

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Александра Ђукића, дипл. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 347/10-12 од 08.07.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Александра Ђукића, дипл. инж. грађ. под насловом

**МОДЕЛИРАЊЕ ЕМИСИЈЕ ЗАГАЂЕЊА КИШНОГ ОТИЦАЈА СА УРБАНИХ СЛИВОВА**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Александра Ђукића, дипл. инж. грађ., пријављена је 21.11.2012. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду под насловом „Моделирање емисије загађења кишног отицаја са урбаних сливова“. На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 29.11.2012. године именована је Комисија за писање извештаја о оцени подобности теме и кандидата (одлука 347/3 од 29.11.2012.). Позитиван извештај Комисије за пријем теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 27.12.2012. године (одлука 347/5-12 од 27.12.2012.). За ментора је именована доц. др Бранислава Лекић, дипл. инж. грађ. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду, а за ко-ментора проф. др Душан Продановић дипл. инж. грађ. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 09.04.2013. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата мр Александра Ђукића, дипл. инж. грађ. (одлука 61206-264/2-13 од 09.04.2013.).

1.2. Научна област дисертације

Тема дисертације је из научног поља техничко-технолошких наука. Научна област је Грађевинарство, а уже научне области су Комунално и санитарно инжењерство и Еколошко инжењерство, за које је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

Ментор је доц. др Бранислава Лекић, дипл. инж. грађ. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Именовани ментор испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду, а референце су као што следи:

### **M21 – Радови у врхунским међународним часописима**

1. A.Đukić, **B.Lekić**, V. Rajaković-Ognjanović, Đ.Veljović, T.Vulić, M.Đolić, Z.Naunović, J.Despotović, D.Prodanović, Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff, *J. Environ. Manage.* 168 (2016) 104-110.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.035>.
2. Dana D. Marković, **Branislava M. Lekić**, Vladana N. Rajaković-Ognjanović, Antonije E. Onjia, Ljubinka V. Rajaković, A New Approach in Regression Analysis for Modeling Adsorption Isotherms, *Sci. World.J.*, Volume 2014, Article ID 930879,  
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/930879>.
3. **B.M. Jovanović**, Lj.V. Rajaković, New approach: waste materials as sorbents for arsenic removal from water, *J. Environ. Eng.-ASCE*. 136 (2010) 1277-1286.
4. N.B.Issa, V.N.Rajaković-Ognjanović, **B.M.Jovanović**, Lj.V.Rajaković, Determination of Inorganic Arsenic Species in Natural Waters-Benefits of Separation and Preconcentration on Ion Exchange and Hybrid Resins, *Anal. Chim. Acta*, 673 (2010) 185-193.

### **M23 – Радови у часописима међународног значаја**

5. Rajakovic-Ognjanovic Vladana N, **Jovanovic Branislava M**, Zivojinovic Dragana Z, Rajakovic Ljubinka V, Challenging Analytical Task: Analysis and Monitoring of Arsenic Species in Water, *Environmental Engineering and Management Journal*, (2014), vol. 13 br. 9, str. 2275-2282.
6. **Branislava Lekic**, Dana Markovic, Vladana Rajakovic-Ognjanovic, Aleksandar Đukic, and Ljubinka Rajakovic, Arsenic removal from water using industrial by-products, *Journal of Chemistry*, Volume 2013, Article ID 121024, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/121024>.
7. Vesna L. Vukašinović-Pešić, Vladana N. Rajaković-Ognjanović, Nada Z. Blagojević, Veselinka V. Grudić, **Branislava M. Jovanović**, Ljubinka V. Rajaković, Enhanced arsenic removal from water by activated red mud based on hydrated iron(III) and titan(IV) oxides, *Chem. Eng. Comm.*, 199:7 (2012), 849-864.
8. **B.M. Jovanović**, V.L. Vukašinović-Pešić, Đ.N. Veljović, Lj.V. Rajaković, Low-cost arsenic removal from water using adsorbents – a comparative study, *J. Serb. Chem. Soc.* 76 (10) 1437–1452 (2011).
9. **B.M. Jovanović**, V.L. Vukašinović-Pešić, Lj.V. Rajaković, Enhanced arsenic sorption by hydrated iron(III) oxide coated materials – mechanism and performances, *Water. Environ. Res.* 83(2011) 498-506.

