

## УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

### НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет : Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марије Тодоровић, дипломираног физикохемичара

На IX редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 11. 09. 2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације дипломираног физикохемичара Марије Тодоровић под насловом: „**Одређивање порекла  $PM_{2,5}$  фракције аеросола у граничној зони урбаног подручја Београда применом комплементарних статистичких метода**“. Израда ове докторске дисертације одобрена је одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију на I редовној седници која је одржана 11. 10. 2017. године. Веће научних области природних наука Универзитета у Београду дало је сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације на седници одржаној 26.10. 2017. године. Након прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставно-научном већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Марије Тодоровић написана је на 151 страни куцаног текста, према Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Текст рада подељен је у 7 поглавља: **Увод** (2 стране), **Теоријски увод** (17 страна), **Материјал и методе истраживања** (20 страна), **Резултати и дискусија** (43 стране), **Закључак** (3 стране), **Литература** (172 навода, 14 страна) и **Прилози** (42 стране). Дисертација садржи и следеће делове: насловне странице на српском и енглеском језику (2 стране), страницу са информацијама о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), странице са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (4 стране), садржај (2 стране). Кандидат је уз текст дисертације приложио и Биографију и изјаве прописане од стране Универзитета. Дисертација садржи укупно 36 табела и 62 слике, од којих 7 табела и 11 слика адаптираних из постојеће литературе док 29 табела и 51 слика приказују резултате истраживања кандидата.

У поглављу **Увод** наведени су актуелни проблеми везани за атмосферско загађење, нарочито за масене концентрације и састав  $PM_{2,5}$  фракције честица суспендованих у ваздуху, и описан је предмет истраживања дисертације. Поред тога, у уводу је дат и кратак преглед садржаја дисертације по поглављима.

У поглављу **Теоријски увод** (4 табеле, 4 слике) описане су основне карактеристике, извори емисије и утицај на здравље људи загађујућих честица и супстанци ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  и  $O_3$ ) анализираних у оквиру дисертације, са посебним нагласком на  $PM_{2.5}$  фракцију честица суспендованих у ваздуху, њихов састав, трансформације током транспорта у атмосфери и здравствене ефекте. На крају поглавља, дат је преглед релевантних истраживања у Београду и Републици Србији, као и **циљ истраживања** којима се дисертација бави.

У поглављу **Материјал и методе истраживања** (3 табеле, 8 слика) дат је преглед база података и физичко-хемијских и статистичких метода коришћених током истраживања. У оквиру потпоглавља *Узорковање  $PM_{2.5}$  фракције аеросола* описани су: мерно место, метода узорковања и основни метеоролошки параметри током мерне кампање. У оквиру потпоглавља *Физичко-хемијске методе анализе* описане су методе коришћене за анализу састава  $PM_{2.5}$ : гравиметријка анализа, PIXE (енг. Particle Induced X-ray Emission) и јонска хроматографија. У потпоглављу *Остали извори података* дате су информације о пореклу података измерених у оквиру аутоматског мониторинга, података са метеоролошких станица и података о изворима емисије. Потпоглавље *Статистичке методе анализе* садржи описе принципа рада следећих статистичких модела: Позитивне факторизације матрице (енг. Positive Matrix Factorization, PMF) и валидације резултата PMF модела, модела за испитивање просторне расподеле извора на локалној скали (биваријантне поларне анализе (енг. Bivariate Polar Plot, BVP), функција условне вероватноће (енг. Conditional Probability Function, Conditional Bivariate Probability Function, CPF и CBPF) и поларне кластер анализе, модела за испитивање просторне расподеле извора на регионалној и прекограничној скали (HYSPLIT модела, кластер анализе трајекторија уназад (енг. Trajectory Cluster Analysis, TCA), PSCF (енг. Potential Source Contribution Function) и SWT модела (енг. Concentration Weighted Trajectory)). У поглављу су такође наведени програмски пакети коришћени за покретање наведених модела и писање кодова за додатне анализе у оквиру програмског окружења R и описани су основни принципи модела коришћених за процену утицаја загађујућих супстанци на здравље људи (AirQ+ и US EPA модела).

