

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА**

### **УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

**ПРЕДМЕТ:** Извештај комисије за преглед и одбрану докторске дисертације Марије Живковић, дипломираног хемичара за заштиту животне средине

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета Универзитета у Београду, одржаној 11.05.2023. године, одређени смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Марије М. Живковић, дипломираног хемичара за заштиту животне средине, стручног саветника Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију, под називом:

**„Садржај и састав унутрашњег и спољашњег аерозагађења у школским срединама у Србији“**

за коју је Наставно-научно веће Хемијског факултета дало своју сагласност (евиденциони број одлуке 1148/2 од 09.10.2014. и евиденциони број одлуке 1148/4 од 11.12.2014.).

Комисија је докторску дисертацију прегледала и подноси Наставно-научном већу следећи

### **ИЗВЕШТАЈ**

#### **А. Приказ садржаја дисертације**

Докторска дисертација Марије Живковић написана је на 94 страна, А4 формата (фонт 12, проред 1,0) и садржи 32 слике и 30 табела. Подељена је на следећа поглавља: 1. Увод (једна и по страна), 2. Општи део (18 страна), 3. Методологија (13 страна), 4. Резултати и дискусија (43 стране), 5. Закључак (три стране), 6. Литература (10 страна) и 7. Прилог у којем се налази Биографија кандидаткиње (једна и по страна), Изјава о ауторству (једна страна), Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (једна страна) и Изјава о коришћењу (једна страна). Поред наведеног, дисертација садржи

Захвалницу (једна страна), Сажетак на српском и енглеском језику (по једна страна) и Садржај (две стране). Дисертација је по структури и организацији у складу са предвиђеним стандардима.

У **Уводу** је дат предмет и циљ истраживања ове докторске дисертације, уз осврт на важност праћења аерозагађења унутрашњег простора и спољашње средине, које представља ризик по здравље људи. Истакнут је значај квалитета ваздуха унутрашњег простора, обзиром да људи проводе више од 80 % времена у унутрашњем простору. Како деца представљају једну од најосетљивијих група, а дневно проводе велики део времена у школама и вртићима, у свету се последњих деценија посебна пажња поклања квалитету ваздуха у школама. Узимајући у обзир чињеницу да је број студија везаних за аерозагађење у школама у Србији веома ограничен, у Уводу је истакнут значај научног циља ове дисертације, а то је да се комплексном анализом квалитета ваздуха у школским срединама унапреде сазнања о нивоима загађујућих материја присутних у облику честица и гасова у ваздуху унутрашњег простора и спољашње средине у образовним установама у Србији.

**Општи део** подељен је у пет тематских целина. У првој целини, *Аерозагађење у унутрашњем простору и спољашњој средини*, описано је аерозагађење и његови штетни ефекти по здравље људи. Дат је приказ изложености становништва загађујућим материјама у ваздуху и описан мониторинг у Републици Србији. У другој целини, *Преглед загађујућих материја у ваздуху и њихови извори*, дефинисане су примарне загађујуће материје које се прате у оквиру редовног мониторинга у спољашњој средини, као и загађујуће материје у ваздуху које се прате у унутрашњем простору. Наведене су основне карактеристике, описани процеси формирања, наведени здравствени ефекти и извори сваке од загађујућих материја које су проучаване у оквиру дисертације. Значај квалитета ваздуха у образовним установама и изложеност деце загађујућим материјама у ваздуху описани су у оквиру треће целине *Значај квалитета ваздуха у школама*. Такође, дат је списак прегледних радова о аерозагађењу у унутрашњем простору и спољашњој средини у школама, заједно са областима истраживања и општим закључцима. У четвртој целини, *Аерозагађење унутрашњег простора и спољашње средине у школама*, дат је детаљан литературни преглед података о нивоима одабраних загађујућих материја у ваздуху који су мерени у европским школама. У оквиру пете целине, *Аерозагађење у школским срединама у Србији*, наведени су научни радови и студије које су се бавиле тематиком аерозагађења у школским срединама у Србији. Посебно је истакнуто да се квалитет ваздуха у унутрашњем простору и спољашњој средини школа у Србији не прати у довољној мери.

