

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На седници Наставно-научног већа Хемијског факултета Универзитета у Београду, одржаној 14. маја 2015. године, изабрани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Гордане Вуковић, мастер хемичара, под насловом:

„Биомониторинг загађености ваздуха градске средине суспендованим честицама, елементима у траговима и полицикличним ароматичним угљоводоницима коришћењем маховина *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Hypnum cupressiforme* Hedw.“

„Biomonitoring of urban air pollution (particulate matter, trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons) using mosses *Sphagnum girgensohnii* Russow and *Hypnum cupressiforme* Hedw.“

Након прегледања докторске дисертације кандидата Гордане Вуковић, задовољство нам је да поднесемо Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду следећи

ИЗВЕШТАЈ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

А) Приказ садржаја докторске дисертације

Докторска дисертација Гордане Вуковић изложена је на 138 страни куцаног текста. Дисертација је написана на енглеском језику и подељена на шест поглавља (Увод, Теоријски део, Материјали и методе, Резултати и дискусија, Закључак, Литература и Прилог; енг. Introduction, Theoretical part, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusion, References и Appendix). Такође, дисертација садржи резиме на енглеском и српском језику, 31 табела, 32 слике, као и 188 литературних навода, од чега је 60% објављено у последњих 10 година, а 45% у последњих 5 година.

У Уводу (3 стране) кандидат је укратко описао област истраживања и тему свог рада.

У Теоријском делу (25 страна) кандидат је истакао значај проучавања и примене биомониторинга загађујућих супстанци у ваздуху коришћењем маховина и навео

компаративне предности маховина над осталим биљним врстама које се користе као биомонитори. Такође, у овом делу је дефинисан активни биомониторинг загађујућих супстанци у ваздуху употребом маховина и назначене су предности ове методе у односу на стандардизована инструментална мерења истих. У теоријском делу је дат исцрпан преглед до сада спроведених истраживања коришћењем врећица с маховином у различитим срединама за процену нивоа различитих органских и неорганских загађујућих супстанци у ваздуху. На крају, дате су дефиниције, као и значај примене магнетних мерења (одређених магнетних параметара као што је енгл. Saturation Isothermal Remanent Magnetization, SIRM) у биомониторингу коришћењем маховина.

У поглављу Материјал и методе (изложеном на 21 страни) дат је детаљан опис узорковања маховина *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Hypnum cupressiforme* Hedw. са изходних станишта, паковања маховина у врећице и излагања на репрезентативним мерним местима у Београду кроз шест различитих експерименталних поставки. Потом је дат преглед и опис примењених физичких (магнетна мерења – SIRM) и хемијских метода (ICP-OES, ICP-MS и GC-MS) за одређивање суспендованих честица, елемената у траговима и полицикличних ароматичних угљоводоника (РАН). Након описа припреме узорка маховина за анализу, наведени су услови под којима су анализе рађене, као и мере преузете ради контроле квалитета, спроведене као провера поузданости урађених анализа. Такође, описана је статистичка обрада података добијених мерењем концентрација загађујућих супстанци у узорцима маховина.

У поглављу Резултати и дискусија (изложеном на 55 страна) приказани су, табеларно и графички, резултати магнетних мерења и хемијске анализе узорка маховина *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme*, тј. садржај магнетних честица, елемената у траговима и РАН-ова након периода излагања у шест експерименталних поставки у ваздуху градске средине. У првом делу овог поглавља, на основу резултата добијених у експериментима спроведеним у улицама кањонског типа, градском тунелу и јавним гаражама (Експерименти 1-3), дискутовани су и дефинисани битни параметри примене активног биомониторинга у условима градске средине, као што је нпр. оптимална висина и период излагања врећица с маховином. Такође, упоређене су концентрације елемената мерених у маховинама и суспендованим честицама (PM₁₀) узоркованим референтним уређајима. Дискусија резултата обухватила је и дефинисање могућности и услове коришћења две врсте маховина *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme* у биомониторингу загађености ваздуха градске средине елементима у траговима и РАН-овима (Експеримент 4). Дат је увид у могућности коришћења биомагнетних својстава маховина као индикатора честичног загађења ваздуха. Такође, у овом поглављу дискутована је осетљивост маховина у врећици на сезонску промену концентрација елемената у траговима и РАН-ова у ваздуху у зависности од доминантних извора загађења (Експеримент 5). На основу резултата активног биомониторинга спроведеног на прометним раскрсницама, двосмерним и једносмерним улицама истакнути су елементи у траговима који се могу сматрати поузданим индикаторима емисија пореклом из саобраћаја (Експеримент 6).