У поглављу **Резултати и дискусија** (11 табела, 28 слика) приказани су резултати анализе елементног и јонског састава  $PM_{2.5}$  фракције суспендованих честица узоркованих на рубу урбаног подручја Београда и алокације доминантних група извора емисије (потпоглавља: *Елементни састав  $PM_{2.5}$  фракције суспендованих честица и фактори обогаћења (ФО)*, *Јонски састав  $PM_{2.5}$  фракције аеросола и неутрализациони однос (НО)*, *Резултати PMF анализе: хемијски профили извора емисије и њихови доприноси масеним концентрацијама  $PM_{2.5}$  фракције суспендованих честица*), као и њихов удео у здравственим ефектима везаним за саставне компоненте  $PM_{2.5}$  (потпоглавље: *Процена утицаја  $PM_{2.5}$  на здравље изложеног становништва Београда*). Приказани су и резултати испитивања просторне расподеле извора емисије  $PM_{2.5}$  и неорганских гасних прекурсора на локалној, регионалној и прекограничној скали (потпоглавља: *Зависност доприноса идентификованих извора емисије од висине ПГС*, *Резултати испитивања просторне расподеле извора емисије на локалној скали*, *Резултати испитивања просторне расподеле извора емисије на регионалној и прекограничној скали*). Резултати процене утицаја  $PM_{10}$  фракције суспендованих честица и неорганских гасних прекурсора ( $NO_2$ ,  $SO_2$  и  $O_3$ ) на морталитет становника Републике Србије такође су приказани у овом поглављу, при чему је, за урбане средине Београда, Новог Сада и Ниша, захваљујући усклађеним методолошким параметрима, приказана и релативна магнитуда овог проблема у односу на испитиване градове у Европи и свету

(потпоглавље: *Процена утицаја РМ и неорганских гасних прекурсора (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>) на здравље изложеног становништва Републике Србије – резултати AirQ+ модела*).

У поглављу **Закључак** дат је сажетак добијених резултата.

У поглављу **Литература**, према абecedном реду, наведене су све цитиране референце. Референце покривају следеће делове дисертације: Увод, Теоријски увод, Материјал и методе истраживања, Резултати и дискусија, Прилози.

У поглављу **Прилози** (18 табела, 22 слике) приказане су табеле и слике дискутоване у оквиру дисертације које су због прегледности изостављене из основног текста.

## **Б. Опис резултата дисертације**

Научни циљ ове дисертације био је сагледавање доминантних извора загађења и њихових утицаја на здравље становништва урбане средине Београда и Републике Србије, као и боље разумевање локалних и регионалних образаца атмосферског транспорта РМ<sub>2,5</sub> фракције аеросола и неорганских гасова прекурсора (NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>).

У оквиру дисертације приказани су резултати мерења и анализе састава РМ<sub>2,5</sub> фракције честица суспендованих у ваздуху на рубу урбане средине Београда током периода мај 2014 - мај 2015. године. Алокација доминантних извора емисије РМ<sub>2,5</sub> извршена је применом PMF модела. Испитивање зависности концентрације РМ<sub>2,5</sub> и доприноса идентификованих извора од образаца атмосферске циркулације урађено је на два нивоа, локалном и прекограничном. Испитан је утицај локалне атмосферске циркулације на концентрације неорганских гасова (SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>) и назначене географске области са потенцијално значајним прекограничним доприносима. Поред тога, процењени су здравствени ефекти РМ<sub>2,5</sub> и појединих компоненти у њиховом саставу на становништво Београда, а процењени су и утицаји нивоа РМ<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> на смртност становника Београда и Републике Србије. Резултати сугершу да нивои загађења још увек нису у складу са међународним и националним стандардима, нити су безопасни по здравље становништва. Иако су досадашњи покушаји да се загађење ваздуха смањи уродили плодом, даље напоре захтева регулација коришћења фосилних горива, а нарочито горива са високим садржајем сумпора како на локалној тако и на регионалној скали.

Резултати мерења и анализе састава РМ<sub>2,5</sub> указали су на то да средња годишња масена концентрација РМ<sub>2,5</sub> није била у складу са препорукама Светске здравствене организације (СЗО), али је била у складу са националним стандардима и стандардима Европске комисије. Дневна гранична вредност, препоручена од стране СЗО, прекорачена је током 33 % дана у испитиваном периоду, скоро искључиво током грејне сезоне. У саставу РМ<sub>2,5</sub> у градском подручју Београда уочљиво је дугорочно смањење концентрација неких антропогених компоненти - S, Ni, V, Ba, Pb, Zn и Cr - и може се приписати како регионалном тако и локалном смањењу емисија загађујућих материја. Присутне су и сезонске разлике у елементном саставу са већим концентрацијама током грејне сезоне. Анализа фактора обограђења сугерисала је природно порекло Са и Ti (ФО < 10) и умерен утицај антропогених активности на К, Mn и Fe (10 < ФО < 100), док су сви остали елементи били под високим утицајем антропогених активности у следећем поретку: Br > As > S > Pb > Zn

> Cu > Ni > V > Cr ( $100 < \Phi O < 1000$ ). Масени удео три најзаступљенија јона ( $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  и  $NH_4^+$ ) у  $PM_{2.5}$  био је 29,6 %, а концентрације сва три јона биле су значајно више током грејне сезоне. Вредности неутрализационог односа током обе сезоне сугерисале су доминантну киселост  $PM_{2.5}$ .

