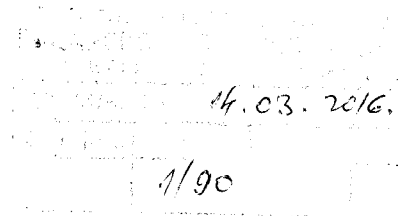


**РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ХИДРОГЕОЛОГИЈУ**



На **03/16-ој** седници Департмана за хидрогеологију одржаној дана **10.03.2016.** године једногласно је донета

О Д Л У К А

да се предложи Већу Геолошког одсека да усвоји извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ненада Марића, дипл. инж. геологије, под називом

**„ПРИРОДНО ПРЕЧИШЋАВАЊЕ И СТИМУЛИСАНА БИОРЕМЕДИЈАЦИЈА
ПОДЗЕМНИХ ВОДА ЗАГАЂЕНИХ НАФТНИМ УГЉОВОДОНИЦИМА“**

Комисија је у следећем саставу:

др Петар Панић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду
др Владимир Бешкоски, доц. Хемијског факултета у Београду
др Миленко Пушић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду
др Иван Матић, ред. проф. у пензији Рударско-геолошког факултета у Београду

Шеф Департмана за хидрогеологију


проф. др Петар Докмановић

ПРИМЉЕНО: 25 12 2015			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	1/503		

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ненада Марића

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду бр 1/386 од 27.10.2015. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Ненада Марића**, дипл. инж. геологије, под насловом:

"Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоницима"

Након детаљног прегледа дисертације, разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи:

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања докторске дисертације

Ненад Марић, дипл. инж. геологије, уписао је докторске студије на Департману за хидрогеологију школске 2010/2011. године. На докторским студијама положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета бр. 1/338 од 21.11.2014. године, која је донета на седници одржаној 20.11.2014. године, именована је Комисија за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета бр. 1/382 од 23.12.2014. године, која је донета на седници одржаној 18.12.2014. године, прихваћен је Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора, предложене теме "Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоницима". За менторе су именовани др Петар Папић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и др Владимир Бешкоски, доцент Хемијског факултета Универзитета у Београду.

Одлуком 02 број: 61206-5969/2-14 од 09.02.2015. године дата је сагласност Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду на предлог теме и ментора

за израду докторске дисертације кандидата **Ненада Марића**, дипл. инж. геологије под називом **"Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводонцима"**.

По окончању израде докторске дисертације, Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета стигао је захтев за именовање комисије за преглед, оцену и одбрану дисертације. Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета је одлуком број 1/386 од 27.10.2015. године именovalo Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације, у саставу: др Петар Папић, редовни професор (ментор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет), др Владимир Бешкоски, доцент (ментор, Универзитет у Београду, Хемијски факултет), др Миленко Пушић, редовни професор (Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет), др Иван Матић, редовни професор у пензији (Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом **"Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводонцима"** припада области техничких наука. По предмету истраживања, дисертација припада научној области Геолошко инжењерство. Ужа тематска област дисертације је хидрогеологија (хидрогеоекологија).

За менторе ове докторске дисертације именовани су др Петар Папић, редовни професор Универзитета у Београду - Рударско-геолошки факултет (2010. године изабран у звање редовни професор за ужу научну област Хидрогеоекологија) и др Владимир Бешкоски, доцент Универзитета у Београду - Хемијски факултет (2012. године изабран у звање доцента за ужу научну област Биохемија).

1.3. Биографски подаци

Ненад Марић рођен је 26.01.1986. године у Мостару. Хемијско-прехрамбено технолошку школу (смер за биотехнологију) у Београду завршио је 2005. године. Основне студије на Департману за хидрогеологију Рударско-геолошког факултета завршио је 2010. године са просечном оценом 8,89, одбравивши дипломски рад под називом "Могућност водоснабдевања и заштите изворишта подземних вода рафинерије Београд".

