

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију</p> <p>Решењем бр. 012-199/22-2015 од 13.07.2017. године, на основу Одлуке Наставно научног већа, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан Факултета техничких наука, Проф. др Раде Дорословачки, именовео је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав Комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>др Мирјана Војиновић-Милорадов</b>, професор емеритус, уже научна област: Инжењерство заштите животне средине, датум избора у звање: 24.01.2008. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, <b>председник</b>;</li> <li>- <b>др Срђан Колаковић</b>, редовни професор, уже научна област: Хидротехника, датум избора у звање: 03.07.2003. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, <b>члан</b>;</li> <li>- <b>др Миленко Пушић</b>, редовни професор, уже научна област: Водоснабдевање и менаџмент подземних вода, датум избора у звање: 23.01.2003. године, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, <b>члан</b>;</li> <li>- <b>др Зоран Стевановић</b>, редовни професор, уже научна област: Хидрогеологија, датум избора у звање: 07.12.1998. године, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, <b>члан</b>;</li> <li>- <b>др Јелена Радонић</b>, ванредни професор, уже научна област: Инжењерство заштите животне средине, датум избора у звање: 01.02.2015. године, Универзитет у Новом Саду Факултет техничких наука, Нови Сад, <b>члан</b>;</li> <li>- <b>др Милан Димкић</b>, редовни професор, уже научна област: Инжењерство заштите животне средине, датум избора у звање: 27.12.2013. године, Универзитет у Новом Саду Факултет техничких наука, Нови Сад, <b>ментор</b>.</li> </ul>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Срђан, Раденко, Ковачевић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 13.12.1983., Нови Сад, Република Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Нови Сад, Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, Дипломирани инжењер заштите животне средине и заштите на раду – мастер</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2007. година, Инжењерство заштите животне средине</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</p>

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Анализа самопречишћавајућег потенцијала подземних вода за уклањање фармацеутика применом методе речне обалске филтрације**

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација „Анализа самопречишћавајућег потенцијала подземних вода за уклањање фармацеутика применом методе речне обалске филтрације“ кандидата Срђана Ковачевића, обима 222 странице, а садржи 78 слика, 24 табеле и 176 литературна навода. Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Преглед стања у области истраживања
3. Предмет, проблем, циљеви и хипотезе истраживања
4. Методе истраживања
5. Резултати и дискусија
6. Закључна разматрања
7. Литература
8. Прилози

### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

У оквиру докторске дисертације дат је адекватан приказ, тумачење и дискусија теоријских и експерименталних резултата истраживачких активности. У складу са дефинисаном темом, предметом, проблемом и циљевима истраживања, експериментални део података је приказан јасно и концизно уз добро структуриран приказ резултата добијених у оквиру докторске дисертације. Анализа добијених резултата у потпуности одговара свим релевантним аспектима и тематици тезе и јасно приказује евалуацију добијених резултата. Графички и табеларни приказ резултата дат је на адекватан визуелан и технички начин.

#### **Уводна разматрања**

У уводном делу дат је општи приказ теме, предмета и циљева истраживања, као и преглед очекиваних резултата добијених по истраживачким фазама. Посебно је наглашен проблем малог скупа података о појави фармацеутика у површинским и подземним водама Републике Србије, као и неопходност прикупљања довољног броја података, како би се дефинисала корелација односа концентрационих нивоа фармацеутика у површинским и подземним водама и омогућила израда математичког модела транспорта фармацеутика током речне обалске филтрације.

*Уводни део докторске дисертације на адекватан начин приказује проблематику, предмет, циљ и хипотезе истраживања и врло коректно описује очекиване резултате истраживачких активности по фазама.*

#### **Преглед стања у области истраживања**

У другом поглављу приказано је стање у области коришћења самопречишћавајућег потенцијала подземних вода приликом митигације фармацеутика, са посебним освртом на поделу фармацеутика, порекло и начин доспевања фармацеутика у акватичну средину, као и специфичне физичко-хемијске особине одабраних фармацеутика. Дат је богат преглед литературе који описује уклањање специфичних фармацеутика у постројењима за третман отпадних вода, као и преглед литературе о појави одабраних фармацеутика у површинским и подземним водама у различитим географским регионима. Приказане су теоријске основе самопречишћавајућих процеса у подземним водама, као и методе речне обалске филтрације. Истакнут је кратак приказ законске регулативе Европске уније и регулативе у Републици Србији која се односи на област управљања подземним водама са нагласком на чињеницу да испитивани фармацеутици нису обухваћени важећим законским прописима.