У Закључку (изложеном на 4 стране) кандидат је на основу резултата, детаљно анализираних и продискутованих, изложио најзначајније резултате.

У Прилогу (16 страна) су дате табеле са резултатима контроле квалитета хемијске анализе, као и одговарајућим границама детекције и квантификације примењиваних аналитичких метода (ICP-OES и ICP-MS) у различитим експерименталним поставкама. Такође, дати су графици који описују оптимизацију магнетних мерења SIRM параметра. У Прилогу су дате и табеле са измереним концентрацијама одређиваних елемената у узорцима маховине *S. girgensohnii* излагане у улицама кањонског типа, градском тунелу и јавним гаражама, као и корелациони коефицијенти израчунати за измерене концентрације елемената у овим експериментима.

Б) Кратак опис постигнутих резултата

У докторској дисертацији Гордане Вуковић, активни биомониторинг загађености ваздуха суспендованим честицама, елементима у траговима и полицикличним ароматичним угљоводоницима коришћењем маховина *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Hypnum cupressiforme* Hedw., је примењен равномерно на територији Београда. Спроведено је шест различитих експерименталних поставки с циљем испитивања неколико кључних корака у практичној примени методе „врећица с маховином“ у ваздуху градске средине. У свим експериментима, маховине у врећици су излагане атмосферској депозицији током 10 недеља у градској средини Београда. Након излагања, а са циљем одређивања суспендованих честица, елемената у траговима и РАН-ова, узорци маховина су анализирани различитим физичким (мерења магнетних параметара - Saturation Isothermal Remanent Magnetisation, SIRM) и хемијским методама (ICP-OES, ICP-MS и GC-MS).

Закључено је да је маховина *S. girgensohnii* изложена у врећици осетљива на промене у вертикалној и хоризонталној дистрибуцији елемената у траговима на малим растојањима у ваздуху градске средине. Од три тестиране висине (4, 8 и 16 m), као оптимална висина за излагање врећица с маховином у градској средини препоручена је висина од 4 m. Ова маховина изложена у врећици у затвореном простору, као што су јавне гараже, ограничено усваја елементе у траговима услед одсуства директне атмосферске депозиције. Препоручено је да се даља истраживања усмере на разјашњавање услова под којима се врећице с маховином излажу у затвореном простору и да се дефинишу параметари излагања, као што су висина и период излагања, ради стварања могућности за поређење резултата. Закључено је и да се маховина *S. girgensohnii* може ефикасно примењивати у биомагнетном мониторингу честичног загађења мерењем SIRM параметра.

Поређењем резултата добијених излагањем маховина *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme* на 153 мерна места у Београду дошло се до сазнања да је значајно веће обогаћење свим мереним загађујућим супстанцама (честицама, елементима у траговима и РАН-овима) нађено у маховини *S. girgensohnii*. На основу резултата примењене линеарне регресије (тип II), само за Cu је утврђена значајна зависност између

концентрација измерених у две испитиване врсте маховина што значи да се само за праћење концентрације овог елемента у ваздуху две тестиране врсте маховина могу компаративно користити. Према нивоу обogaћења загађујућим супстанцама обе врсте испитиваних маховина, *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme*, извршено је зонирање града и утврђене су зоне са високим, умереним и ниским нивоом загађености ваздуха, а места са веома повишеним нивоом загађујућих супстанци су издвојена у зонама у којима се иначе не спроводи инструментални мониторинг.