Докторске студије на студијском програму Хидрогеологија на Рударско-геолошком факултету уписао је 2010. године. Од 2011. године запослен је као истраживач-приправник, а затим истраживач-сарадник на Департману за хидрогеологију, на пројекту Министарства за науку и технолошки развој – Пројекат ИИИ (Интегралних Интердисциплинарних Истраживања) – Симултана биоремедијација и солификација деградираних простора, за очување природних ресурса биолошки активних супстанци и развој и производњу биоматеријала и дијететских производа (43004); Подпројекат: Заштита гео и био средина као природних ресурса и извора биолошки активних супстанци.

У оквиру стручних активности учествовао је у изради већег броја пројеката, елабората и студија којима је решавана хидрогеолошка проблематика. У настави на Департману за хидрогеологију био је ангажован на одржавању вежби из предмета "Заштита

подземних вода" и "Контаминација и ремедијација геолошке средине и подземних вода" од 2012 до 2014. године. Учествоје у одржавању вежби из предмета "Хидраулика подземних вода" и "Хидраулика бунара".

У циљу унапређења научно-истраживачког рада похађао је семинаре "Isotope Geology" (фебруар 2011. године) и "Statistics in Geology" (мај 2011. године) у оквиру СЕЕPUS мреже, као и "Publishing in international journals" (септембар 2012. године) организован од стране Српског хемијског друштва.

Аутор и коаутор је 15 стручних и научних публикација, међу којима су три рада у истакнутом међународном часопису (категорија M22) и један рад у међународном часопису (категорија M23).

Члан је Савеза инжењера и техничара Србије (СИТС), Српског геолошког друштва (СГД) и Геолошког друштва Америке (GSA).

Чита, говори и пише енглески и грчки језик.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Дисертација је написана на 166 страна и садржи насловну страну (на српском и енглеском језику), резиме (на српском и енглеском језику), садржај, пет поглавља, списак коришћене литературе, биографију кандидата, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Структура дисертације је следећа:

1. Увод
 2. Преглед литературе
 3. Материјал и методе
 4. Резултати и дискусија
 5. Закључак
- Литература
Биографија

Текст дисертације садржи 88 слика, 38 табела. У списку коришћене литературе наведено је 150 литературних извора.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље указује да истраживања обухваћена дисертацијом представљају само различите видове коришћења и стимулације природних процеса у издани, којим долази до умањења ефеката загађења нафтним угљоводоницима.

Другим поглављем дат је преглед литературе релевантне за истраживања обухваћена докторском дисертацијом. Наглашен је значај подземних вода као ресурса за водоснабдевање, односно нафте и њених деривата као извора енергије. Дат је кратак осврт на проблематику загађивања подземних вода нафтним угљоводоницима, док су методе биоремедијације детаљније разрађене. Посебна пажња је посвећена процесима природног пречишћавања, њиховом осматрању, односно примени стимулисане *in situ*

биоремедијације подземних вода. Објашњени су главни механизми биодеградације нафтних угљоводоника у подземним водама уз приказ препорука за осматрање њихових ефеката у теренским условима.

Треће поглавље пружа увид у поступак узорковања, аналитичких и микробиолошких техника и метода које су коришћене у дисертацији. Наведени су софтверски пакети који су коришћени при обради података прикупљених инструменталним путем.