Ко-ментор је проф. др Душан Продановић дипл. инж. грађ. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Именовани ко-ментор испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду, а референце су као што следи:

### **Радови у врхунским међународним часописима са SCI листе (M21)**

1. A.Đukić, B.Lekić, V. Rajaković-Ognjanović, Đ.Veljović, T.Vulić, M.Đolić, Z.Naunović, J.Despotović, **D.Prodanović**, Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff, *J. Environ. Manage.* 168 (2016) 104-110.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.035>.
2. Leitao J., **D. Prodanović**, S. Boonya-Aroonnet, Č. Maksimović: Enhanced DEM-based flow path delineation methods for urban flood modelling. *Journal of Hydroinformatics*. Paper accepted for publication DOI: 10.2166/hydro.2012.0175 (October 2012.)
3. Branisavljević N., Z. Kapelan, **D. Prodanović**: Improved Real-time Data Anomaly Detection using Context Classification. *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 13, No. 3, pages: 307-323, 2011.
4. Makropoulos C., Č. Maksimović, M. Stanić, **D. Prodanović**, S. Đorđević, D. Koutsogiannis, T. Dašić, S. Prohaska, H. Wheater: A multi-model approach to the simulation of large scale karst flows. *Journal of Hydrology*, Vol. 348, No. 3-4, Pages: 412-424, 2008.
5. Đorđević S., **D. Prodanović**, G.A. Walters: Simulation of Transcritical Flow in Pipe/Channel Networks. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, Vol. 130, No. 12, 2004. Đorđević S., **D. Prodanović**, Č. Maksimović: An Approach to Simulation of Dual Drainage. *Water Science and Technology*, Vol. 39, No. 9, 1999.

### Рад у истакнутом међународном часопису са SCI листе (M22)

6. Maksimović Č., **D. Prodanović**, S. Boonya-aroonnet, J. Leitao, S. Djordjević, R. Allitt: Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding. *Journal of Hydraulic Research (JHR)*, Vol. 47, No. 4, Pages: 512-523, 2009.

### Рад у међународном часопису (M23)

7. Pešić B., **D. Prodanović**, S. Kotri: An Application of Personal Computer for Acquisition and Evaluation of Electroencephalographic Signals. *Acta Physiologica et Pharmacologica*, 1994.
8. Fuchs L., Č. Maksimović, **D. Prodanović**, J. Elgy: Anwendung geographischer Informationssysteme bei der Kanalnetzberechnung (Use of Geographic Information Systems in Urban Sewer Simulation). *Korrespondenz Abwasser*, Vol. 41, No. 10, Pages: 1766-1773, 1994.
9. Đorđević S., **D. Prodanović**, Č. Maksimović, M. Ivetić, D. Savić: SIPSON - Simulation of Interaction between Pipe flow and Surface Overland flow in Networks. *Water Science and Technology*, Vol. 52, No. 5, Pages: 275-283, 2005.
10. Leitao J., S. Boonya-aroonne, **D. Prodanović**, Č. Maksimović: The influence of digital elevation model resolution on overland flow networks for modelling urban pluvial flooding. *Water Science and Technology*, Vol. 60, No. 12, Pages: 3137-3149, 2009.
11. Branisavljević N., **D. Prodanović**, M. Ivetić: Uncertainty reduction in water distribution network modelling using system inflow data. *Urban Water Journal*, Vol. 6, No. 1, Pages: 69-79, 2009.
12. Stipić M., **D. Prodanović**, S. Kolaković: Rationalization And Reliability Improvement Of Fire Fighting Systems - Novi Sad Study Case. *Urban Water Journal*, Vol. 6, No. 2, Pages 169-181, 2009.
13. Simić Z., N. Milivojević, **D. Prodanović**, V. Milivojević, N. Perović: SWAT Based Runoff Modeling in Complex Catchment Areas - Theoretical Background and Numerical Procedures. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Special Issue dedicated to: Modelling, Simulation and Optimization Methods in Hydropower Systems Management Design*. Edited by M. Kojić, Vol. 3, No. 1, Pages: 38-63, 2009.
14. **Prodanović D.**, M. Stanić, V. Milivojević, Z. Simić, M. Arsić: DEM-Based GIS Algorithms for Automatic Creation of Hydrological Models Data. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Special Issue dedicated to: Modelling, Simulation and Optimization Methods in Hydropower Systems Management Design*. Edited by M. Kojić, Vol. 3, No. 1, Pages: 64-85, 2009.
15. **Prodanović D.**, M. Stanić, N. Milivojević, Z. Simić, B. Stojanović: Modified Rainfall-Runoff Model for Bifurcations Caused by Channels Embedded in Catchments. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Special Issue dedicated to: Modelling, Simulation and Optimization Methods in Hydropower Systems Management Design*. Edited by M. Kojić, Vol. 3, No. 1, Pages: 111-126, 2009.
16. Branisavljević N., **D. Prodanović**, M. Arsić, Z. Simić, J. Borota: Hydro-Meteorological Data Quality Assurance and Improvement. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Special Issue dedicated to: Modelling, Simulation and Optimization Methods in Hydropower Systems Management Design*. Edited by M. Kojić, Vol. 3, No. 1, Pages: 228-249, 2009.
17. Branisavljević N., **D. Prodanović**, D. Pavlović: Automatic, semi-automatic and manual validation of urban drainage data. *Water Science and Technology*, Vol. 62, No. 5, Pages: 1013-1021, 2010
18. Leitao J., N. Simoes, Č. Maksimović, F. Ferreira, **D. Prodanović**, J. Matos, A. Marques: Real-time forecasting urban drainage models: full or simplified networks? *Water Science and Technology*, Vol. 62, No. 9, Pages: 2106-2114, 2010.
19. Todorović B., G. Tsakiris, **D. Prodanović**: A Pilot Initiative for Improved Urban Demand Estimation based on Stochastic Analysis of Water Consumption. *Water Utility Journal*, Vol. 1, No. 1, Pages: 19-29, 2011.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Александар Ђукић је рођен 27. марта 1965. године у Београду, где је завршио основну и средњу школу. Грађевински факултет Универзитета у Београду уписао је 1984. године, а студије

