

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
НЕНАДА ПОПОВА

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ			
1. Датум и орган који је именовано комисију: Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду на 35. седници одржаној 10.06.2021. године именовало је Комисију за оцену докторске дисертације под насловом „Испитивање могућности примене убрзане карбонизације у процесу солидификације/стабилизације седимента загађеног тешким металима” кандидата маг. хем. Ненада Попова.			
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :			
1.	др Јелена Тричковић	редовни професор	Физичка хемија, 01.02.2020.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	ПМФ у Новом Саду		председник
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2.	др Срђан Рончевић	редовни професор	Хемијска технологија, 17.10.2017.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	ПМФ у Новом Саду		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3.	др Дејан Крчмар	редовни професор	Хемијска технологија, 01.03.2021.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	ПМФ у Новом Саду		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4.	др Ђурђа Керкез	ванредни професор	Заштита животне средине, 15.05.2020.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	ПМФ у Новом Саду		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5.	др Жељко Михаљев	виши научни сарадник	Биотехничке науке, 10.06.2020.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	НИВ НС у Новом Саду		члан
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији

<p>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Ненад, Марица, Попов 2. Датум рођења, општина, држава: 05.01.1989., Вршац, Република Србија. 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Природно-математички факултет, Мастер академске студије хемије (модул Аналитичка хемија), Мастер хемичар. 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2014. година, Докторске академске студије заштите животне средине.
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>Испитивање могућности примене убрзане карбонизације у процесу солидификације/стабилизације седимента загађеног тешким металима</p>
<p>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>Дисертација припада научној области заштите животне средине. Предмет истраживања ове докторске дисертације је испитивање могућности примене и утицаја убрзане карбонизације на солидификације/стабилизације (C/C) тешких метала у седименту, као и процена ризика одлагања стабилизованог седимента у животну средину. Испитивања су укључивала оптимизацију методе убрзане карбонизације за унапређење третмана C/C загађеног седимента, процену мобилности, доступности и токсичности метала у седименту, пре и након третмана, ради процене ефикасности третмана и ризика за безбедно одлагање третираних монолитних смеша у околину. Праћене су промене у минеролошком саставу и микроструктурним особинама монолитних смеша, ради бољег разумевања механизма деловања убрзане карбонизације на процес C/C седимента, и извршено је испитивање утицаја монолита на активност бактерија <i>Vibrio fisheri</i> ради добијања информација о њиховој токсичности.</p> <p>Дисертација је написана на српском језику (латиничним писмом), а извод је дат на српском и енглеском језику. Обим докторске дисертације је 113 страна куцаног текста и садржи 6 поглавља, 27 табела, 25 слика и 207 библиографске јединице. Дисертацију чини следећих шест поглавља: 1. Увод; 2. Општи део; 3. Експериментални део; 4. Резултати и дискусија; 5. Закључак, 6. Литература.</p>
<p>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>Наслов Наслов докторске дисертације је јасно и прецизно формулисан и у складу је са тематиком и садржајем истраживања.</p> <p>Увод У овом поглављу је у основним цртама дат приказ проблематике загађеног седимента тешким металима са аспекта заштите животне средине. Указано је на могућност примене технологије солидификације и стабилизације засноване на везивању контаминаната помоћу хемијских везива, као и могућност унапређења ове технологије применом убрзане карбонизације коришћењем биопепела као отпада са употребном вредношћу. Такође, дат је преглед фаза истраживања и дефинисан је циљ истраживања.</p> <p>Општи део У овом поглављу детаљно су приказани сви теоријски оквири релевантни за проблем</p>

истраживања. Описане су опште карактеристике седимента, дат је преглед понашања метала у седименту, представљена законска регулатива за процену квалитета седимента, описан третман солидификације и стабилизације и примена имобилизационих агенаса, описана убрзана карбонизација у третману солидификације/стабилизације, као и преглед лабораторијских тестова излуживања. Литературни преглед је актуелан, опсежан, али у исто време и у потпуности усмерен на проблем истраживања.