Применом PMF модела идентификовано је 5 доминантних група извора: сагоревање биомасе (SB,  $3,0 \pm 0,1 \mu g m^{-3}$ ), саобраћај (SAOB,  $0,8 \pm 0,1 \mu g m^{-3}$ ), регионално сагоревање фосилних горива и секундарни сулфати (SSULF,  $6,0 \pm 0,2 \mu g m^{-3}$ ), локално сагоревање фосилних горива и нитрати (LS/ $NO_3$ ,  $6,2 \pm 0,2 \mu g m^{-3}$ ) и ресуспензија прашине (RES,  $1,1 \mu g m^{-3} \pm 0,1 \mu g m^{-3}$ ). Идентификација дефинисаних група извора задовољила је сва три теста валидности: bootstrap анализу, DISP анализу и DeltaSA тест. Највећи релативни допринос масеним концентрацијама  $PM_{2.5}$  имали су секундарни неоргански аеросоли – секундарни нитрати и сулфати – у комбинацији са примарним емисијама из локалног сагоревања фосилних горива, док је релативни допринос емисија сагоревања биомасе био знатно нижи. Уочен је тренд смањења доприноса SSULF почевши од маја па све до почетка октобра 2014. године, уз нагли пад и најниже вредности везане за крај јула исте године, највероватније као последица екстремне количине падавина и последичних поплава.

Резултати испитивања просторне расподеле извора емисије на локалној и прекограничној скали указали су да је доминантно порекло SB, LS/ $NO_3$  и SAOB локално, док регионални и прекогранични транспорт могу имати значајан утицај на доприносе SSULF и RES. Анализа зависности масених концентрација  $PM_{10}$ ,  $NO_2$  и  $SO_2$  од брзине и правца ветра такође је упутила на то да су доминантни извори највећим делом локалног типа, нарочито током грејне сезоне. Смањени капацитети термоелектрана у Републици Србији, који су били последице поплава 2014. године, помогли су идентификацију прекограничних доприноса секундарним сулфатима пореклом из земаља у региону (Северне Македоније, Грчке, Бугарске, Румуније). Поред утицаја ресуспензије пољопривредног земљишта, према предвиђањима NOAA HYSPLIT модела, неколико епизода сахарске прашине и једна епизода пореклом из регије источно од Каспијског мора значајно су допринеле RES фактору.

Резултати AirQ+ модела указали су на то да је највише превремених смртних случајева, због изложености становника Београда  $PM_{2.5}$  у ваздуху, повезано са кардиоваскуларним обољењима као што су исхемијска болест срца и мождани удар, а затим за болести респираторног система, хроничну опструктивну болест плућа и рак плућа. Укупан број превремених смртних случајева током мерног периода био је 1142, односно око 6,3 % укупног годишњег морталитета. Од тога, 144 (12,6 %) случаја приписано је садржају сулфата и нитрата у  $PM_{2.5}$ . US EPA модел није указао на значајне канцерогене и неканцерогене ризике испитаних хемијских врста (As, Ni, Cr и Pb), осим у случају As и Cr чија је вредност ILCR била већа од  $10^{-6}$ , али и даље далеко нижа од  $10^{-4}$  која се сматра високом. Што се канцерогених ефеката извора тиче, само је удео As у LS/ $NO_3$  показао утицај већи од прихватљивог (ILCR >  $10^{-6}$ ), док су кумулативни ефекти (As, Ni, Cr и Pb) били већи од  $10^{-6}$  у случају LS/ $NO_3$ , SSULF и RES. Према резултатима AirQ+ модела, извори који доприносе укупном морталитету популације Београда су SSULF, LS/ $NO_3$  и SB који највише доприносе стварању  $SO_4^{2-}$  и  $NO_3^-$  јона. Анализа утицаја  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  и  $O_3$  на морталитет становништва Републике Србије указала је на то да утицај повишених концентрација загађујућих супстанци на морталитет становништва опада у следећем низу:

PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>. Бор се издвојио као далеко најзагађенија средина кад су у питању PM<sub>10</sub> и SO<sub>2</sub> са процењеном стопом смртности преко три пута већом него у осталим областима. Честично (PM<sub>10</sub>) загађење представља посебан проблем у Ваљеву, Косјерићу, Смедереву, Београду и Нишу, док је утицај приземног O<sub>3</sub> био највећи у Параћину и Косјерићу. Повишене концентрације NO<sub>2</sub> представљају посебан проблем у Београду, а затим у Краљеву, Крагујевцу и Новом Саду. SO<sub>2</sub> представља потенцијалан проблем у Зајечару и Шапцу, док утицаје изложености концентрацијама преко 20 µg m<sup>-3</sup> не би требало занемарити у срединама попут Београда због великог броја становника. Процењено је да, ако би масене концентрације PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> и SO<sub>2</sub> биле у складу са дневним стандардним вредностима које препоручује СЗО, смањење превременог морталитета у свим областима заједно на годишњем нивоу било би 356 (95 % CI: 237 – 475), 60 (95 % CI: 29 – 89) и 137 (95 % CI: 103 – 165), респективно. Масене концентрације PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> током периода 2011-2015. година у испитиваним срединама показале су углавном негативан тренд, што значи да су мере смањења загађења предузете пре и током тог периода уродиле плодом. Међутим, статистички значајни позитивни трендови забележени су у Краљеву за NO<sub>2</sub>, у Крагујевцу, Лозници, Параћину и Ваљеву за PM<sub>10</sub> и у Кикинди за O<sub>3</sub>.

## **В. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе**

Студије о суспендованим честицама у Београду започете су почетком 2000-их, и биле су засноване на кратким кампањама сезонског узорковања и анализи састава различитим техникама и поступцима. Након прве фазе, да би се идентификовали доминантни извори емисије, почело се са применом мултиваријантних рецепторских модела који су сугерисали неколико фактора на испитиваним местима: саобраћај, сагоревање мазута, угља и биомасе, и индустрију [1]. Резултати дисертације упоређени су са претходним студијама fine фракције PM у Београду [2]–[9], при чему је у овом раду по први пут примењена неразорна нуклеарна аналитичка техника PIXE за истовремено одређивање око 20 елемената у траговима у саставу PM<sub>2,5</sub> и експериментални резултати интегрисани са доступним базама података загађујућих супстанци и метеоролошких параметара (различите временске резолуције) кроз примену више статистичких модела у сврху унапређења тачности географске алокације извора загађења. Уочено је смањење концентрације PM<sub>2,5</sub> као и неких антропогених компоненти у њиховом саставу током последње две деценије иако и даље постоји значајна разлика између нивоа измерених на локацијама у центру и на рубу урбаног подручја Београда. Резултати су такође дискутовани у односу на бројне рецепторске студије рађене у свету [10]–[16]. Средње годишње концентрације свих елемената у саставу PM<sub>2,5</sub> биле су далеко ниже од вредности измерених у Кини, али су концентрације S, K и Pb биле међу највишим у поређењу са другим европским градовима. Релативни доприноси секундарних нитрата и сулфата у Београду били су виши, а саобраћаја и минералне прашине нижи него у већини европских градова. Допринос сагоревања биомасе био је близак медијани доприноса забележених у Европи до 2013. године [10].

Састав PM<sub>2,5</sub> зависи од њиховог порекла и процеса транспорта и трансформације у атмосфери који су веома комплексни, а досадашња истраживања указала су на то да и концентрације и састав PM<sub>2,5</sub> значајно варирају на територији Европе и света [17]. За анализе утицаја локалног, регионалног и прекограничног атмосферског транспорта на концентрације загађујућих материја развијен је велики број модела који се постојано унапређују [17]–[19]. Предност рецепторских модела, коришћених у овом раду, је да је

њихова примена могућа у случају недостатка информација о изворима загађења у испитivanoј области и успешно су примењени како у Србији тако и у свету [4], [18], [20]–[22]. За овај рад, поред прилагођавања и примене наведених модела за анализу масених концентрација и састава PM<sub>2.5</sub> (24h резолуције) упоредо са концентрацијама PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (1h резолуције), карактеристични су и метеоролошки услови током мерне кампање (изузетно висока преципитација уз поплаве) који су нагласили значајност утицаја емисија (SO<sub>2</sub>) из регионалних термоелектрана и термоелектрана на Балкану на квалитет ваздуха у Београду.

Иако је праћење квалитета ваздуха током последње деценије указало на значајне нивое загађења у региону, свега неколико студија посвећено је квантификацији њиховог утицаја на здравље становништва [21], [23]–[26]. Модели коришћени у овом раду (AirQ+ и US EPA) покривају два аспекта утицаја PM<sub>2.5</sub> на људско здравље, као и процену утицаја PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> [21], [27]. По први пут су процењени здравствени ефекти PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> у Републици Србији, у свим областима у којима државна мрежа за праћење квалитета ваздуха мери њихове масене концентрације. У случају урбаних средина Београда, Новог Сада и Ниша, методологија испитивања хармонизована је са претходним истраживањима како би резултати били упоредиви, да би се на тај начин попунио празан простор и сагледао утицај загађења у градовима у Србији у односу на друге урбане средине у Европи и Азији [28]–[34].

