичним елементима и РАН развијени су различити индекси. Овај тип процене омогућава утврђивање могућих неканцерогених и канцерогених ефеката токсичних елемената и РАН на здравље људи.

Методом мултиваријантне статистичке анализе могуће је утврдити расподелу и међусобну зависност испитиваних токсичних елемената и РАН, укључујући и одређивање извора емисије. Ове методе користе се у сврху груписања података у системе на основу њихових међусобних сличности, односно разлика, али и за разјашњавање односа међу варијаблима [10].

Загађен ваздух доводи до озбиљних здравствених проблема, што указује да квалитет ваздуха мора редовно да се контролише и прати. С тим у вези бројна истраживања све су више усмерена на развој методологија које би допринеле ефикаснијем проучавању квалитета ваздуха. Повећане концентрације РМ_{2,5} у спољашњој средини не само да доприносе њиховом инфилтрирању у унутрашњи простор, већ имају тенденцију да се акумулирају и поново суспендују кретањем ученика, чиме се додатно повећава ризик по здравље. Разумевање дистрибуције и токсичног потенцијала РМ_{2,5} повезаног са њиховим хемијским саставом је кључно за процену здравственог ризика и давање смерница за смањење ризика по здравље ученика.

Узимајући у обзир неопходност очувања и праћења квалитета ваздуха због све већег броја антропогених активности које смањују квалитет ваздуха, постављен је циљ ове докторске дисертације. Циљ истраживања у оквиру предложене докторске тезе јесте квантификација загађујућих супстанци у ваздуху, пре свега токсичних елемената и РАН који се налазе у саставу РМ_{2,5} у учионици и дворишту школе у хладном и топлим периоду године и процена ризика по здравље ученика. Поред тога, примена

комбинације метода процене здравственог ризика, заједно са другим методама попут анализе главних компоненти (РСА) и факторизације позитивне матрице (PMF) омогући ће добијање свеобухватних и прецизних резултата загађења ваздуха. Истраживања се заснивају на:

- испитивању квалитета ваздуха и добијање релевантних података о загађености кроз одређивање количине загађујућих супстанци у ваздуху, пре свега PM_{2.5} и присуства токсичних елемената и РАН у њиховом саставу, у спољашњој средини и у учионици,
- утврђивању природних и антропогених извора загађења на основу статистичких метода (корелациона анализа, хијерархијска кластерска анализа, факторска анализа, РСА и PMF). Комбинацијом савремених статистичких метода могуће је извршити прецизно тумачење добијених резултата, што је првенствено и циљ овог истраживања. Резултати добијени применом ових метода помажу у разумевању аспеката загађења ваздуха и то, изворе и дистрибуцију аерозагађења, са посебним освртом на међусобну повезаност загађења ваздуха у спољашњој средини и у учионици,
- утврђивању процене здравственог ризика специфичног за сваки елемент и РАН, на комбиновани ефекат елемената и РАН, као и на извор емисије како би се боље разумео утицај појединачних загађујућа материја на здравље људи. Ова процена представља комбинацију две методе и то методе процене здравственог ризика и PMF. Сваки извор токсичних елемената и РАН другачије утиче на њихову заступљеност и дистрибуцију у ваздуху. Стога је одређивање потенцијалних извора загађења ваздуха од велике важности за процену здравственог ризика,
- одређивању здравственог ризика који могу изазвати токсични елементи и РАН присутни у PM_{2.5} ваздуха комбинацијом детерминистичког и пробабилистичког приступа у циљу бољег разумевања утицаја параметара ризика на резултате процене.

Ова истраживања би требало да допринесу бољем разумевању дистрибуције и токсичног потенцијала PM_{2.5} повезаног са њиховим хемијским саставом што је кључно за процену здравственог ризика у школи. Такође, резултати добијени у овој дисертацији би допринели давању смерница за смањење ризика по здравље ученика. Релевантна библиографија која представља основу за истраживања и експерименте за израду ове докторске дисертације:

- [1] Garcia A., Santa-Helena E., De Falco A., de Paula Ribeiro J., Gioda A., Gioda CR.: *Toxicological Effects of Fine Particulate Matter (PM2.5): Health Risks and Associated Systemic Injuries—Systematic Review*. Water, Air, & Soil Pollution, Vol 234, 2023, pp.346, doi: 10.1007/s11270-023-06278-9.
- [2] Wang R., Ding X., Wang J., Dong Z., Xu H., Ma G., et al.: *Trace elements in outdoor and indoor PM(2.5) in urban schools in Xi'an, Western China: characteristics, sources identification and health risk assessment*. Environmental geochemistry and health, Vol 45, 2023, pp.1027-44, doi: 10.1007/s10653-022-01359-w.
- [3] Kaghazchi ME., Soleimani M.: *Changes in ecological and health risk assessment indices of potentially toxic elements associated with ambient air particulate matters (PM2.5) in response to source, land use and temporal variation in Isfahan city, Iran*. Urban Climate, Vol 49, 2023, pp.101520, doi: 10.1016/j.uclim.2023.101520
- [4] Živković M., Jovašević-Stojanović M., Cvetković A., Jovanović R., Manojlović D.: *Characterisation of fine particulate matter level, content and sources of a kindergarden microenvironment in Belgrade city center*. Thermal Science, Vol 27, 2023, pp.2215-28, doi: 10.2298/TSCI220831220Z.

- [5] Wu Z., Lyu H., Guo Y., Man Q., Niu H., Li J., Jing X., Ren G., Ma X.: *Polycyclic aromatic hydrocarbons and polybrominated diphenyl ethers inside university campus: Indoor dust-bound pollution characteristics and health risks to university student*. Building and Environment, Vol 221, 2022, pp.109312, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109312.
- [6] Mallah M.A., Changxing L., Mallah M.A., Noreen S., Liu Y., Saeed M., Xi H., Ahmed B., Feng F., Mirjat A.A., Wang W., Jabar A., Naveed M., Li J.H., Zhang Q.: *Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview*, Chemosphere, Vol 296, 2022, pp.133948, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.133948.
- [7] Othman M., Latif M.T., Mohd Naim N.N., Mohamed Zain S.M.S., Khan M.F., Sahani M., Wahab M.I.A., Sofwan N.M., Hamid H.H.A., Mohamed A.F.: *Children's exposure to PM_{2.5} and its chemical constituents in indoor and outdoor schools urban environment*. Atmospheric Environment, Vol 273, 2022, pp.118963, doi: 10.1016/j.atmosenv.2022.118963.
- [8] Baloch RM, Maesano CN, Christoffersen J, Banerjee S, Gabriel M, Csobod É, Oliveira Fernandes E.D., Annesi-Maesano I., SINPHONIE Study group.: *Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study*, Science of The Total Environment, Vol 739, 2020, pp.139870, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139870.
- [9] Wang W., Chen C., Liu D., Wang M., Han Q., Zhang X., Feng X., Sun A., Mao P., Xiong Q., Zhang C.: *Health risk assessment of PM_{2.5} heavy metals in county units of northern China based on Monte Carlo simulation and APCS-MLR*. Science of The Total Environment, Vol 843, 2022, pp.156777, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156777.
- [10] Alameddine I., Gebrael K., Hanna F., El-Fadel M.: *Quantifying indoor PM_{2.5} levels and its sources in schools: What role does location, chalk use, and socioeconomic equity play?* Atmospheric Pollution Research, Vol 13, 2022, pp.101375, doi: 10.1016/j.apr.2022.101375.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе које се могу издвојити као основа за научно-истраживачки рад и које су проистекле из анализирања релевантне литературе у оквиру ове докторске дисертације су следеће:

- Загађење ваздуха представља један од највећих проблема на глобалном нивоу. Повећана употреба фосилних извора енергије, урбанизација коју прати убрзана индустријализација и све већа употреба различитих хемикалија довели су до загађености ваздуха у мери која штетно делује на здравље људи и животну средину у целини. Међу различитим загађујућим супстанцама у ваздуху, посебну пажњу у погледу штетног утицаја на здравље заузимају PM_{2.5}. У којој мери ће се испољити токсичност PM_{2.5} зависи првенствено од њиховог хемијског састава, пре свега од присуства токсичних елемената и РАН у њиховом саставу.
- Загађење амбијенталног ваздуха се показало као значајан фактор ризика по здравље. У том погледу посебна пажња је усмерена ка испитивању квалитета ваздуха у школама, с обзиром на развојну фазу ученика и значајно време које проводе у школи. Лош квалитет ваздуха не само да негативно утиче на способност ученика да ефикасно уче, већ може имати и дугорочне негативне ефекте на њихово здравље. На квалитет ваздуха у затвореном простору у школама утичу различити фактори, укључујући карактеристике зграде, материјале, хемикалије, људске