У оквиру поглавља **Методологија** кандидаткиња наводи детаљан опис мерних места, тј. школа и вртића где је вршено узорковање, даје опис активног и пасивног узорковања, као и опис свих хемијских анализа загађујућих материја мерених у оквиру ове дисертације. Наведени су материјали, реагенси и хемикалије који су коришћени током хемијских анализа. Описане су процедуре контроле квалитета као и статистичке процедуре. Такође, ово поглавље садржи детаљан опис техника рецепторског моделовања (Анализа главних компоненти са вишеструком линеарном регресијом – PCA-MLR и Позитивна матрикс факторизација - PMF) који су коришћени у циљу одређивања извора загађујућих материја.

Такође, описан је и начин процене ризика деце од изложености полицикличним ароматичним угљоводоницима.

Поглавље **Резултати и дискусија** садржи три целине у складу са постављеним циљевима истраживања. Прва целина, *Нивои аерозагађења у школама*, се састоји из пет подцелина и обухвата: испарљива органска једињења (VOC), азот-диоксид, озон, респирабилне честице и полицикличне ароматичне угљоводонике (PAH). Од испарљивих органских једињења обухваћени су формалдехид, бензен, трихлоретилен, тетрахлоретилен, пинен и лимонен. У оквиру дисертације испитиване су различите фракције честица и то PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, као и укупне суспендоване честице (TSP). Посебан акценат је стављен на 16 приоритетних PAH-ова који су мерени у гасној фази, као и у свим честичним фракцијама. У свакој од ових подцелина су детаљно приказани измерени нивои загађујућих материја у унутрашњем простору и спољашњој средини сваке од школа и вртића током грејног и негрејног периода. Приказани су резултати статистичке процене сличности и разлика у нивоима загађујућих материја између различитих средина, периода мерења, као и у унутрашњем простору и спољашњој средини. За сваку загађујућу материју у ваздуху дато је поређење са литературним подацима о нивоима загађујућих материја са европским школама. Детаљно су приказани нивои концентрација свих фракција честица и посебно су приказане варијације у концентрацијама PM<sub>2.5</sub> када су деца присутна у учионицама и када су учионице празне. Поред нивоа концентрација PAH-ова присутних у гасној и честичној фази у унутрашњем простору и спољашњој средини током грејног и негрејног периода, анализирана је и расподела PAH-ова између гасне и честичне фазе, као и расподела PAH-ова између различитих честичних фракција (тј. PAH-ова адсорбованих на честицама различите величине). Друга целина у овом поглављу фокусирана је на идентификацију потенцијалних извора емисије загађујућих материја помоћу различитих техника. Анализирани су односи концентрација у унутрашњем простору и спољашњој средини (I/O односи) за испарљива органска једињења и честице. Приказани су резултати PCA за испарљива органска једињења, док су за идентификацију извора PAH-ова коришћене методе PCA-MLR и PMF, уз методу дијагностичких односа и I/O односа, и то за PAH-ове присутне у свакој фракцији честица, PAH-ове присутне у гасној фази и укупне PAH-ове. Добијени статистички параметри модела PCA-MLR и PMF су коришћени за оцену и поређење карактеристика техника коришћених у оквиру ове дисертације. Последња целина у овом поглављу дала је увид у прекорачења граничних и препоручених вредности загађујућих материја у ваздуху, као и резултате израчунатих индикатора процене здравственог ризика за изложеност PAH-овима.

У поглављу **Закључак** сумирани су и прокоментарисани резултати добијени у оквиру докторске дисертације.

У поглављу **Литература** обухваћене су публикације из области истраживања које покривају све делове дисертације.

У **Прилогу** је наведена биографија кандидаткиње и пратеће изјаве које су предвиђене правилником Универзитета у Београду.

## Б. Кратак опис постигнутих резултата

У оквиру ове докторске дисертације урађена је процена аерозагађења у образовним установама у Србији, сукцесивним мерењем одређених загађивача ваздуха у унутрашњем простору и спољашњој средини шест основних школа и два вртића који се налазе у различитим окружењима (урбано, рурално и индустријско). У циљу испитивања сезонских промена, узорковање је вршено током грејног и негрејног периода. У овој дисертацији приказани су нивои респирабилних честица различитих величина ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  и TSP),  $O_3$ ,  $NO_2$ , VOC-ова (НСНО, бензена, ТСЕ, РСЕ, лимонена и пинена), као и PАН-ова везаних за различите фракције честица и PАН-ова у гасној фази.