започиње школске 1985/86. године, након одслужења војног рока. Дипломирао је 27. септембра 1990. године на Одсеку за хидротехнику, а на истом факултету и одсеку је 6. фебруара 1997. године одбранио магистарску тезу под насловом „Анализа ефеката хиполимнетичке аерације на промену квалитета воде у акумулацији“.

Од јануара 1991. до јуна 1993. радио је у Институту за водопривреду „Јарослав Черни“. Од јула 1993. године до новембра 2013. године био је запослен на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, прво као асистент приправник на групи предмета Комунална хидротехника а од 1997. као асистент за ужу научну област комунално и санитарно инжењерство. Од новембра 2013. године запослен је у Институту за водопривреду „Јарослав Черни“ из Београда, као водећи истраживач у Заводу за водоснабдевање, каналисање и заштиту вода и шеф Одсека за водоснабдевање.

Аутор и коаутор је три рада у часописима са СЦИ листе и преко педесет радова у домаћим часописима, на међународним и домаћим конференцијама. Коаутор је две домаће монографије и осам поглавља у домаћим и иностраним монографијама. Учествовао је у укупно седам научно-истраживачких пројеката финансираних од стране Министарства науке Републике Србије.

Активан је члан неколико домаћих и интернационалних удружења: Српског друштва за заштиту вода, Београд (организациони секретар од 1996. године и уредник укупно 15 зборника радова са годишњих конференција од 2001. год), Савеза грађевинских инжењера Србије, Београд (технички уредник укупно 20 монографских издања Савеза од 2001. год.), European Water Association – EWA, Немачка (члан Савета асоцијације од 2006. год.).

Члан је Инжењерске коморе Србије. Учествовао је као консултант, пројектант или надзор у реализацији већег броја студија и пројеката комуналне хидротехничке инфраструктуре у Србији, региону и на Блиском истоку.

Говори, чита и пише енглески језик.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Моделирање емисије загађења кишног отицаја са урбаних сливова“ написана је на српском језику и садржи 6 поглавља:

1. Увод
2. Преглед сазнања из области истраживања
3. Експериментални део
4. Моделирање отицаја и емисије загађења
5. Резултати и дискусија
6. Закључци

Дисертација садржи и резиме (на српском и на енглеском језику), списак коришћене литературе, прилоге и биографију кандидата. Текст дисертације је написан на 154 стране. Дисертација садржи 58 слика и 40 табела. Списак литературе има 82 наслова.

Структура дисертације и текст су у потпуности обликовани према упутству Сената Универзитета у Београду од 14.12.2012. године, и према посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом, уводном, поглављу** је укратко представљен предмет истраживања, а то су процеси акумулисања загађења на непропусним површинама урбаних сливова, њихово покретање и спирање отицајем током падавина. У наставку је постављен циљ, дефинисани задаци истраживања и постављене су основне хипотезе:

- акумулисање загађења на урбаним непропусним површинама зависи од метеоролошких фактора, физичких карактеристика површине и особина загађујуће материје, при чему ће конкретне зависности између појединих величина, које одговарају локалним специфичностима, бити испитане у дисертацији;
- процеси покретања и транспорта загађења по урбаној непропусној површини се могу моделирати коришћењем fine дискретизације простора и решавањем једначина динамичког таласа.