*Преглед стања у области истраживања конкретно и концизно приказује преглед литературних података који се односе на проблематику тезе, законску регулативу и на адекватан начин приказује теоријске основе неопходне за анализу самопречишћавајућег потенцијала подземних вода за уклањање фармацеутика применом методе речне филтрације.*

### **Предмет, проблем, циљеви и хипотезе истраживања**

У трећем поглављу детаљно су дефинисани предмет, проблеми, циљеви и постављене хипотезе истраживања. Предмет истраживања у оквиру тезе је проучавање понашања и анализа транспорта одабраних фармацеутика у подземним водама током речне обалске филтрације. Фокус истраживања био је одређивање ефикасности уклањања одабраних фармацеутика током речне обалске филтрације и квантификација процеса сорбирања и деградације на основу експерименталних података. Научно-истраживачке активности спроведене су по први пут у Србији на широком простору Дунавског речног басена, при чему су добијени нови и оригинални резултати. Утврђена је појава фармацеутика у површинским и подземним водама у зависности од карактеристичних хидрогеолошких, хидродинамичких и оксичних/аноксичних услова алувијалних подземних вода. Одређен је проценат уклањања испитиваних фармацеутика током речне обалске филтрације. Посебност научно-истраживачких активности је одређивање степена сорбирања испитиваних фармацеутика на основу теренских експерименталних истраживања, применом хидродинамичког модела и модела транспорта фармацеутика у подземним водама, као и одређивање максималног периода полураспада испитиваних фармацеутика на основу података о експериментално одређеном степену сорбирања.

На основу свеобухватних научно-истраживачких резултата потврђене су постављене хипотезе, које су дале допринос новом теоријском разумевању феномена речне обалске филтрације:

- Испитивани фармацеутици се ефикасно уклањају током речне обалске филтрације;
- Квантификовани су линеарни коефицијенти сорбирања испитиваних фармацеутика базирани на оригиналним и јединственим резултатима теренских експерименталних истраживања;
- Квантитативно су доказани процеси самопречишћавања током речне обалске филтрације уз одређивање максималног периода полураспада испитиваних фармацеутика.

*Предмет, проблем, циљеви и хипотезе истраживања су формулисани и успешно потврђени у складу са актуелном проблематиком и темом докторске дисертације.*

### **Методе истраживања**

У четвртом поглављу приказане су основне методе истраживања, са кратким описом метода узорковања и анализе узорака површинске и подземне воде, хидрогеолошких поступака и мерне опреме, као и методе прорачуна транспорта и трансформације квалитета подземних вода. За прикупљање података, узорковање и анализу података о оксичним условима подземних вода, као и за узорковање и анализу података о присутности анализираних фармацеутика на одабраним локацијама коришћене су следеће методе: методе узорковања, методе анализе хемијских параметара квалитета воде, методе анализе присуства одабраних фармацеутика. За прикупљање и обраду података о хидрогеолошким подлогама и спровођење теренског експеримента коришћене су хидрогеолошки поступци: поступци мерења нивоа подземних вода, поступци мерења протока, поступак одређивања криве гранулометријског састава методом сувог просејавања и поступак обраде  $S/Q = f(t)$  - праћење промене специфичне издашности по времену.

Методе прорачуна транспорта и трансформације квалитета подземних вода садрже опис коришћеног модела за обраду података коришћењем оригиналног софтвера W.O.D.A - („Well Outline and Design Aid“) који решава једначине подземног струјања у анизотропној дисконтинуалној средини применом метода коначних запремина.

*У оквиру докторске дисертације коришћене су најбоље доступне методе и технике на основу којих су добијени и верификовани резултати истраживања.*

### **Резултати и дискусија**

У петом поглављу докторске дисертације успешно је анализирано и евалуирано присуство фармацеутика у површинским и подземним водама, као и феномен уклањања фармацеутика током речне обалске филтрације на три специфичне локације (алувион реке Саве, алувион реке Дунав и алувион реке Велике Мораве) у функцији хидрогеолошких, хидродинамичких и физичко-хемијских параметара подземних вода. Детаљно су описане активности и резултати спровођења теренског експеримента ињектирања трасера и фармацеутика. Анализирани су резултати који су добијени теренским експериментом и примењен је модел транспорта фармацеутика у подземним водама. На основу добијених резултата квантификовани су процеси сорбирања током речне обалске филтрације.