Излагањем врећица с маховином у летњем и зимском периоду, утврђена је осетљивост маховине *S. girgensohnii* на сезонске промене концентрација свих испитиваних загађујућих супстанци. Таким зимама су нарочито повећане концентрације РАН-ова, Sb, Cu, V, Ni и Zn чиме се даљинско грејање из топлана, али и индивидуална ложишта, истичу као значајни загађивачи ваздуха овим загађујућим супстанцама.

У експерименталној поставци у којој су маховине *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme* излагане на 48 прометних саобраћајница у Београду, утврђен је значајан пад концентрације већине испитиваних елемената од раскрсница преко двосмерних ка једносмерним улицама. Значајна корелација ($r > 0.70$) између концентрација Cr, Cu, Fe и Sb код обе врсте испитиваних маховина и измереног протока возила на мерним местима, чини ове елементе поузданим индикаторима емисија пореклом из саобраћаја. Такође, у условима повећане загађености ваздуха пореклом из саобраћаја значајна линеарна зависност ($r^2 \geq 0.65$) је добијена између концентрација Sb, Cr и Cu.

Из свега претходно наведеног може се закључити да су маховине *S. girgensohnii* и *H. cupressiforme* подесне за активни биомониторинг загађености ваздуха суспендованим честицама, елементима у траговима и РАН-овима. Метода врећица с маховином се може предложити као подесна за оптимизацију позиција постојећих мониторинг станица. Такође, мерења магнетних параметара се истичу као ефикасан корак за процену загађености ваздуха честицама, а који би претходио скупљим и временски захтевнијим хемијским анализама.

В) Упоредна анализа резултата приказаних у дисертацији са већ постојећим резултатима доступним из литературе

Мерење и праћење параметара квалитета ваздуха у градској средини представља обавезу дефинисану међународним и домаћим законодавством. Постављање мониторинг мреже са задовољавајућом просторном резолуцијом мерних места ограничено је високом ценом потребних инструмената, као и њиховог одржавања. Стога се активни биомониторинг коришћењем маховина дужи низ година испитује као метода која би била комплементарна стандардизованим инструменталним мерењима загађујућих супстанци у ваздуху. У градским срединама, где природно-растуће маховине углавном одсуствују, развијена је метода примене „врећица с маховином“ у активном биомониторингу која има за циљ препознавање области са повећаним присуством загађујућих супстанци у маховини, као последице повећаног садржаја те

супстанце у ваздуху. До сада су у примени ове методе испитивани утицаји избора одговарајуће врсте маховине, начина припреме врећица и примене одговарајућих третмана пре и након излагања врећица с маховином на добијени резултат. Међутим, сама метода захтева даљу валидацију у реалним условима, односно у градској средини.

У овој дисертацији је предложена оптимална висина излагања маховина у врећици у условима градске средине како би се обезбедило добијање репрезентативних резултата концентрација испитиваних супстанци. Такође, у једном од спроведених експеримената, упоређивани су подаци који се добијају применом врећица с маховином са подацима добијеним референтим уређајима за узорковање честица. У дисертацији су по први пут спроведена мерења магнетних параметара маховина излаганих у градској средини, чиме је утврђено да се врећице с маховином могу поуздано користити у биомагнетном мониторингу ваздуха суспендованим честицама. Биомагнетни мониторинг је истакнут као ефикасна метода за испитивање загађености ваздуха, која може претходити временски захтевнијим и скупљим хемијским анализама. Пошто је један од основних критеријума приликом одабира биомониторске врсте њено присуство односно одсуство у испитиваној области, у овој дисертацији су упоређене две врсте маховина, најпрепоручљивија биомониторска врста (*S. girgensohnii*) и најдоступнија врста у Србији (*H. cupressiforme*). Ове врсте су излагане на 153 мерна места чиме се по први пут обезбедила довољно велика база података за статистички задовољавајуће поређење две врсте маховина у активном биомониторингу применом методе „врећице с маховином“. Кроз испитивање сезонске динамике загађујућих супстанци, у овој дисертацији је по први пут утврђена и осетљивост маховина у врећици на сезонске промене РАН-ова, што се може сматрати значајним искорак у овој области.