**Друго поглавље** дисертације садржи преглед сазнања из области истраживања објављен у савременој светској и домаћој литератури, који је закључен критичким освртом и идентификацијом главних непознаница о теми истраживања. У оквиру одељка о количинама и пореклу загађења на урбаним површинама описана су постојећа сазнања о процесима акумулисања, покретања и транспорта загађења. Дат је преглед обављених истраживања и метода испитивања акумулисања загађења на непропусним површинама и спирања загађења. У одељку о квалитету отицаја са урбаних површина дат је преглед процеса у водама који утичу на квалитет отицаја и преглед истраживања о количинама и концентрацији загађења у отицају, укључујући и динамику спирања загађења током кишних догађаја. У одељку о захтевима у погледу заштите водних ресурса од загађења из урбаног отицаја дат је кратак приказ регулативе у САД, Европској Унији и Републици Србији. Констатовано је да у Републици Србији област заштите водних ресурса од загађења отицајем са урбаних површина није уређена. На крају другог поглавља, у одељку о критичком осврту на савремена истраживања, изведено је неколико битних запажања:

- У досадашњим истраживањима коришћено је више различитих метода узорковања материјала са површине, различите ефикасности, при чему изабрана метода директно утиче на добијене резултате.
- Раздвајање чврсте и течне фазе параметара квалитета у отицају је од изузетне важности у погледу отицаја који ови параметри имају на водопријемнике и животну средину. У објављеним радовима који се баве овом проблематиком, често се полази од претпоставке да је процес адсорпције или јонске измене одговоран за добро раздвајање чврсте и течне фазе различитих параметара, нарочито тешких метала, без довољно испитивања природе и састава чврстих честица у отицају.
- За моделирање отицаја и транспорта загађења отицајем, углавном се користи метода кинематског таласа. Ово је оправдано код површина правилног облика са уједначеним и благо променљивим нагибима као што су саобраћајнице. Међутим код анализа реалних урбаних сливова неправилног облика са неуједначеним нагибима, могућностима локалног задржавања воде, контранагибима и више излива воде, за прорачуне покретања воде и

загађења, течења и евентуалног исталожавања загађења у отицају, боље је користити методу динамичког таласа, при чему и степен просторне дискретизације треба да буде прилагођен анализираном проблему.

- Највећи број објављених радова из ове области посвећен је анализи података о квалитету отицаја са саобраћајница и урбаних сливова, статистичкој обради података мерења, формирању и тестирању емпиријских релација или стохастичких модела који описују појаве од значаја за ову проблематику и анализу неодређености. Како се ове методе углавном не заснивају на физичким законитостима, резултате ових истраживања није препоручљиво применити на друге сливове без претходне анализе и калибрације.

**Треће поглавље** дисертације садржи детаљан опис спроведених експерименталних процедура и метода у оквиру дисертације. Детаљно су описане методе захватања узорака са непропусних површина асфалта, бетона и камена експерименталног слива на Грађевинском факултету у Београду. Примењена је метода мокрог усисавања, што је најефикаснија метода за сакупљање финих честица са непропусних површина које могу садржати значајне количине загађења. У оквиру истраживања спроведено је укупно четири серије узорковања материјала са непропусних површина у 2012. и 2013. години (Серије 1, 3, 4 и 5) и једно узорковање површинских слојева снега крајем 2012. године (Серија 2). Захваћени узорци са непропусних површина који се састоје од течне фазе (воде) и чврсте фазе (акумулисаних честица са површине), су подвргнути детаљној физичко-хемијској карактеризацији. Узорци захваћени 2013. године су подвргнути раздвајању течне и чврсте фазе. Анализе чврсте фазе су обухватиле гранулометријска испитивања, хемијску и физичко-хемијску карактеризацију. У циљу испитивања могућности за сорпцију јона тешких метала на честицама чврсте фазе, узорци чврсте фазе су подвргнути одређивању специфичне површине и дистрибуције величина пора (БЕТ техника и метода утискивања живе), морфолошком испитивању површина честица (скенирањем електронским микроскопом - СЕМ), анализи елементарног састава површине честица енергијско дисперзивном спектроскопијом (ЕДС) и минералошким испитивањима методом дефракције X-зрака (ХРД).