Експериментални део

У овом поглављу је шематски приказан план истраживања. Истраживање је подељено у три експеримента. У I експерименту вршена је оптимизација методе убрзане карбонизације која је касније примењена за унапређење третмана солидификације/стабилизације загађеног седимента. II експеримент служио је за одабир ефикаснијег имобилизационог агенса ради опширнијег испитивања његове примене у третманима солидификације/стабилизације (C/C) и солидификације/стабилизације са убрзаном карбонизацијом (C/C/K) загађеног седимента (III експеримент). Дат је опис и припрема материјала коришћених у овој студији (седименти и имобилизациони агенси). У експерименту I коришћени су имобилизациони агенси биопепео P (настао сагоревањем смеше пшеничне и сојине сламе) и биопепео M (настао сагоревањем меласе). У експерименту II коришћени су седимент канала Бегеј након електрокинетичког третмана (S1) и имобилизациони агенси P и M, док је у експерименту III коришћен седимент Великог бачког канала додатно загађен металима (S2) и имобилизациони агенси P и L (калцијум-оксид).

Дат је детаљан опис експерименталних процедура коришћених за реализацију циљева рада. Детаљно је описана процедура извођења убрзане карбонизације, поступак оптимизације ове методе, као и третмани C/C и C/C/K. Приказани су састави монолитних смеша, седимената и имобилизационих агенаса, као и примењене аналитичке методе. Експериментални поступци су приказани јасно и са довољно детаља.

Резултати и дискусија

У овом поглављу детаљно су приказани и дискутовани резултати истраживања. Резултати су обухватили:

- приказ оптималних услова при којима се уочава највећа ефикасност убрзане карбонизације
- садржај метала у почетним узорцима седимената S1 и S2, ради класификације седимената. Поред псеудо-укупног садржаја метала, седименти су били подвргнути тесту секвенцијалне екстракције и тестовима излуживања (DIN и TCLP) са циљем утврђивања потенцијалног ризика по околину и доступности метала од интереса, односно њихове заступљености у појединачним фракцијама седимената
- процену ризика одлагања монолитних смеша у околину применом секвенцијалне екстракције и тестова излуживања, као и заступљеност метала у одређеним фракцијама смеша. Резултати тестова излуживања коришћени су још и за одређивање ефикасности третмана имобилизације метала, али и као параметар доступности метала који утиче на инхибиторни ефекат монолита на бактерије *Vibrio fischeri* чиме су добијене корисне информације о токсичним ефектима монолита на живе организме.
- приказ минеролошког састава и микроструктурних особина монолитних смеша помоћу SEM/EDS и XRD анализа што је значајно допринело у сагледавању механизма који се одвијају у монолитима добијених применом третмана C/C или C/C/K.

Редослед потпоглавља, структура изложеног материјала и начин приказа постигнутих научних резултата су сагласни са очекиваним резултатима датим у извештају о оцени подобности теме за израду докторске дисертације.

Закључак

У овом поглављу јасно и сумарно су приказани добијени резултати и закључци који се односе на рад у целини.

Литература

У овом поглављу наведена је коришћена литература која је актуелна и свеобухватна.