Резултати указују да су деца у школским срединама у Србији била изложена високим нивоима загађујућих материја, пре свега VOC-ова и честица у унутрашњем простору школа и вртића током грејног и негрејног периода. Утврђено је да постоје статистички значајне разлике у нивоима VOC-ова између грејног и негрејног периода, као и разлике у нивоима између сеоских и градских школа. Идентификовано је неколико извора VOC-ова у унутрашњем простору: озонолиза и фотохемијске реакције, емисије из грађевинских материјала и органски растварачи и емисије из средстава за чишћење. Нађено је да су концентрације честица у унутрашњем простору биле више од нивоа у спољашњој средини. Такође, концентрације честица су биле више током грејног периода. На основу I/O односа закључено је да утицај грејања током зимских месеци, као и положај школе има битан утицај на нивое честица у учионицама.

Високи нивои и велике варијације у концентрацији  $PM_{2,5}$  забележени су током присуства деце у учионицама. Такође, нађене су корелације између нивоа  $CO_2$  и честица. Ово је довело даље до закључка да ресуспензија честица и неадекватна вентилација значајно доприносе лошем квалитету ваздуха у учионицама. С друге стране, нађени су различити нивои честица у учионицама током грејног и негрејног периода што је указивало на различите праксе проветравања током ова два периода, указујући даље да због ређе проветравања зими може доћи до акумулације загађујућих материја у унутрашњем простору школа и вртића.

Утврђено је да је гасна фаза PАН-ова чинила 73-94% масе  $\Sigma$ PАН. Испитивање расподеле PАН-ова између гасне и честичне фазе показало је да су PАН-ови са 2 и 3 бензенова прстена били присутни 85-90% у гасној фази, док су PАН-ови са 5 и 6 бензенових прстенова чинили 55-72% честичне фазе. С друге стране, PАН-ови са 4 бензенова прстена били су присутни 10-13% у гасној фази и 15-40% у честичној фази. Утврђено је да су најдоминантнији PАН-ови у гасној фази били Nap, Phe и Flu, док су најдоминантнији у честичној фази били BgP, Ind и BbF. Испитивање расподела појединачних PАН-ова између честичних фаза ( $PM_{>10}$ ,  $PM_{2,5-10}$  и  $PM_{2,5}$ ) показало је да су PАН-ови са 5 и 6 бензенових прстенова били адсорбовани на честицама мањих димензија, тј.  $PM_{2,5-10}$  (10-60%) и  $PM_{2,5}$  (78-89%).

Три методе су примењене у циљу идентификације потенцијалних извора РАН-ова (DR, PCA-MLR и PMF). Методом DR није се могло одредити порекло РАН-ова, јер DR нису показали битне разлике у простору и периоду године за испитиване школе и вртиће. С друге стране, PCA-MLR метода је дала бољи увид у потенцијалне емисије РАН-ова и квантификовала доприносе скоро сваког извора. Због малог броја података PMF метода није могла бити примењена на скуп података током негрејног периода, за разлику од PCA-MLR. Без обзира на ово ограничење, PMF је дала реалнију слику о изворима и њиховим доприносима маси ΣРАН. Закључено је да су главни извори укупних РАН-ова у унутрашњем простору и спољашњој средини школа и вртића током грејног периода били стационарни извори, заједно са сагоревањем угља и биомасе. Такође, значајан допринос чинио је и саобраћај. С друге стране, саобраћај и стационарни извори су највише доприносили емисији РАН-ова током негрејног периода.

Утврђено је да су нивои бензена, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> и РАН-ова у ваздуху унутрашњег простора и спољашње средине испитиваних школа и вртића били виши од граничних или препоручених вредности, те је стога закључено да су деца била изложена високим нивоима ових материја и била под повишеним ризиком од штетних здравствених ефеката услед изложености овим загађујућим материјама.