Прави доказ о актуелности проучаване проблематике представља чињеница да је на основу резултата и закључака до којих је кандидат дошао у овој докторској дисертацији публиковано пет научних радова. Сви радови су објављени у часописима који припадају категорији врхунских међународних часописа у овој истраживачкој области (M₂₁). Још један, у поглављу Г ненаведени рукопис, је проистекао из дисертације и недавно је послат на рецензију, такође у врхунски међународни часопис.

Г) Објављени радови и саопштења који чине део тезе

Радови објављени у врхунским часописима међународног значаја (M₂₁):

1. Vuković G., Aničić Urošević M., Goryainova Z., Pergal M., Škrivanj S., Samson R., Popović A. (2015): Active moss biomonitoring for extensive screening of urban air pollution: Magnetic and chemical analyses, Science of the Total Environment 521–522:200–210.

2. Vuković G., Aničić Urošević M., Tomašević M., Samson R., Popović A. (2015): Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (*Sphagnum girgensohnii*), *Ecological Indicators* 52:40–47.

3. Vuković G., Aničić Urošević M., Razumenić I., Kuzmanoski M., Pergal M., Škrivanj S., Popović A. (2014): Air quality in urban parking garages (PM10, major and trace elements, PAHs): Instrumental measurements vs. Active moss biomonitoring, *Atmospheric Environment* 85:31–40.

4. Vuković G., Aničić Urošević M., Razumenić I., Goryainova Z., Frontasyeva M., Tomašević M., Popović A. (2013): Active moss biomonitoring of small-scale spatial distribution of airborne major and trace elements in the Belgrade urban area, *Environmental Science and Pollution Research* 20:5461–5470.

5. Vuković G., Aničić Urošević M., Pergal M., Janković M., Goryainova Z., Tomašević M., Popović A. (2015): Residential heating contribution to persistent air pollutants (PAHs, major, trace and rare earth elements): A moss bag case study, *Environmental Science and Pollution Research*, рад је прихваћен за објављивање (doi 10.1007/s11356-015-5096-0).

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини (M33):

1. G. Vuković, M. Aničić Urošević, M. Kuzmanoski, M. Tomašević, M. Pergal, A. Popović (2013): *Health Risk Assessment of Pollutants (PAHs and Heavy Metals) Associated with PM10 in Urban Parking Garages (oral presentation)*, 4th International WeBIOPATR Workshop & Conference, October 2-4, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, p. 38, <http://www.vin.bg.ac.rs/webiopatr/>

Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у изводу(M34):

1. Vuković G., Aničić Urošević M., Tomašević M., Samson R., Popović A. (2015): *Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (Sphagnum girgensohnii) (oral presentation)*, 7th International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution (BIOMAP 7), June 14-19, Lisbon, Portugal, Book of abstracts, pp. 63, <http://www.biomap.ctn.ist.utl.pt/index.html>

2. Vuković G., Aničić Urošević M., Škrivanj S., Tomašević M., Popović A. (2015): *Moss-bag biomonitoring for screening urban air pollution: An extensive case study for Belgrade (oral presentation)*, 7th Symposium Chemistry and Environmental Protection, June 9-12, Palić, Serbia, Book of abstracts, pp. 73-74, http://www.envirochem.rs/res/EC2015_Book_of_Abstracts.pdf

3. Vuković G., Aničić Urošević M., Milićević T., Tomašević M., Škrivanj S., Popović A. (2015): *Moss-bag biomonitoring of small-scale decline in toxic element content: crossroad, two- and one-lane street study* (poster presentation), 7th Symposium Chemistry and

Environmental Protection, June 9-12, Palić, Serbia, Book of abstracts, pp. 192-193, http://www.envirochem.rs/res/EC2015_Book_of_Abstracts.pdf