Четврто поглавље се концептуално састоји из два дела којим су обухваћени природно пречишћавање и стимулисана *in situ* биоремедијација. Процеси природног пречишћавања су осматрани на локацији историјског загађења керозином у Витановцу код Краљева. Геолошке и хидрогеолошке карактеристике подручја истраживања приказане су као подлога истраживања реализованих овом дисертацијом. Извршена је карактеризација загађења подземних вода и седимената нафтним угљоводоникима, уз приказ услова струјања подземних вода током извођења истраживања. Акцент је стављен на осматрање ефеката биодеградације нафтних угљоводоника у подземним водама (мерења концентрација електрон акцептора и метаболичких продуката), односно утицаја различитих механизма биодеградације на хемијски састав подземних вода. На основу концентрација редокс осетљивих параметара, анализирани су главни редокс процеси у подземним водама. Као пратећи ефекти биодеградације нафтних угљоводоника анализирани су промене у изотопском саставу подземних вода, односно утицај биодеградације на растворљивост силикатних минерала у оквиру издани. Посебним прорачуном анализиран је капацитет различитих механизма за биодеградацију ВТЕХ на овој локацији. Другим делом овог поглавља обухваћена је примена стимулисане *in situ* биоремедијације подземних вода на локацији фабрике "Нитекс" у Нишу. Општим карактеристикама обухваћена је литолошка грађа и хидрогеолошке карактеристике микролокације. Поред резултата примене, дат је приказ корака (карактеризације загађења и процене потенцијала локације) којима је створена основа за примену биоремедијационог третмана у датим теренским условима.

Пето поглавље представља сумарни приказ резултата до којих је кандидат дошао реализацијом истраживања.

У списку коришћене литературе наведено је 150 литературних извора.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација "**Природно пречишћавање и стимулисана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоникима**" представља оригинално научно дело, које карактерише модеран приступ проблематици обухваћеној истраживањима. Коришћене су савремене методе и решења при реализацији истраживања мултидисциплинарног карактера. Реализацијом истраживања прикупљени су оригинални подаци са два истражна подручја у Србији. Дисертацијом је обухваћен пасиван (природно пречишћавање) и активан ремедијациони приступ (стимулисана биоремедијација) код загађења подземних вода нафтним угљоводоникима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литературним изворима коришћеним у оквиру докторске дисертације обухваћена је релевантна литература, значајна са аспекта загађивања подземних вода нафтним угљоводонцима. Најзаступљеније су библиографске јединице новијег датума, којима су обухваћена истраживања сличног типа реализована у свету. За природно пречишћавање и стимулисану биоремедијацију дати су краћи хронолошки прикази досадашње примене. Акцент је стављен на коришћење литературних извора у циљу анализе и оцене резултата до којих се дошло реализацијом истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Конципирању и реализацији истраживања претходили су детаљно прикупљање и анализа релевантних литературних извора.

Теренска истраживања, лабораторијска мерења и анализе обухваћена су трећим поглављем дисертације. Овим поглављем дат је детаљан приказ аналитичких и микробиолошких техника и метода које су примењене у циљу реализације истраживања. Аналитичке методе коришћене су у циљу квантификације загађења подземних вода и седимената нафтним угљоводонцима, анализе хемијског и изотопског састава подземних вода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$). Као допуна аналитичким методама, коришћене су микробиолошке технике (одређивање укупног броја различитих група микроорганизама на одговарајућим подлогама).

Обрада података код истраживања природног пречишћавања обухватила је различите анализе утицаја дуготрајног загађења нафтним угљоводонцима на хемијски и изотопски састав подземних вода. Са друге стране, примени стимулисане *in situ* биоремедијације претходило је просторно дефинисање зоне загађења и ремедијационих мера у складу са карактеристикама локације.

Научне методе примењене у оквиру докторске дисертације могу се сматрати у потпуности адекватним постављеном научном проблему.

3.4. Применљивост остварених резултата

Примена природног пречишћавања као пасивног ремедијационог третмана све је заступљенија у свету. У појединим савезним државама Сједињених Америчких Држава (САД) пре примене активних мера ремедијације неопходно је показати да процеси природног пречишћавања не поседују довољан капацитет да доведу смањења ефеката загађења. Оваквим приступом постижу се значајне уштеде, с обзиром да се врши само осматрање процеса. Са друге стране, бројни случајеви примене конвенционалних мера ремедијације код загађења нафтним угљоводонцима указују на њихову недовољну ефикасност.