- [1] A. Bartonova and M. Jovasevic-Stojanovic, “Integrated assessment and management of ambient particulate matter: International perspective and current research in Serbia,” *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, vol. 18, no. 4–2, pp. 605–615, 2012, doi: 10.2298/CICEQ121125124B.
- [2] S. F. Rajšić, M. D. Tasić, V. T. Novaković, and M. N. Tomašević, “First assessment of the PM10 and PM2.5 particulate level in the ambient air of belgrade city,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 158–164, May 2004, doi: 10.1007/BF02979670.
- [3] S. Rajšić, Z. Mijić, M. Tasić, M. Radenković, and J. Joksić, “Evaluation of the levels and sources of trace elements in urban particulate matter,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 95–100, May 2008, doi: 10.1007/s10311-007-0115-0.
- [4] M. Tasic *et al.*, “Characteristics and Application of Receptor Models to the Atmospheric Aerosols Research,” in *Air Quality*, A. Kumar, Ed. Sciyo, 2010.
- [5] M. Tasic *et al.*, “Assessment of Air Quality in an Urban Area of Belgrade, Serbia,” in *Environmental Technologies*, E. B. Ozkaraova Gungor, Ed. I-Tech Education and Publishing, 2008.
- [6] J. Joksić *et al.*, “Physical and chemical characterization of the particulate matter suspended in aerosols from the urban area of Belgrade,” *J. Serbian Chem. Soc.*, vol. 74, no. 11, pp. 1319–1333, 2009, doi: 10.2298/JSC0911319J.
- [7] D. Đorđević *et al.*, “Size-segregated mass concentration and water soluble inorganic ions in an urban aerosol of the Central Balkans (Belgrade),” *Atmos. Environ.*, vol. 46, pp. 309–317, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.09.057.
- [8] J. Đuričić-Milanković, “Fizičko-hemijske karakteristike suburbanog atmosferskog aerosola i procena doprinosa izvora emisija primenom receptor modela, Doktorska disertacija. Tehnološko-Metalurški Fakulet, Univerzitet u Beogradu, 2019.

- [9] M. V. Jovanović *et al.*, “Comparison of fine particulate matter level, chemical content and oxidative potential derived from two dissimilar urban environments,” *Sci. Total Environ.*, vol. 708, p. 135209, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135209.
- [10] C. A. Belis, F. Karagulian, B. R. Larsen, and P. K. Hopke, “Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe,” *Atmos. Environ.*, vol. 69, pp. 94–108, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.11.009.
- [11] F. Amato *et al.*, “AIRUSE-LIFE+: a harmonized PM speciation and source apportionment in 5 Southern European cities,” *Atmospheric Chem. Phys. Discuss.*, vol. 15, no. 17, pp. 23989–24039, Sep. 2015, doi: 10.5194/acpd-15-23989-2015.
- [12] M. G. Perrone *et al.*, “Sources and geographic origin of particulate matter in urban areas of the Danube macro-region: The cases of Zagreb (Croatia), Budapest (Hungary) and Sofia (Bulgaria),” *Sci. Total Environ.*, vol. 619–620, pp. 1515–1529, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.092.
- [13] L. Samek, Z. Stegowski, L. Furman, K. Styszko, K. Szramowiat, and J. Fiedor, “Quantitative Assessment of PM<sub>2.5</sub> Sources and Their Seasonal Variation in Krakow,” *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 228, no. 8, Aug. 2017, doi: 10.1007/s11270-017-3483-5.
- [14] E. Cuccia *et al.*, “Size-resolved comprehensive characterization of airborne particulate matter,” *Atmos. Environ.*, vol. 67, pp. 14–26, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.10.045.
- [15] L. Yu *et al.*, “Characterization and Source Apportionment of PM<sub>2.5</sub> in an Urban Environment in Beijing,” *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 574–583, 2013, doi: 10.4209/aaqr.2012.07.0192.
- [16] F. Karagulian *et al.*, “Contributions to cities’ ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level,” *Atmos. Environ.*, vol. 120, pp. 475–483, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.
- [17] S. Fuzzi *et al.*, “Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs,” *Atmospheric Chem. Phys.*, vol. 15, no. 14, pp. 8217–8299, Jul. 2015, doi: 10.5194/acp-15-8217-2015.
- [18] C. A. Belis *et al.*, “European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models,” 2019.
- [19] I. Uria-tellaetxe and D. C. Carslaw, “Conditional bivariate probability function for source identification,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 59, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.05.002.
- [20] Z. Mijic, A. Stojic, M. Perisic, S. Rajsic, and M. Tasic, “Statistical Character and Transport Pathways of Atmospheric Aerosols in Belgrade,” in *Air Quality - New Perspective*, G. Lopez, Ed. InTech, 2012.
- [21] M. Perišić, S. Rajšić, A. Šoštarić, Z. Mijić, and A. Stojić, “Levels of PM<sub>10</sub>-bound species in Belgrade, Serbia: spatio-temporal distributions and related human health risk estimation,” *Air Qual. Atmosphere Health*, vol. 10, no. 1, pp. 93–103, Jan. 2017, doi: 10.1007/s11869-016-0411-6.
- [22] A. Stojić, S. S. Stojić, A. Šoštarić, L. Ilić, Z. Mijić, and S. Rajšić, “Characterization of VOC