**Четврто поглавље** дисертације посвећено је моделирању отицаја и емисије загађења са урбаних сливова. Приказане су основне поставке примењене методологије. Генерално, постоје два приступа моделирању: (а) - моделирање концептуалним моделима који описују различите процесе од значаја за отицање и емисију загађења (падавине-отицај, инфилтрацију, испаравање, течење у мрежи цеви/канала, транспорт загађења, трансформације загађења и др.), и (б) - моделирање емпиријским релацијама изведених из резултата мерења на сливу. У дисертацији је коришћено моделирање концептуалним моделом где се симултано моделирају процеси падавине-отицај, акумулисање, покретање, транспорт и трансформације отицаја и загађења са непропусних површина. За моделирање течења по површини данас се користе 1Д (линијски) и 2Д (равански модели). 1Д модели представљају грубу апроксимацију јер течење по површини апроксимирају течењем у отвореном каналу. 2Д модели могу успешно моделирати течење по површини, али велики проблем у њиховој примени је изузетно дуго трајање прорачуна и захтев за калибрацијом великог броја параметара. У дисертацији су развијена два модела за моделирање течења на непропусним површинама методом динамичког таласа:

- 1,5Д модел, за који је у дисертацији развијен оригинални поступак израде модела: формирање дигиталног модела терена применом Дилејнијевог алгорита, формирање гранате мреже привилегованих путева течења воде ка изливу и дефинисање припадајућих сливних површина за сваки чвор мреже површинских канала, у складу са геометријом слива. Цела анализирана површина слива је подељена на укупно 359 подсливних површина,

које су повезане са укупно 358 веза. Површински отицај са слива се одводи преко четири излива (сливника).

- Схематизовани модел, где је слив подељен на 8 подсливних површина, које су повезане са укупно 8 отворених канала, а отицај се испушта у 4 излива.

Извршено је моделирање и укупно осам параметара квалитета отицаја. Функције акумулисања и спирања параметара квалитета су задаване у складу са резултатима експерименталних истраживања.

**У петом поглављу** дисертације дати су резултати и дискусија, подељени на укупно десет одељака. Први одељак садржи резултате мерења прве серије узорака у оквиру претходних испитивања на сливу у лето 2012. године. Детектовано је присуство суспендованих материја, тешких метала и угљоводоника на асфалтним површинама. Други одељак садржи резултате испитивања узорака снега (Серија 2). Констатовано је значајно расипање резултата а количине загађења су за скоро два реда величине ниже од измерених вредности у узорцима узетих са асфалта у Серијама 1, 3 и 4. У трећем и четвртом одељку су детаљно приказани резултати испитивања физичко-хемијских параметара, нутријената, тешких метала и анјона у збирним узорцима захваћених са асфалта и бетона у Серијама 3, 4 и 5. Пети одељак садржи анализу акумулисања загађења према резултатима испитивања узорака Серије 3. Утврђено је да је акумулисање загађења знатно веће и брже на асфалтним површинама него на бетонским, а најниже је на камену. Опажен је тренд сатурације површине загађењем, али он није изразит. Затим је испитивано која од функција акумулисања загађења најбоље описује добијене резултате и за то су коришћене следеће функције које су већ у употреби приликом моделирања акумулисања загађења: крива сатурације, експоненцијална и степена функција. Поред њих, у дисертацији су уведене и три нове функције акумулисања загађења које уважавају да акумулисање загађења на непрпусној површини прати линеарни тренд кроз време, док се уклањање загађења представља посебном функцијом зависном од времена. У шестом одељку су анализирани резултати испитивања Серија 4 и 5 у циљу одређивања дневних прираштаја загађења. Утврђено је да је нето дневни прираштај загађења највећи на асфалту а најмањи на камену. Поредићи добијене резултате у погледу масе акумулисаних материја по јединици површине са резултатима других истраживања датих у литератури, може се закључити да је акумулисање загађења на испитаном експерименталном сливу знатно веће него на другим локацијама, што је последица одсуства редовног одржавања и чишћења.

Седми одељак садржи резултате и дискусију у вези испитивања чврсте фазе узорака. Гранулометријска испитивања су показала да у чврстој фази доминирају фракције  $>120 \mu\text{m}$ . Опажена је тенденција концентрисања загађења у ситнијим фракцијама. Из резултата БЕТ анализа и утискивања живе, може се закључити да су проучаване чврсте фракције претежно макропорозни материјали, ниске специфичне површине. Резултати СЕМ и ЕДС анализа указују да су честице у узорцима природног порекла и да претежно садрже природни силицијум, односно кварцни песак. Поред тога, ЕДС анализе нису потврдиле присуство тешких метала на површини испитиваних материјала. Ово је потврђено и ХРД анализом чврстих честица. Осми одељак садржи детаљне анализе корелације резултата испитивања садржаја параметара квалитета. Анализа линеарне корелације је показала да је мутноћа веома добро корелисана са сувим остатком (ТС) и суспендованим материјама (ТСС), хемијском потрошњом кисеоника (ХПК), укупним фосфором и појединим тешким металима. ТС и ТСС су добро корелисани са ХПК, укупним фосфором и тешким металима. Анализа главних компоненти је у погледу корелисаности параметара потврдила анализе линеарне корелације, а указала је на то да се резултати мерења са појединих површина јасно групишу на дијаграмима, што указује да узорци