Закључено је да близина прометних саобраћајница, емисије из стационарних извора, сагоревање угља и биомасе током грејног периода, као и лоша вентилација у школама и вртићима, највише доприносе високој изложености деце честичном загађењу и РАН-овима. С друге стране, емисије из грађевинских материјала, намештаја, средстава за чишћење и органских растварача утичу на изложеност деце нивоима VOC-ова изнад граничних или препоручених вредности.

## **В. Компаративна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе**

Према нашим сазнањима, овако комплексна анализа квалитета ваздуха, која је укључила загађујуће материје као што су бензен, формалдехид, трихлоретилен, тетрахлоретилен, лимонен, пинен, азот-диоксид, озон, различите фракције честица и РАН-ове присутне у гасној и честичној фази у образовним установама у Србији до сада није описана у доступној литератури. Најчешће се у оквиру квалитета ваздуха у образовним установама у Србији пратила вентилација и параметри комфора, док су нивои честичног загађења праћени у свега пар студија. Докторска дисертација Матић Б. (2018), урађена у оквиру SEARCH пројекта, је била оријентисана на PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, бензен, толуен, ксилен, етилбензен и формалдехид, али је обухватала само школе у Београду и то током грејног периода.

У овој докторској дисертацији је по први пут анализиран статистички значајан број узорака загађивача током грејног и негрејног периода, како би се испитале сезонске промене. Такође,

обухваћене су школе и вртићи који се налазе у различитим окружењима (урбано, рурално и индустријско). Према доступним литературним подацима до сада није био одређиван комплетан профил загађујућих материја у ваздуху унутрашњег простора у Србији, који би се могао користити за идентификацију извора емисије.

У поређењу са осталим загађујућим материјама, далеко мање података се може наћи у литератури о нивоима РАН-ова у школском окружењу. Поред тога, у неким радовима се могу наћи подаци о РАН-овима присутним у само некој од честићних фракција, док ограничен број радова се бавио одређивањем садржаја РАН-ова у гасној фази. Приказани резултати у оквиру ове докторске дисертације указали су на значај гасне фазе РАН-ова, која је чинила око 73-94% масе укупних РАН-ова. Резултати су указали и да су измерене концентрације бензена и ТСЕ биле више у поређењу са осталим школама у Европи. С друге стране, нивои честица су били у складу са другим студијама које су проучавале честично загађење у школским срединама. Такође, приказани нивои РАН-ова били су упоредиви са нивоима који су пријавили други аутори за школе у Европи.

#### **Г. Научни радови објављени у међународним часописима и саопштења са скупова који су део докторске дисертације**

Резултати испитивања у оквиру ове докторске дисертације објављени су у оквиру три научна рада. Један рад штампан је у врхунском међународном часопису (M21), а два рада у међународним часописима (M23). Такође, резултати су презентовани у облику пет саопштења на научним скуповима међународног значаја штампаних у целини.

##### **Рад објављен у врхунском међународном часопису (M21)**

1. Jovanović M., Vučićević B., Turanjanin V., **Živković M.**, Spasojević V. (2014). Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia, *Energy*, 77, pp. 42-48, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.080>

##### **Радови објављени у међународном часопису (M23)**

1. **Živković M.**, Jovašević-Stojanović M., Cvetković A., Lazović I., Tasić V., Stevanović Ž., Grčetić I. (2014). PAHs levels in gas and particle-bound phases in schools in Serbia, *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 21, (1-2), pp. 159-167, <https://doi.org/10.2298/CICEQ140206016Z>
2. **Živković M.**, Jovašević-Stojanović M., Cvetković A., Jovanovic R., Manojlović D., (2022). Characterisation of fine particulate matter level, content and sources of a

kindergarten microenvironment in Belgrade city center, Thermal Science, <https://doi.org/10.2298/TSCI220831220Z>