Приказана је и могућност примене модела транспорта фармацеутика током речне обалске филтрације како би се дефинисало максимално време полураспада испитиваних фармацеутика. У оквиру докторске дисертације по први пут су добијени нови резултати на бази комплексних хидрогеолошко – хидрауличких – аналитичких испитивања и мониторинга присутности фармацеутика у површинским и подземним водама, као и на основу комплексних математичких модела транспорта фармацеутика у подземним водама.

*Добијени оригинални подаци и резултати у потпуности потврђују дефинисане циљеве, задатке и постављене хипотезе научно-истраживачког плана и програма тезе.*

#### **Закључна разматрања**

У шестом поглављу су дата закључна разматрања на основу оригиналних научних резултата и предложени су могући правци будућих и даљих истраживања.

*Закључци логички и научно сумирају резултате до којих се дошло током истраживања.*

#### **Литература**

У седмом поглављу наведен је списак коришћене литературе приликом израде докторске дисертације.

*Литература је савремена и одговарајућа, а у складу са научно-истраживачким принципима и проблематиком истраживања.*

#### **Прилози**

У осмом поглављу приказани су прилози са свеобухватним резултатима, као и пратећим садржајем докторске дисертације.

*У прилогу су приказани подаци и подлоге које допуњују и кореспондирају текстуални садржај дисертације.*

### **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

#### **Радови у врхунском међународном часопису (M21)**

1. **Kovačević S.**, Radišić M., Laušević M., Dimkić M. (2016) Occurrence and behavior of selected pharmaceuticals during riverbank filtration in the Republic of Serbia, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 24, No. 2, pp. 2075-2088, ISSN 0944-1344, doi:10.1007/s11356-016-7959-4.
2. Radović T., Grujić S., **Kovačević S.**, Laušević M., Dimkić M. (2016) Sorption of selected pharmaceuticals and pesticides on different river sediments, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 23, No. 24, pp. 25232-25244, ISSN 0944-1344, doi:10.1007/s11356-016-7752-4.

#### **Рад у истакнутом међународном часопису (M22)**

1. Dimkić M., Pušić M., Obradović V., **Kovačević S.** (2012) The effect of certain biochemical factors on well clogging under suboxic and mildly anoxic conditions, Water Science and Technology, Vol. 65, No 12, pp. 2206-2212, doi:10.2166/wst.2012.129.