са појединих површина показују међусобне сличности у својој структури и саставу и да ову појаву треба додатно истражити. Девети одељак садржи дискусију резултата о могућим механизмима раздвајања чврсте и течне фазе тешких метала. У свим узорцима је утврђен ниски удео тешких метала у раствореном облику, односно, веома је изражено раздвајање чврсте и течне фазе тешких метала. Физичко-хемијска карактеризација површина честица чврсте фазе није потврдила присуство тешких метала на површинама испитиваних чврстих честица. Из анализа спроведених у дисертацији закључено је да адсорпција није узрок доброг раздвајања течне и чврсте фазе тешких метала, већ да би узрок ове појаве у испитиваним узорцима могло бити таложење.

Десети одељак садржи резултате моделирања отицаја и загађења на моделираном сливу и дискусију резултата. Моделирање је извршено у окружењу програмског пакета *SWMM*. Моделиране су непропусне површине експерименталног слива 1,5Д моделом и схематизованим моделом, а течење је моделирано методом динамичког таласа. Оба модела успешно описују процес падавине-отицај на разматраном експерименталном сливу, а предност је дата 1,5Д моделу због већих могућности моделирања локалних карактеристика слива. Моделирање укупно осам параметара квалитета отицаја извршено је увођењем функција акумулисања и спирања загађења калибрисаних према резултатима испитивања. Спроведен је низ прорачуна у којима су мењане вредности интензитета кише, трајања кише, повратни периоди и облици хијетограма. Извршено је моделирање загађења применом ТСС као заменског (сурогат) параметра којим се моделирају друга загађења у отицају.

Завршно **шесто** поглавље дисертације представља синтезу закључака свих претходних поглавља. Резултатима истраживања је потврђена хипотеза према којој су главни фактори који утичу на акумулисање загађења на урбаним непропусним површинама храпавост површине и моторни саобраћај. Утврђено је да је дневни прираштај загађења био већи у летњем периоду него у јесен. Утврђене су функције које описују акумулисање загађења и дневне прираштаје загађења на непропусним површинама, које исказују специфичности испитиваног слива. Ситније честице показују тенденцију концентрисања већих количина загађења, нарочито тешких метала, али испитивања указују на то да добро раздвајање чврсте и течне фазе тешких метала није последица сорпције метала на површину честица, већ да је узрок овоме највероватније таложење. У дисертацији је закључено да се процеси покретања и транспорта загађења по урбаној непропусној површини могу успешно моделирати коришћењем fine дискретизације простора и решавањем једначина динамичког таласа. Истраживања су указала да количина спраног загађења са непропусне површине првенствено зависи од укупне висине пале кише, а у много мањој мери од интензитета кише док облик хијетограма практично нема утицаја. Моделирање загађења у отицају је осетљиво на промену параметара који дефинишу акумулисање и спирање загађења, тако да је препоручљиво одредити их испитивањима на терену у сваком конкретном случају. Закључено је да, приликом моделирања загађења коришћењем сурогат параметра, коефицијенте размере између концентрације моделираног параметра и сурогат параметра је најбоље одредити из резултата мерења квалитета отицаја, а у одсуству ових података, као довољно добра апроксимација, могу се користити подаци о акумулисању параметара загађења на површинама разматраног слива.

У посебном одељку су дате препоруке за избор мера за контролу отицаја, где је предност дата методама за симултану контролу количина и квалитета отицаја. Из резултата истраживања је закључено да увођење у регулативу граничних вредности емисије загађења за урбани отицај није препоручљиво. Обзиром да резултати истраживања указују да емисија загађења у отицају са урбаних површина првенствено зависи од висине кише, мере и техничка решења морају бити



усмерена ка смањењу (контроли) отицаја и контроли квалитета отицаја од кише укупне висине падавина одређене према специфичностима конкретног слива и карактеристикама водопријемника. На крају шестог поглавља су дати предлози за даља истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Анализа загађења од кишног отицаја са урбаних површина је актуелни истраживачки задатак због доказаних лоших ефеката по водопријемнике и животну средину уопште. О савремености ове проблематике сведочи и значајан број радова који се објављује из ове области сваке године у међународним научним часописима. Велика варијабилност протока и параметара квалитета у отицају, по простору и по времену, узрок су континуираног фокуса истраживања на анализе процеса акумулисања, спирања и транспорта загађења отицајем. Локалне специфичности су од великог значаја, тако да су теренска и лабораторијска истраживања једини начин за квантификацију појединих величина и параметара.