- sources in an urban area based on PTR-MS measurements and receptor modelling,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 22, no. 17, pp. 13137–13152, Sep. 2015, doi: 10.1007/s11356-015-4540-5.
- [23] M. Jevtić, N. Dragić, S. Bijelović, and M. Popović, “Cardiovascular diseases and air pollution in Novi Sad, Serbia,” *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, vol. 27, no. 2, Jan. 2014, doi: 10.2478/s13382-014-0239-y.
- [24] S. Stanisić-Stojic, N. Stanisić, A. Stojic, and V. Dzamic, “Seasonal mortality variations of cardiovascular, respiratory and malignant diseases in the City of Belgrade,” *Stanovnistvo*, vol. 54, no. 1, pp. 83–104, 2016, doi: 10.2298/STNV151019001S.
- [25] S. S. Stojić, N. Stanišić, A. Stojić, and A. Šošarić, “Single and combined effects of air pollutants on circulatory and respiratory system-related mortality in Belgrade, Serbia,” *J. Toxicol. Environ. Health A*, vol. 79, no. 1, pp. 17–27, Jan. 2016, doi: 10.1080/15287394.2015.1101407.
- [26] G. S. Martinez, J. V. Spadaro, D. Chapizanis, V. K. Id, M. Kochubovski, and P. Mudu, “Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje,” pp. 1–11, 2018, doi: 10.3390/ijerph15040626.
- [27] G. Oliveri Conti, B. Heibati, I. Kloog, M. Fiore, and M. Ferrante, “A review of AirQ Models and their applications for forecasting the air pollution health outcomes,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 7, pp. 6426–6445, Mar. 2017, doi: 10.1007/s11356-016-8180-1.
- [28] Aphekom, “Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe (Aphekom): Aphekom City Reports,” 2012. Accessed: Jul. 25, 2018. [Online]. Available: . <http://aphekom.org/web/aphekom.org/publications>.
- [29] L. Samek, “Overall human mortality and morbidity due to exposure to air pollution,” *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, vol. 29, no. 3, pp. 417–426, Feb. 2016, doi: 10.13075/ijomeh.1896.00560.
- [30] M. Martuzzi, *Health impact of PM<sub>10</sub> and ozone in 13 italian cities*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Europe, 2006.
- [31] E. Fattore *et al.*, “Human health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy,” *Environ. Res.*, vol. 111, no. 8, pp. 1321–1327, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.envres.2011.06.012.
- [32] S. J. Jeong, “The Impact of Air Pollution on Human Health in Suwon City,” *Asian J. Atmospheric Environ.*, vol. 7, no. 4, pp. 227–233, Dec. 2013, doi: 10.5572/ajae.2013.7.4.227.
- [33] K. Naddafi *et al.*, “Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran,” *Iran. J. Environ. Health Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 28, 2012, doi: 10.1186/1735-2746-9-28.
- [34] M. Miri, Z. Derakhshan, A. Allahabadi, and E. Ahmadi, “Mortality and morbidity due to exposure to outdoor air pollution in Mashhad metropolis, Iran. The AirQ model approach,” *Environ. Res.*, vol. 151, pp. 451–457, 2016, doi: 10.1016/j.envres.2016.07.039.

## **Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације**

Из резултата докторске дисертације кандидата Марије Тодоровић објављена су два рада у истакнутим међународним часописима (**M22**):



1. **M.N. Todorović**, M.B. Radenković, S.F. Rajšić, Lj.M. Ignjatović, Evaluation of mortality attributed to air pollution in the three most populated cities in Serbia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **16** (2019) 7059-7070.

<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02384-6>

IF (2019) 2,540 (125/265 Environmental Sciences)

2. **M.N. Todorović**, M.B. Radenković, A.E. Onjia, Lj.M. Ignjatović, Characterization of PM<sub>2.5</sub> sources in a Belgrade suburban area: a multi-scale receptor-oriented approach. *Environmental Science and Pollution Research* ., Online 21 July (2020).