- активности, као и вентилација. Ипак доминантан утицај на квалитет ваздуха у учионици са природном вентилацијом има загађење ваздуха у спољашњој средини.
- Школе које се налазе у урбаним срединама нарочито су погођене штетном деловању загађеног ваздуха. Повећана концентрација $PM_{2.5}$ у учионици је директна последица повећане концентрације $PM_{2.5}$ у спољашњој средини. Поред тога што се $PM_{2.5}$ из спољашње средине инфилтрирају у унутрашње просторије школе, оне се могу акумулирати у учионицама и поново суспендовати услед кретања ученика, што доприноси додатном загађењу ваздуха у учионици. Многобројне студије које се баве квалитетом ваздуха у школама опширно су истраживале параметре удобности, различите гасовите загађујуће материје и нивое PM , док је утицај хемијског састава $PM_{2.5}$ на здравље ученика и даље предмет опсежног истраживања.
 - Повећане концентрације токсичних елемената и PAH које улазе у састав $PM_{2.5}$ могу бити различитог порекла. Поред природних извора као што су пожари и у случају елемената терестично порекло, утицај човека довео је до повећања концентрација токсичних елемената и PAH у ваздуху које су штетне по здравље. Након емисије из различитих извора токсични елементи и PAH се адсорбују на $PM_{2.5}$, које се потом разносе на различите удаљености од извора загађења, у зависности од метеоролошких услова и конфигурације терена.
 - Применом метода мултиваријантне статистичке анализе могуће је утврдити повезаност између токсичних елемената и PAH које улазе у састав $PM_{2.5}$, у циљу одређивања извора и њихове дистрибуције у спољашњем и унутрашњем простору. Методе мултиваријантне статистичке анализе омогућавају груписање великог скупа података и варијабли на основу чега је могуће донети закључке о заједничком пореклу токсичних елемената и њиховим изворима. Такође, примена индекса процене здравственог ризика специфичног за сваки појединачни извор токсичних елемената и PAH омогућава бољи увид у разумевање утицаја загађеног ваздуха на здравље ученика.
 - Испитивање токсичних елемената и PAH који улазе у састав $PM_{2.5}$ је важно због њихове разноврсности, динамике и дистрибуције у спољашњем и унутрашњем простору, као и због потенцијалног ризика по здравље ученика. Такође, потребно је разумети узрочно-последичну везу између токсичних елемената и PAH у састав $PM_{2.5}$ и квалитета ваздуха у учионици и та сазнања искористити у циљу давања смерница за смањење ризика по здравље ученика.

Детаљан преглед најновије литературе потврђује да су приказане полазне хипотезе и планирано истраживање у складу са глобалним активностима и интересовањима у науци.

4. Научне методе истраживања

Да би се реализовали циљеви истраживања ове докторске дисертације и потврдиле постављене хипотезе користиће се следеће методе:

- Мерење аерозагађења биће извршено у спољашњој средини и у учионици средње школе која се налази у урбаној зони, у центру Београда. Након активног сакупљања узорака, масена концентрација $PM_{2.5}$ биће одређивана гравиметријском методом, а потом ће филтери са $PM_{2.5}$ бити припремани за даље анализе кроз низ различитих аналитичких поступака.
- Детекција и квантификација елемената у $PM_{2.5}$ вршиће се применом масене спектрометрије са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-MS), док ће концентрације

РАН бити одређиване методом гасне хроматографије у комбинацији са масеним детектором (GC-MS).

- Додатно, биће одређивани параметри комфора и концентрације $PM_{2.5}$, угљен-диоксида (CO_2), формалдехида (НСОН) и укупних испарљивих органских једињења (TVOC) применом континуалних детектора, док ће подаци о метеоролошким параметрима бити преузимани са званичног сајта Агенције за заштиту животне средине и Републичког хидрометеоролошког завода Србије, ради ширег сагледавања утицаја аерозагађења на потенцијални здравствени ризик ученика.

На добијене резултате биће примењена математичка обрада података као и различите статистичке методе:

- Применом кластерске и факторске анализе, као и PCA и PMF биће одређени различити извори загађења појединог елемента, РАН и осталих загађујућих супстанци. Иако се ови индекси међусобно разликују по методолошком приступу утврђивања извора загађења, заједно имају за циљ да утврде меру утицаја токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$ на квалитет ваздуха.
- Процениће се неканцерогени (НН) и канцерогени ризик (TCR) по здравље ученика који могу бити изложени токсичним елементима и РАН присутним у $PM_{2.5}$ на основу детерминистичког приступа. Поред тога, биће примењен и пробабилистички приступ применом методе Монте Карло симулација (MCS).
- Ради разумевања повезаности између токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$ и извора загађења биће коришћене различите статистичке методе и то корелациона анализа, кластерска анализа (НСА), факторска анализа (ФА) и PCA. Такође, у истраживање ће бити укључен „*openair*“ пакет на основу којег се испитује тренд концентрација загађујућих супстанци и може се стећи бољи увид у загађење ваздуха.