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

1. **Popov, N.**, Rončević, S., Duduković, N., Krčmar, D., Mihaljev, Ž., Živkov Baloš, M., Đorđievski, S. (2021) Ex situ remediation of sediment from Serbia using a combination of electrokinetic and stabilization/solidification with accelerated carbonation treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 28:14969-14982. (M22)
2. **Popov, N.**, Rončević, S., Mihaljev, Ž., Jakšić, S., Rađenović, D., Tričković, J., Živkov Baloš, M. (2019) The application of carbonized ash for the solidification and stabilization of heavy metal contaminated sediment. XXIII International eco-conference®, XIII Environmental protection of urban and suburban settlements, 25-27. 09. 2019. Novi Sad, R. Srbija. Izdavač: Ecological movement of Novi Sad, Novi Sad, 122-128. (M33)
3. Рончевић, С., **Попов, Н.**, Тричковић, Ј., Томашевић-Пилиповић, Д., Watson, M., Варга, Н., Далмација, Б. (2018) Потенцијал примене карбонизованог пепела биомасе за солидификацију/стабилизацију загађеног седимента. Зборник радова Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад, 27.03.2018., Брзеће, Република Србија. Издавач: Удружење за технологију воде и санитарно инжињерство, Београд, 205-211. (M63)
4. **Попов, Н.**, Рончевић, С., Малетић С., Далмација, Б., Варга Н., Керкез, Ђ., Рађеновић Д. (2017) Примена карбонизованих чврстих продуката сагоревања за солидификацију/стабилизацију загађеног седимента. Књига радова V меморијални научни скуп из заштите животне средине „Доцент др Милена Далмација”, 31.03. - 01.04.2017., Нови Сад, Република Србија. Издавач: Природно-математички факултет, Нови Сад, S-7. (M63)
5. **Попов, Н.**, Рончевић, С., Далмација, Б., Тричковић, Ј., Томашевић-Пилиповић, Д., Варга, Н., Рађеновић, Д. (2017) Карбонизација пепела од сламе и примена за солидификацију/стабилизацију седимента са високим садржајем Zn и K. Зборник радова 7. Саветовање „РЕМЕДИЈАЦИЈА 2017”, 16 – 17.10.2017., Палић, Република Србија. Издавач: Удружење за заштиту ваздуха Србије, Београд, 149-153. (M63)
6. **Попов, Н.**, Рончевић, С., Тричковић, Ј., Далмација, Б., Слијепчевић, Н., Спасојевић, Ј., Керкез, Ђ. (2016) Карактеризација чврстих продуката сагоревања у циљу њихове карбонизације и примене за солидификацију/стабилизацију загађеног седимента. Књига радова и апстракта IV меморијални научни скуп из заштите животне средине „Доцент др Милена Далмација”, 01 - 02.04.2016., Нови Сад, Република Србија. Издавач: Природно-математички факултет, Нови Сад, S-6. (M63)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Оптимизацијом процеса убрзане карбонизације установљени су оптимални услови за извођење методе при односу течне/чврсте фазе од 0,3 и времену трајања процеса од 4 сата. Утврђени оптимални услови карбонизације потврђени су на референтним супстанцама (калцијум-оксиду и жареном калцијум оксиду), где је утврђен висок степен конверзије узорака у калцијум карбонат од 89,4% и 100%. Ово је потврђено и гравиметријском анализом узорака и указује на високу ефикасност методе.

Кориговане вредности псеудо-укупног садржаја метала у делу седимента канала Бегеј након примењеног електрокинетичког третмана (седимент S1) указују на контаминацију седимента бавром и никлом (3. класа), односно кадмијумом и цинком (4. класа). Санација овако контаминираних седимента је обавезна или пак чување у контролисаним условима уз посебне мере заштите како би се спречило распрострањавање ових метала у околину. Резултати секвенцијалне екстрације указују на присуство највећих количина Cd и Zn у првој (растворној фази), док су Cu и Ni најзаступљенији у резидуалној фази. Према Коду процене ризика (КПР), изузетно висок ризик по животну средину представља Cd, док Zn представља висок ризик, а Cu и Ni умерен. Према DIN тесту измерени метали категоришу седимент S1 као неинертан, али не и опасан за одлагање, на шта указују и вредности добијене TCLP тестом. Сви измерени метали су испод прописаних вредности осим Cd, чија је вредност блиска граничној и указује на то да се овакав седимент класификује као опасан отпад за који је потребан посебан третман приликом одлагања.

Према DIN и TCLP тесту све монолитне смеше се могу сматрати неопасним и безбедним за одлагање у погледу излуживања Zn, Cu, Cd и Ni. Резултати секвенцијалне екстракције потврђују тренд опадања излуживања метала из монолита (DIN и TCLP тестова) у односу на седимент S1, осим за Ni. Највећи имобилизациони потенцијал за испитиване метале показује монолитна смеша S1P30K (карбонизована смеша седимента S1 и 30% биопепела сламе), у којој су присутне количине Cd према КПП умерено ризичне, док је ризик по животну средину у погледу количина Zn, Cu и Ni низак. Излужене концентрације Zn, Cu, Cd и Ni применом тестова излуживања указују да монолити S1P (смеша седимента S1 и биопепела сламе) показују већу ефикасност имобилизације метала у односу на S1M монолите (смеше седимента S1 и биопепела меласе). Утицај убрзане карбонизације огледао се у повећању заступљености калцита (што је потврђено XRD анализом) у монолитима S1PK (карбонизована смеша) у односу на S1P монолите, што је резултовало већом имобилизацијом метала. Стога је имобилизациони агенс P коришћен за опширније испитивање његове примене у третманима C/C и C/C/K седимента S2 (седимент Великог бачког канала додатно загађен металима).