Оригиналност ове дисертације се огледа у примени комплексних метода анализа и карактеризације течне и чврсте фазе материја са непропусних површина и консеквентна примена резултата истраживања у моделирању отицаја и загађења са урбаних сливова методом динамичког таласа.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове дисертације цитирано је укупно 82 библиографске јединице, од чега је највећи број новијег датума: 76 цитираних референци настало је после 2000. године, односно 37 после 2010. године. Кандидат је кроз преглед литературе обухватио најважније ауторе и публикације из области моделирања отицаја и загађења у кишним водама са урбаних сливова (*Rossman H.L., Hvitved-Jacobsen T., Deletic A., Bertrand-Krajewski J.L., Sansalone J.J., Kayhanian M., Gunawardana C., Goonetilleke A., Egodawatta P.*). Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, пре свега у *Water Research, Science of the Total Environment, Journal of Environmental Engineering, Journal of Environmental Management, Water Environment Research, Journal of Environmental Sciences, Journal of Hydrology, Journal of Hazardous Materials, Chemosphere.*

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове дисертације спроведен је низ теренских и лабораторијских истраживања:

- узорковање воде и чврсте фазе са површине терена,
- лабораторијске методе за испитивање течне фазе узорака: физичко-хемијски параметри, садржај нутријената, тешких метала, јона и специфичних загађења,
- лабораторијске методе за испитивање чврсте фазе узорака: гранулометријска испитивања, испитивања садржаја нутријената и тешких метала, специфична површина и дистрибуција величина пора (БЕТ и метода утискивања живе), морфолошка испитивања површине честица (СЕМ), анализа елементарног састава површине честица (ЕДС) и минералошка испитивања методом дефракције X-зрака.

Лабораторијска испитивања су вршена у складу са стандардним поступцима и методама, како је наведено у дисертацији. Метод узорковања материјала са површине је развио кандидат у оквиру рада на дисертацији, на основу података из литературе.

Поред експерименталних метода, кандидат је применио и развио и адекватне нумеричке методе. За анализе корелације коришћен је Пирсонов коефицијент линеарне корелације и Анализа главних компоненти. Такође, у оквиру истраживања је коришћена метода динамичког таласа за моделирање површинског течења. У дисертацији је развијен поступак формирања 1,5Д модела, који укључује формирање дигиталног модела терена, формирање гранате мреже привилегованих путева течења воде и дефинисање припадајућих сливних површина за сваки чвор мреже. Моделирање укупно осам параметара квалитета отицаја је вршено преко функција акумулисања и спирања параметара квалитета. Параметри ових функција су одређени калибрацијом помоћу резултата мерења (минимизација суме квадрата разлика).

Из свега изнетог, може се закључити да су у дисертацији примењене адекватне методе научних истраживања.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

У дисертацији је детаљно приказана развијена и примењена методологија захватања узорака, лабораторијских анализа, испитивања корелације и моделирања загађења и отицаја. Методологија има значајну практичну применљивост у планирању, пројектовању и управљању системима за сакупљање и одвођење кишних вода у урбаним подручјима, јер је у дисертацији показано да је неопходно прилагодити решења сваком конкретном сливу.

Важно је нагласити да су спроведена истраживања у дисертацији прва овакве врсте у Србији, тако да она пружа прве податке о стварним количинама и врсти загађења на урбаним сливовима у нашој земљи.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, експерименталним радом, анализама корелације између мерених података и моделирањем физички сложеног процеса. На основу постављеног концепта и спроведеног истраживања и анализе постигнутих резултата, може се закључити да је кандидат Александар Ђукић, приступом истраживачком проблему и начином решавања постављених задатака, показао способност за самосталан научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Вредност спроведеног истраживања у докторској дисертацији се огледа и у обезбеђењу следећих резултата:

- Развијена и детаљно документована методологија за захватање узорака материјала са непропусних површина.
- Резултати испитивања узорака материјала захваћених са асфалтних, бетонских и камених површина и из њих изведене величине и зависности:
  - функције које описују акумулисање појединих материја на површинама,
  - дневни прираштаји загађења на различитим површинама,