#### **Рад у међународном часопису (M23)**

1. **Kovačević S.**, Radišić M., Mitrović D., Vojt P., Živančev N. (2016) Tracer Test and Behavior of Selected Pharmaceuticals, Water Science and Technology: Water Supply, pp. ISSN 1606-9749, doi: 10.2166/ws.2016.202.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **Kovačević S.**, Dimkić M., Vojinović-Miloradov M., Majkić B., Đogo M., Radonić (Jakšić) J., Turk Sekulić M. (2013) Occurrence and behavior of selected pharmaceuticals during bank filtration in Danube river – a three year survey in Serbia, International Conference "Engineering for Environment Protection", Bratislava, Slovak Republic, 11-13.06.2013., pp 151-155., ISBN: 978-80-227-3955-9.
2. Vojinović-Miloradov M., Španik Ivan., Mihajlović I., Miloradov M., Radonić (Jakšić) J., Turk Sekulić M., **Kovačević S.**, Živančev (Šenk) N., Stošić M. (2013) Pseudopersistency, Low Doses Effect and Mass Load for the Emerging Substances, UNESCO Conference on Emerging Pollutants in Water, Beograd, Republika Srbija, 09-11.07.2013., pp 53-58., ISBN:978-86-82565-39-0.
3. **Kovačević S.**, Petković A., Pušić M., Dimkić M. (2013) Fate of Emerging Pollutants in Alluvial Groundwater of Big Rivers in Serbia, UNESCO Conference on Emerging Pollutants in Water, Beograd, Republika Srbija, 09-11.07.2013., pp 59-63 , ISBN:978-86-82565-39-0.
4. **Kovačević S.**, Vojinović-Miloradov M., Sremački M., Radonić (Jakšić) J., Petković A., Dimkić M. (2013) Natural Removal of Selected Emerging Polutants due to the River Bank Filtration, III International Conference "Ecology of Urban Areas" 2013, Kaštel Ečka-Zrenjanin, Republika Srbija, 11.10.2013., pp 238-242, ISBN 978-86-7672-210-5.
5. **Kovačević S.**, Vojinović-Miloradov M., Petković A., Radonić (Jakšić) J., Sremački M., Dimkić M. (2013) Occurance of Selected Pharmaceuticals in Municipal Wastewater from city of Novi Sad, 14th European Meeting on Environmental Chemistry EMEC 2013, Budva, Republika Crna Gora, 04-07.12.2013., pp 86, ISBN: 978-9940-9059-1-0.
6. **Kovačević S.**, Sremački M., Vojinović-Miloradov M., Dimkić M. (2014) Selected pharmaceuticals load in urban wastewater for the city of Novi Sad, IV International Conference "Ecology of Urban Areas 2014", 9-10 October 2014, Zrenjanin, Serbia, pp. 311-317 ISBN: 978-86-7672-237-2.
7. Živančev (Šenk) N., **Kovačević S.**, Vojinović-Miloradov M., Dimkić M. (2014) Modelling of pesticide transport in soil and subsurface area, Conference Engineering of Environment Protection – TOP 2014, Slovak University of Technology in Bratislava, 10-12.06.2014., pp. 573-579, ISBN 978-80-227-4174-3.
8. Radišić M., Dujaković N., **Kovačević S.**, Živančev (Šenk) N., Dimkić M., Laušević M. (2014) Occurrence and Concentrations of Pharmaceuticals and Pesticides in Groundwater in Serbia, 12th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry 2014., Volume III, 22-26 September 2014, Belgrade, Serbia, pp. 913–916, ISBN 978-86-82475-32-3.
9. Radaković B., Jeftenić Goran., Kolaković S., Peško I., Mučenski V., **Kovačević S.** (2016) Effect of Oxidic Conditions on Behavior of Pollutants in Groundwater, International Scientific Conference People, Building and Environment, Luhačovice, Poland, pp. 243-251, ISBN 1805-6784.

#### Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. **Kovačević S.**, Vojinović-Miloradov M., Petković A., Radonić (Jakšić) J., Sremački M., Milovanović D., Dimkić M. (2013) Occurrence of selected pharmaceuticals in municipal wastewater from city of Novi Sad, European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC), Montenegro, Budva, pp. 84.
2. **Kovačević S.**, Dimkić M., Vojinović-Miloradov M., Radonić J., Živančev (Šenk) N., Turk Sekulić M. (2013) Prisustvo i ponašanje pojedinih farmaceutika tokom odvijanja procesa rečne obalske filtracije, 6. simpozijum Hemija i zaštita životne sredine EnviroChem 2013, sa međunarodnim učešćem "Hemija, zaštita životne sredine", Vršac, Republika Srbija, 21-24.05.2013., pp. 240-241, ISBN: 978-86-7132-052-8.
3. **Kovačević S.**, Mitrinović D., Radišić M., Živančev (Šenk) N., Perović M., Vojt P., Dimkić M. (2016) Tracer test and behavior of selected pharmaceuticals, IWA Specialist Groundwater Conference, Republic of Serbia, Belgrade, ISBN 978-86-82565-46-8.

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У циљу дефинисања самопречишћавајућег потенцијала алувијалних подземних вода за уклањање фармацеутика током речне обалске филтрације добијени су следећи закључци по фазама истраживања:

### **Преглед литературних података о ефикасности уклањања одабраних фармацеутика у постројењима за прераду отпадне воде (ППОВ) и појави у површинским и подземним водама**

При прегледу литературних референци утврђено је да се фармацеутици који су детаљније анализирани у оквиру докторске дисертације не уклањају у потпуности у постројењима за третман отпадних вода, тако да постоји могућност њихове појаве у површинским водама. На основу података о ефикасности уклањања одабраних фармацеутика (триметоприм, карбамазепин, диклофенак и метаболит метамизола 4-ААА) евидентно је непотпуно уклањање након секундарног степена третмана отпадних вода, док је код терцијарног степена третмана отпадних вода могуће и потпуно уклањање одабраних фармацеутика уз услов лимитирајућих фактора који утичу на рад ППОВ.