Кориговане вредности псеудо-укупног садржаја метала у седименту S2 указују на контаминацију Zn, Cu, Cd и Ni (4. класа). Највеће количине ових метала утврђене су у првој растворној фракцији седимента. Према КПП Cu има низак ризик по животну средину, Zn и Ni повишен, док присутне количине Cd указују на изузетно висок ризик. Резултати тестова излуживања карактеришу седимент S2 као неопасан за депоновање у погледу излужених метала Zn, Cu и Ni. Вредности Cd добијене TCLP тестом категоришу овај седимент као опасан отпад што је у корелацији са резултатима секвенцијалне екстракције.

Све монолитне смеше могу се прогласити неопасним за безбедно одлагање са становишта добијених резултата применом тестова излуживања. Тест секвенцијалне екстракције потврдио је тренд опадања излуживања метала из монолита (DIN и TCLP тестова) у односу на седимент S2, осим за Ni. Највећу ефикасност имобилизације испитиваних метала показале су монолитне смеше S2P40K, S2L40K, и S2PL20K (карбонизоване смеше седимента S2 са 40% биопепела сламе, са 40% калцијум-оксида или са по 20% биопепела сламе и калцијум-оксида, редом), код којих је процењен низак ризик по животну средину за сва четири метала. XRD анализом монолитних смеша утврђена је најбоља ефикасност карбонизације код S2L смеше (седимент S2 са калцијум-оксидом), као и да удео L агенса утиче на појаву C-S-H фазе у свим S2L и S2PL монолитним смешама (агенси биопепео сламе и калцијум-оксид). Уочене су разлике у минеролошком саставу између некарбонизованих и карбонизованих облика ових смеша које указују на стварање већих количина калцита, потпуну или делимичну потрошњу портландита праћено незнатним променама садржаја C-S-H фазе. Сличне минеролошке разлике у саставу некарбонизованих и карбонизованих смеша су уочене и код S2P монолита, с тим да се C-S-H фаза може уочити само код некарбонизованих S2P смеша. SEM/EDS анализом монолита S2L40, S2L40K, S2P40, S2P40K, S2PL20 и S2PL20K (смеше S2 седимента са 40% L или 40% P или по 20% P и L, карбонизоване (K) или не) утврђена је већа агломерација честица, компактнија матрица и већи садржај угљеника и кисеоника код монолита добијених третманом C/C/K, што представља потврду резултата XRD анализе, где су утврђени интензивнији пикови калцита код карбонизованих смеша. Измерене pH вредности у елуатима монолита добијених тестовима излуживања биле су ниже код карбонизованих смеша што је утицало на мање излуживање Zn, Cu и Cd из ових смеша, док то није био случај за Ni код карбонизованих S2P и S2PL смеша. Разлика у ефикасности третмана C/C и C/C/K је извршена на основу резултата добијених TCLP тестом. Већа ефикасност имобилизације Zn, Cu и Cd је код монолита насталих C/C/K третманом, с тим да смеше S2L и S2PL показују већу стабилност ових метала у односу на карбонизоване S2P смеше. Већа ефикасност стабилизације Ni постигнута је код S2L и S2PL монолита, с тим да је убрзана карбонизација утицала на смањење ефикасности код карбонизованих S2L и S2PL монолита. Највећи проценат инхибиције биолуминисценције бактерија *Vibrio fischeri* показује седимент S2 што је у доброј корелацији са процењеним ризиком овог седимента применом тестова излуживања и секвенцијалне екстракције. Сви монолити показивали су нижи инхибиторни ефекат од 40%, с тим да карбонизоване смеше имају ниже вредности испитиваног параметра у односу на некарбонизоване.