5. Очекивани научни допринос

Реализацијом циљева истраживања ове докторске дисертације очекује се да ће се остварити напредак у области анализе и праћења загађења ваздуха у школи и потенцијалног ризика по здравље ученика услед присуства токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$. Очекивани научни допринос резултата ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- Биће извршена процена нивоа аерозагађења у школи и дворишту школе на основу количине загађујућих супстанци у ваздуху, пре свега $PM_{2.5}$ и њиховог хемијског састава, као и њихова упоредна анализа у односу на препоручене вредности и вредности публиковане за квалитет ваздуха у школама широм света.
- Биће урађена компаративна анализа спољашњег и унутрашњег аерозагађења и утврђена њихова међусобна повезаност, одређивањем односа спољашњег и унутрашњег аерозагађења, као и применом корелационе анализе.
- Биће утврђено испитивање антропогеног утицаја, одређивањем извора емисије токсичних елементима и РАН присутним у $PM_{2.5}$, испитивањем утицаја сваког појединачног извора и утврђивање повезаности између токсичних елемената и РАН применом техника мултиваријантне статистичке анализе као што су: факторске анализе, кластерске анализе, PCA и PMF.
- Дефинисање здравственог ризика код ученика изазваног токсичним елементима и РАН присутним у $PM_{2.5}$ биће извршено применом детерминистичког и пробабилистичког приступа. Коришћењем различитих аспеката процене ризика на здравље ученика омогућиће се бољи увид у потенцијално штетан утицај токсичних елемената и РАН који потиче од сваког извора загађења појединачно. На овај начин

се омогућава сагледавање недостатака коришћења фиксираних параметара процене и омогућава се добијање прецизних резултата кроз варијабилност улазних података.

- Детаљан увид о загађењу ваздуха у школи и потенцијалном ризику по здравље ученика. На основу добијених резултата биће могуће дефинисање смерница за смањење ризика по здравље ученика.

6. План истраживања и структура рада

Предмет рада ове докторске дисертације јесте испитивање квалитета ваздуха и процена здравственог ризика ученика у школи, применом статистичких метода на садржај токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$. На основу квантитативне анализе токсичних елемената и РАН који улазе у састав $PM_{2.5}$ утврдиће се у којој мери и у ком саставу су они заступљени у $PM_{2.5}$. На основу ових података извршиће се упоредна анализа и међусобна повезаност загађења ваздуха у учионици и спољашњем простору. Такође, измерене концентрације токсичних елемената и РАН користе се као улазни подаци за процену здравственог ризика код ученика у испитиваној школи.

План истраживања, који одређује ток рада и којим ће бити реализована ова докторска дисертација се састоји од неколико сегмената. У почетку ће бити извршено узорковање $PM_{2.5}$ применом референтних узоркивача како би се добио одговарајући број репрезентативних узорака. Масена концентрација $PM_{2.5}$ биће одређивана гравиметријском методом, а потом ће филтери са $PM_{2.5}$ бити подвргнути различитим методама припреме узорака у зависности од даљих квантитативних анализа. Токсични елементи присутни у $PM_{2.5}$ биће одређени применом масене спектрометрије са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-MS), док ће за анализу РАН бити примењена метода гасне хроматографије у комбинацији са масеним детектором (GC-MS). Сви наведени поступци биће изведен према стандардним и/или валидираним процедурама, у циљу добијања тачних, селективних и репродуктивних резултата. На основу добијених резултата мерења биће извршена упоредна анализа у односу на препоручене вредности за токсичне елементе и РАН и вредности публиковане за квалитет ваздуха у школама широм света. Употребом детерминистичког и пробабилистичког приступа процене здравственог ризика биће одређен неканцерогени (NI) и канцерогени (TCR) ризик. На основу ових метода процене здравственог ризика биће утврђено да ли и у којој мери постоји опасност од утицаја токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$ на здравље ученика. Поред тога што се применом пробабилистичког приступ превазилазе недостаци детерминистичког приступа, комбинацијом ових приступа се обезбеђују поузданији резултати процене здравственог ризика. У истраживање ће бити укључен „openair“ софтверски пакет на основу којег се испитује тренд концентрација загађујућих супстанци и може се стећи бољи увид у загађење ваздуха. Експериментално добијени подаци ће се обрадити помоћу мултиваријантне статистичке анализе која укључује корелациону анализу, факторску анализу, кластерску анализу, PCA и PMF. Примена PMF уз друге статистичке методе омогућиће одређивање извора загађења и порекла токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$. Разлагањем полазне матрице концентрација узорака на факторски допринос и факторски профил, PMF омогућава одређивање расподеле извора токсичних елемената и РАН. Овај математички модел узима у обзир не само концентрације токсичних елемената и РАН већ и мерну несигурност резултата како би се проценио квалитет података. Примена ових метода даће дубљи увид у дистрибуцију токсичних елемената и РАН у ваздуху, као и њихов потенцијално штетан ефекат на здравље ученика.