Просечне концентрације и фреквенције детекције анализираних фармацеутика су веће у површинским водама у односу на концентрације у подземним водама. Избор фармацеутика који су анализирани у оквиру докторске дисертације је одређен на основу литературних података о ефикасности уклањања у постројењима за третман отпадних вода и података о појави фармацеутика у површинским и подземним водама, као и на основу првих фаза узорковања и анализе појаве фармацеутика у површинским и подземним водама у оквиру истраживања.

### **Утврђивање учесталости појаве анализираних фармацеутика у површинским и подземним водама**

Као један од кључних закључака истраживања издваја се добијени резултат да не долази до повећања концентрације фармацеутика у површинским водама Републике Србије у односу на узводне земље у сливу реке Дунав иако се највећи део отпадне воде у Републици Србији не третира. На основу респектабилног броја анализа присутности фармацеутика у површинским и подземним водама може се закључити да се садржај испитиваних фармацеутика значајно смањује током речне обалске филтрације на три истражне локације (дренажни систем Ковин-Дубовац, извориште Кључ и Београдско извориште подземних вода) које су детаљније анализирани у оквиру докторске дисертације.

Просечна концентрација испитиваних фармацеутика највећа је у реци Великој Морави, затим следи река Дунав, док је најмања просечна концентрација испитиваних фармацеутика регистрована у реци Сави. Велика Морава је високо оптерећена антропогеним утицајем и емисијом анализираних фармацеутика, док је најмање оптерећена Сава. Оптерећење Велике Мораве антропогеним утицајем је много веће у односу на остале реке узимајући у обзир просечан вишегодишњи протицај реке Велике Мораве у односу на број популације на сливу.

### **Утицај карактеристичних хидрогеолошких, хидродинамичких, физичко-хемијских и оксидних услова алувијалних подземних вода на уклањање фармацеутика током речне обалске филтрације**

На локацији дренажног система Ковин-Дубовац (прва дренажна линија бунара), доминантан фактор који утиче на уклањање детектованих фармацеутика током речне обалске филтрације је време инфилтрације воде од реке до бунара (30-40 дана), док оксидно/аноксидни услови средине (аноксидна средина), тип водозахватног објекта (самоизливни бунари), као и удео речне воде у бунарима (већина воде у бунарима потиче из реке) нису имали значајан утицај на уклањање фармацеутика током речне обалске филтрације.

На локацији изворишта Кључ (водозахватни бунари у приобаљу Велике Мораве), значајно смањење концентрације детектованих фармацеутика је последица колмирања дна реке Велике Мораве, као и просечног удела воде из реке Велике Мораве у бунару, у просеку око 30%, тако да се вода у бунару разблажује подземном водом из залеђа у просеку око 70 %. Оксичност подземних вода, као и кратко време инфилтрације воде од реке до бунара (1-2 дана) нису имали значајан утицај на уклањање анализираних фармацеутика због кратког времена трајања инфилтрације воде од реке до бунара, те је разлог уклањања фармацеутика практично услед разблажења концентрације фармацеутика подземном водом из залеђа бунара.

Високо смањење резидуалних концентрација фармацеутика је забележено и на локацији Београдског изворишта, што је последица изражене хоризонталне услојености алувијалног аквифера, као и начина захватања подземне воде, латералним дренажним дренажним системима (дренови су постављени хоризонтално у најдубљем водоносном слоју алувијалног аквифера изнад кога се налазе слабопропусни слојеви). Главни фактор који утиче на уклањање детектованих фармацеутика током речне обалске филтрације на бунарима Београдског изворишта је време инфилтрације подземне воде од реке до бунара (од 100 дана до неколико година).

Може се закључити да смањење концентрације детектованих фармацеутика на три специфичне истражне локације највише зависи од времена филтрације подземне воде од реке до бунара, удела речне воде у бунарима, као и од начина захватања подземне воде, тако да свако истражно подручје представља специфичну средину подземних вода са различитим условима струјања подземних вода.

#### **Одређивање процента уклањања одабраних фармацеутика током речне обалске филтрације**

На истражној локацији Београдског изворишта са благо аноксичним условима у подземним водама, просечна концентрација карбамазепина је смањена за 34 % током речне обалске филтрације у условима дугог времена инфилтрације воде од реке ка бунарима (минимално 100 дана) и без разблажења услед инфилтрације подземне воде из залеђа. Процент уклањања карбамазепина је око 70 % у оксичним условима (алувион реке Велике Мораве) и 35 % у аноксичним условима (алувион реке Дунав), али са различитим временом инфилтрације од реке ка бунару, приближно 2 дана за оксичну средину и приближно 30-40 дана за аноксичну средину.