- међусобна корелисаност између појединих параметара квалитета.
- Детаљна анализа чврсте фазе узорака са непропусних површина и анализа механизма одговорних за добро раздвајање течне и чврсте фазе тешких метала.
- Развој 1,5Д модела за моделирање површинског отицаја и загађења са урбаних сливова произвољне геометрије и карактеристика.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Анализа акумулисања материја на различитим урбаним површинама је документована у литератури али је допринос ове дисертације, поред тога што су по први пут у овом региону квантификоване вредности акумулисања загађења, у томе што су анализе акумулисања загађења повезане са напредним техникама карактеризације течне и чврсте фазе у циљу детаљног упознавања са процесима који се одвијају у отицају и утичу на његов квалитет. Примена развијеног 1,5Д модела је показала добре резултате, а за даља побољшања и примену модела потребно је извести додатна истраживања, како је то наведено у шестом поглављу дисертације.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру овог истраживања кандидат је објавио један рад у врхунском међународном часопису (M21) и неколико радова у часописима од националног значаја, на међународним и националним научним скуповима:

##### Категорија M21:

**Ђукић А.**, Lekić B., Rajaković-Ognjanović V., Veljović Đ, Vulić T., Đolić M., Naunović Z., Despotović J., Prodanović D., (2016), Further Insight into the Mechanism of Heavy Metals Partitioning in Stormwater Runoff, *Journal of Environmental Management*, 168, 104-110. doi:10.1016/j.jenvman.2015.11.035 (IF: 3.895)

##### Категорија M33:

Naunovic Z., Randelović A., Kostić D., Rajaković-Ognjanović V., Jovanović B., **Ђукић А.**, Pavlović D., Prodanović D., (2012), Water Quality Monitoring and Treatment in an Experimental Catchment, *9th International Conference on Urban Drainage Modelling*, Belgrade, 2012, ISBN 978-86-7518-156-9

##### Категорија M51:

**Ђукић А.**, Krunić B., Lekić B., Rajaković Ognjanović V., Naunović Z., (2015), Contaminant Buildup and Distribution on Urban Impervious Surfaces at Parking Lots, *Water Research and Management*, Vol. 5, No 4, Serbian Water Pollution Control Society, 25-33, ISSN 2217-5237

##### Категорија M63:

**Ђукић А.**, Лекић Б., Рајковић-Огњановић В. (2014), Карактеристике материјала акумулираних на урбаним површинама и квалитет кишног отицаја, *43. конференција "Вода 2014"*, 3.-5. јун 2014., Тара, Издавач: Српско друштво за заштиту вода, ISBN 978-86-916753-1-8, 373-376

**Ђукић А.**, Лекић Б., Продановић Д., Рајковић-Огњановић В., Љубисављевић Д., Василић Ж., (2013), Експериментално изучавање кишног отицаја у урбаним подручјима, *42. конференција "Вода 2013"*, 4.-6. јун 2013., Перућац, Издавач: Српско друштво за заштиту вода, ISBN 978-86-916753-0-1, 321-328

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изнетог, Комисија сматра да урађена докторска дисертација магистра Александра Ђукића, дипл.инж.грађ., под насловом „Моделирање емисије загађења кишног отицаја са урбаних сливова“ представља оригинални научни и вредан стручни допринос у области комуналног и санитарног инжењерства и еколошког инжењерства, што је потврђено објављивањем једног рада у врхунском часопису међународног значаја, једног рада у водећем националном часопису и радова на међународним и домаћим конференцијама.

Комисија сматра да урађена докторска дисертација кандидата мр Александра Ђукића, у потпуности испуњава све захтеве и критеријуме и да је кандидат испољио научно-истраживачке способности у свим фазама израде ове дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Моделирање емисије загађења кишног отицаја са урбаних сливова“ кандидата мр Александра Ђукића, дипл.инж.грађ. прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред комисијом у истом саставу.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

Доц. др Бранислава Лекић, дипл.инж.грађ.  
Универзитет у Београду – Грађевински факултет

---

Проф. др Душан Продановић, дипл.инж.грађ.  
Универзитет у Београду – Грађевински факултет

---

Проф. др Љубинка Рајаковић, дипл.инж.технол.  
Универзитет у Београду - Технолошко-металуршки факултет

---

В.проф. др Милош Станић, дипл.инж.грађ.  
Универзитет у Београду – Грађевински факултет

---

В.проф. др Зорана Науновић, дипл.инж.технол.  
Универзитет у Београду – Грађевински факултет