Ово је једна од првих докторских дисертација на Београдском Универзитету у оквиру које су у нашим условима реализована осматрања утицаја процеса природног пречишћавања у подземним водама. Другим делом дисертације обухваћена је примена стимулисане *in situ* биоремедијације у нашим условима. У односу на конвенционалне ремедијационе третмане загађења нафтним угљоводонцима, стимулисана *in situ* биоремедијација представља ефикаснији и јефтинији приступ. Оно што је заједничко за

природно пречишћавање и стимулисану биоремедијацију јесте да се заснивају на природном потенцијалу издани да умањи ефекте загађења нафтним угљоводоницима. Самим тим, истраживања у оквиру дисертације могу се сматрати применљивим при конципирању сличних истраживања на другим локацијама загађеним нафтним угљоводоницима.

Истраживања у оквиру докторске дисертације пружају увид у активност механизма биодеградације нафтних угљоводоника и могућност њиховог коришћења у теренским условима. Резултати истраживања природног пречишћавања пружају конкретан доказ о разградњи компоненти керозина аеробним и анаеробним механизмима биодеградације у алувијалним изданима. Успешна примена стимулисане *in situ* биоремедијације указује на могућност коришћења овог ремедијационог третмана на другим локацијама. Овакав истраживачки приступ унапређује познавање и указује на могућност коришћења биодеградационог потенцијала издани.

Процеси убрзаног растварања минерала материјала порозне средине, услед дуготрајне изложености процесима биодеградације нафтних угљоводоника, до сада су регистровани на свега неколико локација у свету. Резултати ове докторске дисертације пружају основу за детаљнија проучавања ових процеса на локацији историјског загађења у Витановцу, што додатно потврђује њихов научни значај.

Може се закључити да резултати ове докторске дисертације имају вишеструки значај, посебно са научног аспекта применљивог у пракси.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат Ненад Марић је показао висок степен самосталности. Кандидат је у потпуности овладао методологијом научно-истраживачког рада што се огледа у самосталном конципирању, планирању и реализацији истраживања са јасно постављеним циљевима. Квалитет кандидатовог научно-истраживачког рада потврђен је публикавањем четири научна рада у часописима са SCI листе (три рада у истакнутом међународном часопису - категорија M22, један рад у међународном часопису - категорија M23).

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Како је реч о интердисциплинарном приступу у истраживању биодеградационог потенцијала издани, концепција истраживања и примењене методе значајне су у методолошком смислу.

Резултати истраживања имају јасан научни допринос, тиме што унапређују познавање процеса биодеградације нафтних угљоводоника у подземним водама. Ово је једна од првих дисертација у нашим условима којом су утврђени ефекти биодеградације нафтних угљоводоника у подземним водама, односно извршена њена стимулација у теренским условима. Неки од остварених конкретних научних циљева су:

- утврђена је подложност компоненти керозина аеробним и анаеробним механизмима биодеградације у алувијалним изданима. Утицај аеробне

респирације, редукције нитрата, редукције мангана (IV), редукције гвожђа (III) и редукције сулфата на хемијски састав подземних вода квантификован је према методологији Wiedemeier et al. (2006).

- утврђена је просторна и временска променљивост главних оксидо-редукционих процеса у подземним водама (TEAP) у зависности од удаљења извора загађења. При утврђивању веза између хемијских параметара и редокс процеса методологија Jurgens et al. (2009) је допуњена изотопским анализама ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) и *in situ* мерењима редокс потенцијала.
- вишеструко повишене концентрације Al и SiO₂ у подземним водама најизложенијим процесима биодеградације пружају основу за детаљнија проучавања утицаја ових процеса на растворљивост минерала материјала порозне средине.
- комбинованом применом биостимулације и биоаугментације у биполарном моделу, успешно је изведена *in situ* биоремедијација свих компоненти загађења подземних вода нафтним угљоводонцима.
- утврђено је да водоник-пероксид представља задовољавајући извор кисеоника у пливим изданима, односно да примену биоаугментације треба заснивати на микроорганизмима изолованим из загађене средине.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Добијени резултати у потпуности потврђују полазну хипотезу истраживања:

Издан представља динамички систем који поседује пречишћавајући потенцијал за разградњу нафтних угљоводоника који доспеју у њега. Примену активних ремедијационих третмана код подземних вода загађених нафтним угљоводонцима неопходно је базирати управо на коришћењу и стимулацији потенцијала саме издани.