4. Vuković G., Aničić Urošević M., Kuzmanoski M., Tomašević M., Pergal M., Popović A. (2013): *Health risk assessment of pollutants (PAHs and heavy metals) associated with PM10 in urban parking garages (oral presentation)*, 4th International WeBIOPATR Workshop & Conference, October 2-4, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, p. 38, <http://www.vin.bg.ac.rs/webiopatr/>

5. Vuković G., Aničić Urošević M., Tomašević M., Razumenić I., Škrivanj S., Popović A. (2013): *Air quality in urban parking garages: Instrumental monitoring vs active moss biomonitoring (poster presentation)*, 6th Symposium Chemistry and Environmental Protection EnviroChem, May 21-24, Vršac, Serbia, Book of Abstracts, pp. 136-137, http://www.envirochem2013.com/res/EC2013_Book_of_abstracts.pdf

Д) Закључак

Комисија је прегледала докторску дисертацију кандидата Гордане Вуковић под насловом „Биомониторинг загађености ваздуха градске средине суспендованим честицама, елементима у траговима и полицикличним ароматичним угљоводонцима коришћењем маховина *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Hypnum cupressiforme* Hedw.“ („Biomonitoring of urban air pollution (particulate matter, trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons) using mosses *Sphagnum girgensohnii* Russow and *Hypnum cupressiforme* Hedw.“) и закључила да је ова дисертација резултат самосталног рада кандидата и да је кандидат у докторској дисертацији дошао до резултата који представљају значајан и оригиналан научни допринос у области истраживања биомониторинга загађујућих супстанци у ваздуху.

На основу добијених резултата је по први пут у потписницима реферата доступној литератури утврђено да се врећице с маховином могу поуздано користити у биомагнетном мониторингу суспендованих честица у ваздуху градских средина. Имајући у виду да до сада није испитивана примена врећица с маховином за праћење сезонске динамике РАН-ова у ваздуху, добијени резултати представљају значајан допринос у биомониторингу органских загађујућих супстанци у ваздуху. У овој дисертацији, активни биомониторинг коришћењем маховина је по први пут спроведен на великом броју мерних места (153) у градској средини, чиме је омогућена статистички веродостојна анализа резултата, а што такође представља значајну новину у научној литератури. Примењени активни биомониторинг је указао на места са повишеним нивоом загађујућих супстанци у ваздуху Београда и то у зонама у којима се не спроводи инструментални мониторинг.

Из докторске дисертације Гордане Вуковић објављено или прихваћено за објављивање пет научних радова у часописима који припадају категорији врхунских међународних часописа у овој истраживачкој области (M₂₁).

На основу свега наведеног, Комисија сматра да су испуњени сви услови да се рад Гордане Вуковић, мастер хемичара, под насловом „Биомониторинг загађености ваздуха градске средине суспендованим честицама, елементима у траговима и

полицикличним ароматичним угљоводоницима коришћењем маховина *Sphagnum girgensohnii* Russow и *Hypnum cupressiforme* Hedw.“ („Biomonitoring of urban air pollution (particulate matter, trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons) using mosses *Sphagnum girgensohnii* Russow and *Hypnum cupressiforme* Hedw.“) прихвати као докторска дисертација, па стога предлажемо Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду да прихвати поднету докторску дисертацију и одобри њену одбрану.

У Београду, 18. јула 2015.

Чланови комисије:

Др Александар Поповић, редовни професор,
Хемијски факултет Универзитета у Београду,
ментор

Др Мира Аничич Урошевић, научни сарадник,
Институт за физику Универзитета у Београду
ментор

Др Милица Томашевић, виши научни сарадник,
Институт за физику Универзитета у Београду

Др Иван Гржетић, редовни професор,
Хемијски факултет Универзитета у Београду

Др Руланд Самсон, редовни професор,
Факултет природних наука Универзитета у Антверпену, Белгија
(Dr. ir. Roeland Samson, professor
Faculty of Sciences, University of Antwerp, Belgium)