На основу резултата истраживања може се закључити да је карбамазепин псеудо-перзистентан фармацеутик на свим анализираним истражним локацијама, које имају различито време инфилтрације воде од реке до бунара, различит удео речне воде у бунарима и различите оксичне услове средине, што сведочи о новом и научно-прихваћеном феномену псеудо-перзистентности.

На локацији Београдског изворишта просечна концентрација 4-ААА је смањена за 93 %, услед дужег времена инфилтрације воде од реке ка бунару (минимум 100 дана). На локацији дренажног система Ковин-Дубовац, просечна концентрација 4-ААА је смањена 82 % у аноксичним условима средине и средње дугим временом инфилтрације од реке ка бунарима (30-40 дана), док је на локацији изворишта Кључ просечна концентрација 4-ААА смањена за 92 % у оксичним условима средине, али са малим уделом речне воде (у просеку 30 %) и малим временом филтрације од реке до бунара (1-2 дана).

На основу резултата истраживања утврђено је да се метаболит метамизола 4-ААА уклања ефикасно у оксичним и аноксичним условима подземних вода током речне обалске филтрације узимајући у обзир утицај времена инфилтрације од реке ка бунарима, као и ефекат разблажења подземном водом из залеђа али постоје индикације бољег уклањања у оксичним условима подземних вода.

Триметоприм који је подложен процесу деградације у потпуности је уклоњен на свим анализираним локацијама, али није утврђен утицај различитих хидрогеолошки, хидродинамичких и оксичних услова средине због релативно брзе деградације у односу на време трајања филтрације воде од реке до бунара.

Просечна концентрација диклофенака се смањује за 30 % на локацији дренажног система Ковин-Дубовац, што индицира да диклофенак може да перзистира у аноксичним условима средине уз средње време инфилтрације од реке до бунара (30-40 дана). На изворишту Кључ, где је проценат разблажења воде у бунару, у просеку око 70 % из залеђа, диклофенак се уклонио око 70 % слично као и карбамазепин.

У случају Београдског изворишта диклофенак није детектован у узорцима подземне воде, а детектован је у само једном узорку из реке Саве, те се може претпоставити да је диклофенак подложен процесу деградације приликом дужег времена филтрације воде од реке Саве до бунара.

#### **Одређивање степена сорбирања одабраних фармацеутика на основу теренских експерименталних истраживања, применом хидродинамичког модела и модела транспорта фармацеутика у подземним водама**

Према резултатима истраживања фармацеутици који се најбрже транспортују у подземним водама су диклофенак и 4-ААА, затим следи карбамазепин, док је триметоприм имао најмању брзину транспорта у подземним водама, што је у складу са литературним подацима.

Прорачунате вредности линеарних коефицијената сорбирања  $Kd$  на основу теренског експеримента представљају нов и јединствен резултат на основу кога се закључује да се испитивани фармацеутици сорбирају у подземним водама на истражној локацији дренажног система Ковин-Дубовац, што је потврђено кашњењем брзине криве пробоја испитиваних фармацеутика у односу на брзину криве пробоја концентрације трасера. Резултати потврђују да постоји изражен процес сорбирања.

Фракција органске материје у подземним водама је занемарљиво мала на локацији спровођења теренског експеримента (бунар Вр-2, дренажни систем Ковин – Дубовац), те се може закључити да је у случају транспорта фармацеутика у подземним водама присутна сорпција на неорганичким фракцијама са доминантно физичким типом сорпционог механизма, као и остали механизми сорбирања (хемисорпција и јонска измена).

Презентовани резултати и подаци пружају могућност дефинисања нових теоријских и експерименталних метода и модела функционисања феномена речне обалске филтрације. На основу теренског експеримента добијени су нови и вредни подаци за степен деградације испитиваних фармацеутика. Карбамазепин је перзистира током теренског експеримента, за диклофенак постоји индиција разградње, док се 4-ААА и триметоприм разграђују током трајања теренског експеримента.