Примена убрзане карбонизације као технике за унапређење третмана солидификације/стабилизације седимента загађеног металима дала је позитивне ефекте на имобилизацију Zn, Cu и Cd применом биопепела пшеничне и сојине сламе (P), као и калцијум-

оксида (L). Убрзана карбонизација је утицала на имобилизацију ових метала преципитацијом у металне карбонате малих растворљивости, као и инкапсулацију таложењем калцијум-карбоната. Све монолитне смеше су неопасне за безбедно одлагање са аспекта излужених Zn, Cu, Cd и Ni са знатно нижим токсичним ефектом у односу на нетретирани седимент.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Кандидат је веома студиозно приступио обради и анализи прикупљених података, које је успешно систематизовао у логичке целине. Резултати истраживања су детаљно дискутовани и поређени са резултатима релевантне научне литературе. Приказани су јасно, добро илустровани помоћу табела и слика, што свакако доприноси лакшем и потпунијем праћењу објашњења и тумачења. На основу резултата и дискусије изведени су јасни и прецизни закључци, који дају одговоре на постављене задатке у овој докторској дисертацији. Стога, комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

Напомена: Докторска дисертација је у библиотеци Природно-математичког факултета прошла проверу плагијаторства применом софтвера iThenticate и утврђен је индекс сличности ("Similarity Index") од 7% (према упутству произвођача све вредности испод 15% представљају оригиналан научни рад), што потврђује оригиналност докторске дисертације. Постојеће поклапање односило се пре свега на утврђене процедуре извођења одређеног дела експеримента, као и на уредбе и правилнике за тумачење резултата.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

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

Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Ова докторска дисертација представља оригинални научни допринос на пољу заштите животне средине јер је, према нама доступним подацима, први пут испитана примена комбинације три *ex situ* технике за третман седимента загађеног металима: електрокинетичког третмана (ЕК), третмана солидификацијом/стабилизацијом (C/C) и убрзане карбонизације (К).

Седимент канала Бегеј је прво подвргнут електрокинетичком третману, а потом је катодни део овог седимента, у којем су концентрисани метали, третиран третманом C/C и C/C/К. Корист од оваквог приступа је да се електрокинетичком ремедијацијом може концентрисати загађење у мањој запремини седимента, а потом применом ефикаснијег третмана C/C/К могу се успешно имобилисати метали. Како би био испитан утицај веће доступности метала, као и другачијег састава седимента, на могућност примене C/C/К третмана, дати третман је примењен и испитан на седименту Великог бачког канала додатно загађеног одабраним металима.

Додатна корист од примењеног приступа ремедијације могућност искоришћавања великих количина биопепела, који је индустријски отпад, за санацију загађених локалитета, као и безбедно и трајно складиштење угљен-диоксида у добијеним монолитним смешама чиме се даје допринос у напорима да се смање штетни ефекти овог гаса на климатске промене.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Комисија није уочила недостатке дисертације који би утицали на резултате истраживања и мишљења је да су постављени циљеви у потпуности испуњени.

<p>X ПРЕДЛОГ:</p> <p>На основу наведеног, комисија предлаже:</p> <p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже да се прихвати позитивна оцена докторске дисертације под насловом „Испитивање могућности примене убрзане карбонизације у процесу солидификације/стабилизације седимента загађеног тешким металима ” Ненада Попова и да се кандидату Ненаду Попову одобри одбрана.</p> <p>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.</p>

Место и датум:
Нови Сад, 02.07.2021.

КОМИСИЈА

1. др Јелена Тричковић, редовни професор Природно-математичког факултетата у Новом Саду

_____, председник

2. др Срђан Рончевић, редовни професор Природно-математичког факултетата у Новом Саду

_____, члан

3. др Дејан Крчмар, редовни професор Природно-математичког факултетата у Новом Саду

_____, члан

4. др Ђурђа Керкез, ванредни професор Природно-математичког факултетата у Новом Саду

_____, члан

4. др Жељко Михаљев, виши научни сарадник
Научног инситута за ветеринарство „Нови Сад“ у
Новом Саду

_____, члан

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.