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10129-z>

IF(2019) 3,056 (99/265 Environmental Sciences)

једно саопштење са међународног скупа штампано у целини (**M33**):

1. M. Radenković, **M. Todorović**, J. Marković, A. Onjia, Characterization of the fine air particulate matter fraction by proton induced X-ray emission technique (PIXE), 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 833-836 (2018)

и једно саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (**M64**):

1. **M. Todorovic**, J. Knezevic, M. Radenkovic, Study on mortality due to exposure to PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub> in Belgrade urban area, Tenth Croatian scientific and professional conference with international participation Air protection, Primosten, Croatia, Proceedings, 162-163 (2017).

Кандидат је на оба научна рада првопотписани, а на саопштењима првопотписани и другопотписани аутор.

#### **Д. Провера оригиналности докорске дисертације**

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма „iThenticate“ којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „**Одређивање порекла PM<sub>2.5</sub> фракције аеросола у граничној зони урбаног подручја Београда применом комплементарних статистичких метода**“, дана 15.09.2020, кандидата Марије Тодоровић, констатовано је да подударање текста са другим изворима износи 7%. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, општих места и података, одређених фраза као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, као и њених ранијих истраживања из области физичке хемије животне средине, која су наведена у њеној библиографији. Сматрамо да је овај степен подударности у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду. Комисија сматра да је докторска дисертација Марије Тодоровић у потпуности оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања.

## Б. Закључак комисије

На основу изложеног, може се закључити да резултати кандидата Марије Тодоровић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области Физичка хемија - Контрола и заштита животне средине. Из резултата дисертације кандидата проистекла су два научна рада у истакнутим међународним часописима (М22), саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33) и једно саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (М64). У складу са тим, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију и сматра да кандидат испуњава услове прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факулту за физичку хемију Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад Марије Тодоровић под насловом **„Одређивање порекла PM<sub>2,5</sub> фракције аеросола у граничној зони урбаног подручја Београда применом комплементарних статистичких метода“** прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

### Комисија:

Др Љубиша Игњатовић, редовни професор

Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду, ментор

---

Др Никола Вукелић, редовни професор у пензији

Факултет за физичку хемију, Универзитет у Београду

---

Др Мирјана Раденковић, виши научни сарадник

Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду

---

## Прилог 1. – Комплетна библиографија кандидата

### Поглавља у књизи (M13)

1. M. Tomasevic, Z. Mijic, M. Anicic, A. Stojic, M. Perisic, M. Kuzmanoski, **M. Todorovic** and S. Rajsic (2013) Air Quality Study in Belgrade: Particulate Matter and Volatile Organic Compounds as Threats to Human Health, In: Air Pollution: Sources, Prevention and Health Effects, Editors: Rajat Sethi (Texas A&M Health Science Center (TAMHSC), Bryan, Texas, USA), ISBN: 978-1-62417-735-4

2. A. Stojic, S. Stanisic Stojic, Z. Mijic, L. Ilic., M. Tomasevic, **M. Todorovic** and M. Perisic (2015). Comprehensive Analysis of VOC Emission Sources in Belgrade Urban Area, In: Urban and Built Environments: Sustainable Development, Health Implications and Challenges, Editor: Alexis Cohen, Nova Science Publishers, NY, USA, ISBN: 978-1-62417-735-4, pp. 55-88

### Радови у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **M.N. Todorović**, M.B. Radenković, S.F. Rajšić, Lj.M. Ignjatović, Evaluation of mortality attributed to air pollution in the three most populated cities in Serbia. *Int J Environ Sci Te.* (2019) <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02384-6>

2. **M.N. Todorović**, M.B. Radenković, A.E. Onjia, Lj.M. Ignjatović, Characterization of PM<sub>2.5</sub> sources in a Belgrade suburban area: a multi-scale receptor-oriented approach. *Environ Sci Pollut Res.* (2020) <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10129-z>

### Радови у међународном часопису (M23)

1. M.M. Kuzmanoski, **M.N. Todorović**, M.P. Aničić-Urošević, S.F. Rajšić, Heavy metal content of soil in urban parks of Belgrade. *Hem. Ind.* 68 (2014) 643-651.

2. **M.N. Todorovic**, M.D. Perisic, M.M. Kuzmanoski, A.M. Stojic, A.I. Sostaric, Z.R. Mijic, S.F. Rajsic, Assessment of PM<sub>10</sub> pollution level and required source emission reduction in Belgrade area. *J. Environ. Sci. Health A* 50 (2015) 1351–1359

### Саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33)

1. M. Kuzmanoski, **M. Todorović**, M. Aničić Urošević, S. Rajšić, M. Tasić: XRF analysis of heavy metal content in soil samples using MINIPAL 4 spectrometer, The 11th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 660-6627 (2012).