#### **Одређивање степена деградације испитиваних фармацеутика применом хидродинамичког модела и модела транспорта на основу података о степену сорбирања**

На основу резултата добијених применом модела транспорта фармацеутика од реке Саве ка кореспондентном бунару Београдског изворишта РБ-16, утврђено је да се триметоприм и метаболит метамизола разграђују у специфичним локалним условима, док је потврђено да карбамазепин релативно дуго перзистира током речне обалске филтрације. Посебно је наглашен утицај хоризонталних полупропустљивих слојева који утичу на време филтрације од реке Саве до бунара РБ-16, као и на ток подземних вода у природним условима што значајно утиче на самопречишћавајући потенцијал за уклањање фармацеутика.

На основу резултата прорачуна модела транспорта за задато  $Kd$  на основу теренског експеримента, добија се максималан период полураспада испитиваних фармацеутика који у зависности од хидрогеолошких услова средине (времена инфилтрације воде од реке до бунара, водостаја реке Саве, режима подземних вода, експлоатације бунара) и фактора који утичу на биодеградацију (однос микроорганизама према кисеонику, врста микроорганизама, редокс услови), може бити и краћи од прорачунате вредности (мање време потребно за деградацију).



Симулацијом модела транспорта на основу података добијених на основу теренског експеримента за  $Kd$ , добијен је максималан период полураспада који потврђује да је дошло до деградације триметорима и 4-ААА. Задавањем литературних податка за  $Kd$  може да се добије и неколико пута већи максимални период полураспада што значајно утиче на процену квалитета воде након речне обалске филтрације. Наведени подаци су нови и вредни са становишта унапређења третмана воде за пиће, као и за формирање зона санитарне заштите и предвиђање могућег антропогеног загађења. У Републици Србији па и у Европи до сада нема података за период полураспада анализираних фармацеутика на основу резултата симулације модела транспорта фармацеутика током речне обалске филтрације.

**VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**  
Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Тумачење добијених резултата је логично, научно-професионално утемељено, прегледно и технички и систематски приказано. Анализа и евалуација добијених резултата је заснована на новим и савременим теоријским приступима и оригиналним теренским експерименталним резултатима истраживања. Резултати истраживања су у потпуности проблемски решили постављене задатке, циљеве и хипотезе истраживања. Закључци су дефинисани у складу са резултатима дисертације и исказују изузетно вредан научни допринос чиме се потврђује позитивна оцена резултата истраживања.

**IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**  
Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

**Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.**

Да ли дисертација садржи све битне елементе

**Да, дисертација садржи све битне елементе.**

По чему је дисертација оригиналан допринос науци

На основу теренских експерименталних истраживања и модела транспорта фармацеутика током речне обалске филтрације, по први пут су одређени линеарни коефицијенти сорбирања и периоди полураспада. Резултати у оквиру докторске дисертације по први пут су урађени на бази комплексних хидрогеолошко – хидрауличких – аналитичких испитивања и мониторинга присутности фармацеутика у површинским и подземним водама, као и на основу комплексних математичких модела транспорта фармацеутика у подземним водама. Оптимизацијом усвојеног степена сорбирања и деградације дефинисани су критеријуми за моделе транспорта фармацеутика у алувијалним подземним водама, који служе као полазна основа за поставке будућих изворишта подземне воде. Добијени су нови и изузетно вредни подаци и информације које ће се користити за процену понашања фармацеутика, као и за пројектовање и оптимизацију нових система за ефикасну заштиту и управљање подземним водама. Потпуно нови резултати се односе на одређивање степена елиминације фармацеутика током примене методе речне обалске филтрације, као и теоријско и експериментално поређење реалних података о степену сорбирања и разградње фармацеутика.

Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

**Дисертација је урађена у складу са пријавом теме и нема недостатака**

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, Комисија са задовољством предлаже:

**Да се докторска дисертација под насловом „Анализа санопречишћавајућег потенцијала подземних вода за уклањање фармацеутика применом методе речне обалске филтрације“ прихвати, а кандидату, Срђану Ковачевићу, одобри јавна одбрана**

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду, 19.09.2017.

\_\_\_\_\_  
др Мирјана Војиновић-Милорадов, професор  
емеритус, председник

\_\_\_\_\_  
др Срђан Колаковић, редовни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Миленко Пушић, редовни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Зоран Стевановић, редовни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Јелена Радонић, ванредни професор, члан

\_\_\_\_\_  
др Милан Димкић, редовни професор, ментор