### Саопштења на међународним научним скуповима штампана у целини (М33)

1. **Živković M.**, Tasić V., Jovašević-Stojanović M., Kovačević R., Lazović I. (2013). PM levels in selected urban microenvironments near the Copper smelter complex, Bor, Serbia, Conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE), the International Society of Exposure Science (ISES), and the International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ), August 19–23, Basel, Switzerland, Environ Health Perspect, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.ehbase113>.
2. **Živković M.**, Jovašević-Stojanović M., Cvetković A., Tasić V., Lazović I., Stevanović Ž., Grčetić I. (2013) Comparison of PAHs levels in gas and particle-bound phases in schools at different locations, 4th WEBIOPATR, Particulate Matter: Research and Management, Belgrade, Serbia, October 2-4, pp 91-96, ISBN: 868306940-0
3. Tasić V., **Živković M.**, Lazović I., Brdarić D., Capak K., Barišić A., Jovašević-Stojanović M. (2015) Measurement of gas pollutants in the Serbian and Croatian schools, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC 47, Mining and Metallurgy Institute Bor and Technical Facility Bor, Serbia, pp. 439 - 444, isbn: 978-86-7827-047-5
4. Jovanović R. & **Živković M.** (2019) Probabilistic approach in health risk assessment of children and adult population exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons – PAHs in primary school environment in Serbia, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, 02-05 July, Zlatibor, Serbia, ISBN: 978-86-6060-009-9, Publisher: Innovation Center of Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade
5. Jovanović R. & **Živković M.** (2018) Health Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – PAHs in Primary School Environment in Serbia, Probabilistic Modeling Study, Proceedings of the 4th Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy, pp. 129 - 134, 978-86-80616-03-2 (RDCA), Niš, Serbia, 25. - 26. Oct, 2018

### Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност ове докторске дисертације је проверена на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у

Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22.06.2018). Помоћу програма iThenticate, утврђено је да количина подударана текста износи 9%. Подударности су мање од 1% и могу се описати као: последица цитата, личних имена, афилијација, назива једињења и скраћеница, назива коришћених материјала и метода и њиховог начина извођења, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и навођења података о карактеризацији једињења и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из њене дисертације. Аргументи поменути раније су у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација Марије М. Живковић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## **Б. Закључак**

На основу свега изложеног може се закључити да је у поднетој дисертацији под насловом „**Садржај и састав унутрашњег и спољашњег аерозагађења у школским срединама у Србији**” кандидаткиња **Марија М. Живковић**, успешно одговорила на све постављене задатке који су се односили на: карактеризацију аерозагађења у школском окружењу са посебним акцентом на честице и ПАХ-ове, и утврђивању разлика између концентрација одабраних загађујућих материја у школама и вртићима у различитим окружењима, као и разлике током грејног и негрејног периода; испитивање утицаја ваздуха у спољашњој средини на кватитет ваздуха у унутрашњем простору; идентификацију потенцијалних извора аерозагађења и процену ризика услед изложености загађујућим материјама.

Комисија сматра да резултати објављени у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан научни допринос бољим сазнањима о нивоима загађујућих материја у ваздуху унутрашњег простора и спољашње средине у образовним установама у Србији, пре свега у састав респирабилних честица као и расподеле ПАХ-ова у различитим честичним фракцијама и гасној фази.

Резултати истраживања проистекли из ове докторске дисертације објављени су у оквиру три научна рада од чега један рад у врхунском међународном часопису (M21) и два у међународном часопису (M23), као и пет саопштења штампаних у целини на скуповима међународног значаја (M33).

На основу свега изложеног, а у складу са Законом о Универзитету и Статутом Хемијског факултета, Комисија сматра да се ова дисертација уклапа у савремене трендове аналитичке хемије, те на основу свега изложеног предлаже Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду да прихвати поднету докторску дисертацију Марије М. Живковић под насловом „**Садржај и састав унутрашњег и спољашњег аерозагађења у школским**



**срединама у Србији”** и одобри њену одбрану за стицање академског звања доктора хемијских наука.

У Београду, 28.06.2023.

Комисија:

---

**др Драган Манојловић, редовни професор**

Хемијски факултет Универзитета у Београду, ментор

---

**др Милена Јовашевић-Стојановић, научна саветница у пензији, ментор**

Институт за нуклеарне науке „Винча“,

Институт од националног значаја за Републику Србију

---

**др Горан Роглић, редовни професор**

Хемијски факултет Универзитета у Београду

---

**др Константин Илијевић, доцент**

Хемијски факултет Универзитета у Београду

---

**др Маја Јовановић, научна сарадница**

Институт за нуклеарне науке „Винча“,

Институт од националног значаја за Републику Србију