Реализацијом истраживања утврђен је утицај биодеградације нафтних угљоводоника на промене у хемијском и изотопском саставу подземних вода, редокс процесе у подземним водама и растворљивост минерала материјала порозне средине. Стимулацијом биодеградационог потенцијала издани постигнута је потпуна разградња свих компоненти загађења подземних вода нафтним угљоводонцима.

У циљу што једноставније интерпретације података прикупљених на локацијама загађеним нафтним угљоводонцима, кандидат се првенствено определио за њихову просторну анализу. Од софтвера специјализованих за овај тип истраживања треба нагласити примену *An Excel Workbook for Identifying Redox Processes in Ground Water*, који је развио USGS. Резултате до којих је дошао кандидат је тумачио уверљиво, доследно и смислено, што је представљало посебан изазов имајући у виду мултидисциплинарност истраживања. Структура самог рада је прегледна, разумљива и логична.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације "Природно пречишћавање и стимулисана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоницима" верификован је следећим публикацијама које су резултат истраживања обухваћених дисертацијом:

Рад у истакнутом међународном часопису - категорија M22 (SCI)

1. **Marić N**, Ilić M, Miletić S, Gojgić-Cvijović G, Beškoski V, Vrvic MM, Papić P (2015). Enhanced *in situ* bioremediation of groundwater contaminated by petroleum hydrocarbons at the location of the Nitex textiles, Serbia. Environmental Earth Sciences, Volume 74, Issue 6, pp 5211-5219.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини - категорија M33

1. **Marić N**, Sorajić S, Zarić J, Vanić M (2012). Improvement of the research methodology of groundwater contamination by petroleum hydrocarbons in Serbia. Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу - категорија M34

1. Jovančičević B, Beškoski V, Miletić S, Ilić M, Gojgić-Cvijović G, Matić I, **Marić N**, Šolević-Knudsen T, Vrvic M.M (2012). Multistage *in situ* bioremediation of aquifer contaminated with petroleum derivatives. 13th European Meeting on Environmental Chemistry, EMEC13, Moscow, Russia, December 5-8, 2012, Book of Abstracts, 104.

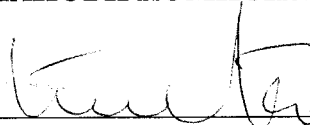
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација "Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоницима" представља савремен и оригиналан научно-истраживачки рад из области хидрогеологије. Научни допринос докторске дисертације потврђен је публикавањем резултата у раду у истакнутом међународном часопису (категорија М22). Након детаљног прегледа, Комисија је утврдила да је дисертација израђена према свим стандардима научно-истраживачког рада и важећим прописима.

Комисија са задовољством закључује да докторска дисертација "Природно пречишћавање и стимулирана биоремедијација подземних вода загађених нафтним угљоводоницима" кандидата **Ненада Марића**, дипл. инж. геологије, представља оригиналан и значајан научни допринос у области хидрогеологије, стога предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да овај извештај прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, након чега би се кандидат позвао на јавну одбрану.

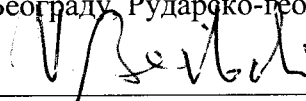
У Београду, 25.12.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



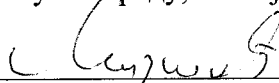
др Петар Папић, ред. проф.

Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет



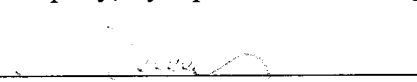
др Владимир Бешкоски, доцент

Универзитета у Београду, Хемијски факултет



др Миленко Пушић, ред. проф.

Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет



др Иван Матић, ред. проф. у пензији

Универзитета у Београду, Рударско-геолошки факултет