2. M. Perišić, A. Stojić, Z. Mijić, **M. Todorović**, S. Rajšić, Source apportionment of ambient VOCs in Belgrade semi-urban area, Book of Contributions, 6th International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and Its Application Innsbruck, Austria, Proceedings 204-208 (2013).

3. **M. Todorović**, M. Perišić, M. Kuzmanoski, A. Šoštarić, Health risk assessment of trace metals associated with PM10 in Belgrade district, 4th WeBIOPATR, Belgrade, Proceedings, 205-208 (2013).
4. **M. Todorović**, M. Kuzmanoski, T. Ljubenić, Horizontal distribution of heavy metal concentrations in urban park soil, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 921-924 (2014).
5. M. Perišić, **M. Todorović**, S. Rajšić, Assessing pm10 source emission reduction for air quality compliance in Obrenovac, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 933-936 (2014).
6. **M. Todorović**, M. Perišić, S. Rajšić, Source apportionment study in Belgrade urban area, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 929-932 (2014).
7. M. Radenković, **M. Todorović**, J. Marković, A. Onjia, Characterization of the fine air particulate matter fraction by proton induced X-ray emission technique (PIXE), 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Proceedings, 833-836 (2018)

#### **Саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34)**

1. A. Stojić, M. Perišić, **M. Todorović**, T. Nikitović, A. Jotić, N. Lalić, Z.Lj. Petrović, Application of PTR-MS measurements of volatile organic compounds (VOC) in medical science, Fifteenth annual conference of YUCOMAT, Herceg Novi, Montenegro, Book of abstracts, 68 (2013).
2. M. Kuzmanoski, L. Ilic, **M. Todorovic**, Z. Mijic, A study of a dust intrusion event over Belgrade, Serbia, 6th WeBIOPATR, Belgrade, Serbia, Book of abstracts, 36 (2017)
3. M. Radenkovic, **M. Todorovic**, M. Rajacic, S. Stankovic, Correlation between airborne radionuclides and selected trace elements in suburban environment, Serbia, 8th RAD - International conference on radiation in various fields of research, Book of abstracts, 39 (2020).

#### **Саопштења са скупа националног значаја штампана у целини (M63)**

1. M. Perisic, A. Stojic, **M. Todorovic**, Z. Mijic, S. Rajšic, Analiza dinamike i transporta CO, NOx i SO<sub>2</sub> u urbanoj sredini Beograda, XII Kongres fizicara Srbije, Vrnjacka Banja, Zbornik radova, 444-448 (2013).
2. A. Stojic, M. Perisic, Z. Mijic, **M. Todorovic**, S. Rajšic, Odredjivanje izvora emisije isparljivih organskih jedinjenja u Beogradu, XII Kongres fizicara Srbije, Vrnjacka Banja, Zbornik radova, 453-457 (2013).

**Саопштења са скупа националног значаја штампана у изводу (M64)**

1. **M. Todorović**, M. Perišić, A. Stojić, S. Rajšić, Concentrations trend of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> during the 2011 in Belgrade urban area, The 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Vršac, Book of abstracts, 320-321 (2013).
2. M. Perišić, **M. Todorović**, A. Stojić, M. Kuzmanoski, S. Rajšić, Health risk assessment of VOCs in Belgrade semi-urban area, The 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Vršac, Book of abstracts, 378-379 (2013).
3. **M. Todorović**, M. Kuzmanoski, M. A. Urošević, T. Ljubenović, S. Rajšić, M. Tasić, Heavy metal content in Belgrade urban parks, The 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Vršac, Book of abstracts, 322-323 (2013).
4. M. Perišić, **M. Todorović**, A. Šoštaric, S. Rajšić, Health risk assessment of urban suspended particulate matter, The 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Palić, Book of abstracts, 350-351 (2015).
5. A. Stojic, S. Stanišić Stojic, A. Šoštaric, Z. Mijic, **M. Todorovic**, Contribution of transported pollution to traffic-related VOC concentrations in Belgrade urban area, The 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Palić, Book of abstracts, 167-168 (2015).
6. **M. Todorovic**, M. Perišić, A. Šoštaric, S. Rajšić, Spatio-temporal distribution of particulate matter pollution in Ovca, The 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection, Palić, Book of abstracts, 165-166 (2015).
7. **M. Todorovic**, J. Knezevic, M. Radenkovic, Study on mortality due to exposure to PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, and SO<sub>2</sub> in Belgrade urban area, Tenth Croatian scientific and professional conference with international participation Air protection, Primosten, Croatia, Proceedings, 162-163 (2017).