Докторска дисертација ће обухватити следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.*

У поглављу *Увод* биће дефинисани циљеви дисертације, предмет истраживања, очекивани научни допринос дисертације, а такође ће бити размотрена актуелна научна истраживања. Укратко ће бити размотрена неопходност истраживања штетних ефеката загађеног ваздуха на здравље ученика, имајући у виду да све већи број антропогених извора загађења доприноси повећању аерозагађења.

У оквиру *Теоријског дела* докторске дисертације биће обухваћен преглед досадашње литературе која се бави истраживањем и проблемом загађења ваздуха токсичним елементима и РАН. У овом делу биће представљен детаљан приказ порекла токсичних елемената и РАН присутних у $PM_{2.5}$, дистрибуција $PM_{2.5}$ у простору са посебним освртом на оптерећење $PM_{2.5}$ токсичним елементима и РАН у амбијеталном ваздуху у школи, као и на штетне ефекте токсичним елементима и РАН на здравље ученика. Такође, биће дефинисани критеријуми и једначине за процену здравственог ризика.

У *Експерименталном делу* биће дат приказ коришћених материјала и метода коришћених у процесу истраживања, почевши од описа места узорковања, методе узорковања и припреме узорка за анализу, описа инструменталних техника и метода коришћених у аналитичким одређивањима токсичних елемената и РАН присутних у $PM_{2.5}$ и описа метода мултиваријанте статистичке анализе.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће детаљно приказани, размотрени и дискутовани експериментални и статистички резултати добијени на основу испитивања земљишта. У оквиру овог поглавља разматраће се и резултати праћења и статистичке обраде утврђених концентрација токсичних елемената и РАН присутних у $PM_{2.5}$, на основу чега ће бити могуће утврдити целокупну слику о загађењу ваздуха у школи и потенцијалном ризику по здравље ученика. Биће дефинисани и идентификовани извори загађења токсичних елемената и РАН, одређен здравствени ризик ученика, дефинисана просторна дистрибуција токсичних елемената и РАН и дата оцена загађености ваздуха у школи.

У поглављу *Закључак* биће сумирани најважнији резултати и закључци ове докторске дисертације уз осврт на њихову иновативност и потенцијалну примену.

У поглављу *Литература* биће наведене све референце које су цитиране у овој докторској дисертацији, као и радови који су настали у току истраживања и рада на овој докторској дисертацији.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног Комисија сматра да је тема докторске дисертације Јелене Обрадовић, дипломираног професора биологије и хемије, под насловом „Процена ризика по здравље ученика школе у урбаној средини услед присуства штетних хемијских супстанци на суспендованим честицама у ваздуху“ научно заснована и добро утемељена и да Јелена Обрадовић испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Резултати предложене докторске дисертације могу бити од велике важности за област анализе токсичних елемената и РАН присутних у $PM_{2.5}$ честицама као показатеља за идентификовање различитих извора загађења ваздуха у школи и потенцијалном ризику по здравље ученика. Додатно, ова истраживања ће допринети процени ризика од токсичних елемената и РАН, а све наведено представља интегрисани приступ процени порекла, присуства и утицаја токсичних елемената и РАН у $PM_{2.5}$ честица у ваздуху на здравље ученика у школи. Комисија сматра да ће резултати истраживања дати значајан допринос научној области Заштита животне средине (ужа научна област: Инжењерство заштите животне средине) за коју је

Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Јелени Обрадовић одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За менторе докторске дисертације Комисија предлаже др Антонија Оњиу, редовног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Славицу Ражић, редовног професора, Универзитета у Београду, Фармацеутског факултета.

У Београду, 10.09.2024. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Антоније Оњиа, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Славица Ражић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Фармацеутски факултет

.....
Др Александра Перић-Грујић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет