

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ – ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Марије М. Лукић, мастер биолога

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Хемијског факултета, одржаној 12.06.2025. године, изабрани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације (152/7) кандидаткиње Марије М. Лукић, мастер биолога, под насловом:

„Уклањање нафтних угљоводоника из воде и седимента интегралним поступком адсорпције и микробне деградације”

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 24.04.2025. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (евиденциони број 61206-1602/2-25). Комисија је докторску дисертацију прегледала и Наставно-научном већу подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја докторске дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Марије М. Лукић написана је на српском језику, на 131 страни А4 формата (фонт Times New Roman величине 12 pt, са проредом 1,0 и маргинама 2 cm) и садржи 52 слике, 13 табела и 12 једначина. Дисертација се састоји из шест поглавља: *Увод* (2 стране), *Преглед литературе* (42 стране), *Материјал и методе* (14 страна), *Резултати и дискусија* (50 страна), *Закључци* (3 стране), *Литература* (14 страна). Поред тога, дисертација садржи: *Захвалницу* на српском језику (1 страна), *Сажетак* на српском језику (1 страна) и енглеском језику (1 страна), *Списак скраћеница* (2 стране), *Садржај* (4 стране), *Биографију кандидаткиње* на српском језику (1 страна), *Списак објављених радова и саопштења* (1 страна), *Изјаву о ауторству* (1 страна), *Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада* (1 страна) и *Изјаву о коришћењу* (2 стране). Дисертација је по овој структури и садржају у потпуности у складу са стандардима прописаним од стране Универзитета у Београду.

Увод дисертације описује изворе контаминације животне средине угљоводоникима нафтног порекла, као и ризике које ово загађење представља, са посебним освртом на водене екосистеме. Дат је и историјски осврт на контаминацију локације чији је процес биоремедијације описан у дисертацији, као и предности пројектоване биоремедијације. Даље, истакнута је важност уклањања фракције дизела растворне у води (*water soluble fractions* - WSF) са освртом на примену зеолита модификованих кватернарним амонијумовим солима у уклањању ове фракције, што је један од циљева дисертације. Наведени су и задаци неопходни за остваривање задатих циљева.

Преглед литературе је подељен на 7 целина. Прва целина „*Аквифери*“ дефинише појам аквифера, њихову структуру и класификацију, као и различите начине повећавања залиха подземних вода. Целина „*Нафта и нафтни производи*“ наводи групе једињења које се налазе у сировој нафти и рафинисаним производима, те утицај структуре нафтних једињења на њихова физичко-хемијска својства. У трећој целини „*Загађење животне средине нафтом и нафтним производима*“ су описани ефекти нафтног загађења на живи свет, а затим кретање и трансформација нафтних једињења у седименту и воденим екосистемима након испуштања у животну средину. У целини „*Уклањање нафтног загађења из земљишта*“ су представљене различите физичко-хемијске и биолошке методе за елиминисање нафтних једињења из земљишта и седимента, као и предности и евентуални недостаци представљених метода. „*Уклањање нафтног загађења из водених станишта*“ је целина у којој су описане различите методе уклањања нафтних загађивача из воде, као и проблеми који могу да се јаве приликом њихове примене. У шестој целини „*Биоремедијација*“ представљени су типови биоремедијације, при чему је више пажње посвећено пројектованој биоремедијацији као приступу примењеном у докторској дисертацији. Објашњени су и појмови биостимулације и биоаугментације, те указано на аспекте које треба узети у разматрање приликом пројектоване биоремедијације, а како би процес био успешан. Даље су наведене предности употребе микроорганизама у ремедијацији животне средине, неки сојеви бактерија који су идентификовани као нафтни деградери, као и различити метаболички путеви разградње нафтних једињења од стране микроорганизама. У оквиру ове целине су наведени и различити фактори који утичу на успешност процеса биоремедијације земљишта и вода. „*Зеолити*“ је целина у којој су обрађени структура, класификација и синтеза зеолита, њихове физичко-хемијске особине које их чине погодним адсорбентима, те различите области у којима су зеолити нашли примену. У оквиру ове целине је описан принцип модификације зеолита кватернарним амонијумовим солима и ефикасност адсорпције нафтних једињења. Осма целина „*Моделовање биосорпције*“ описује адсорпционе изотерме и кинетичке моделе који се користе за добијање података о адсорпционом капацитету и афинитету адсорбента, као и доминантном типу реакције приликом адсорпције.

Поглавље **Материјал и методе** садржи податке о аналитичким, микробиолошким и структурно-инструменталним (GC и GCxGC-MS) методама примењеним за анализу узорака сакупљених током процеса биоремедијације и биодеградације, као и процес припреме биомасе за биоаугментацију аквифера. Описана је методологија примењена за синтезу органозеолита и експеримент адсорпције фракције дизела растворне у води на органозеолиту, као и тест екотоксичности који је један од тестова којим је потврђено уклањање загађења. У сврху карактеризације зеолита и органозеолита примењена је термална анализа, као и FTIR-ATR, SEM анализа и зета потенцијал, док су за доказивање адсорпције растворне фракције дизела на органозеолит коришћена FTIR-ATR, SEM анализа и зета потенцијал. Описан је и експеримент биодеградације и тест респирације који би доказали микробну деградацију полутанта и регенерацију зеолита.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су резултати добијени током израде докторске дисертације. Поглавље је подељено на две целине. Прву целину чини „*In situ биоремедијациони третман аквифера загађеног угљоводоницима нафтног типа*“, док „*Адсорпција и биоразградња растворне фракције дизела на органозеолиту*“ чини другу целину. „*In situ биоремедијациони третман аквифера загађеног угљоводоницима нафтног типа*“ најпре описује локацију на којој је примењен *in situ* биоремедијациони третман, као и процес биостимулације, биоаугментације и рецикулације подземне воде на којима се заснивао третман, те је и детаљно описан биоремедијациони систем који је омогућио рецикулацију подземне воде. GC анализа узорака седимента и подземних вода је показала да је дошло до смањења концентрације укупних

угљоводоника нафте испод биоремедијационих вредности, односно да је примењени третман био ефикасан у уклањању загађења, док је GCxGC-MS анализа седимента дала увид у степен деградације различитих група нафтних угљоводоника. Микробиолошким анализама су идентификовани сојеви микроорганизама, изолованих са контаминираних локација и током целог процеса биоремедијационог третмана је праћена њихова бројност. Такође је показано да је број микроорганизама коришћених у поступку биоремедијације знатно порастао након биоаугментације, док је након завршетка третмана бројност поново опала, што је у одсуству главног извора угљеника (нафтних угљоводоника) очекивано. Експоненцијални модел деградације укупних нафтних угљоводоника у седименту је показао да је степен деградације био независан од почетне концентрације нафтних угљоводоника и да се овај модел у перспективи може користити за процену времена потребног за биодеградијацију нафтних угљоводоника. Целина „Адсорпција и биоразградња растворне фракције дизела на органоzeолиту“ приказује поступак успешне модификације zeолита помоћу кватернарне амонијумове соли (HDTMA) као и резултате адсорпције дизела на органоzeолит, те биодеградијацију адсорбованог загађења и регенерацију адсорбента. Анализом концентрације ослобођених неорганских катјона из zeолита током модификације кватернарним амонијумовим солима и поређењем ових резултата са ЕСЕС вредношћу zeолита је утврђено да је дошло до скоро потпуне размене јона, односно успешне модификације. FTIR анализа чистог HDTMA раствореног у води и супернатанта након модификације је додатно потврдила модификацију. Даље, модификација zeолита помоћу HDTMA потврђена је FTIR и SEM анализама, термалном анализом (DSC и TG), као и одређивањем зета потенцијала природног zeолита и органоzeолита. Абсорпционе траке у FTIR спектру органоzeолита, а које су одсутне у FTIR спектру природног zeолита, затим губитак масе током термалне анализе, промена вредности зета потенцијала након модификације (мање негативна вредност) као и промена структуре површине органоzeолита у поређењу са природним zeолитом на SEM микрографијама, су показали присуство сурфактанта на површини zeолита. Анализом података добијених током адсорпције WSF дизела је показано да се они добро уклапају у модел линеарне изотерме, док кинетички подаци сугеришу да би корак који укључује хемијску адсорпцију могао бити корак који одређује брзину процеса адсорпције. Успешност адсорпције WSF дизела на органоzeолит је процењена FTIR и SEM анализом, као и одређивањем зета потенцијала органоzeолита пре и након адсорпције, као и GC анализом раствора воде и адсорбента. У FTIR спектру органоzeолита+WSF су уочене абсорпционе траке одсутне у FTIR спектру органоzeолита, на SEM микрографијама је површина органоzeолита била готово у потпуности прекривена молекулима WSF, док је вредност зета потенцијала органоzeолита+WSF била негативнија у односу на органоzeолит. Биодеградициони експеримент у трајању од 15 дана је показао да конзорцијум микроорганизама разградио 80% адсорбованог загађења, док су респирометријске анализе потврдиле хипотезу да ће, паралелно са разградњом полутанта, доћи и до биодеградиције дуголанчаних HDTMA јона на површини органоzeолита.

У поглављу **Закључци** су представљени најважнијих закључци добијени током израде ове докторске дисертације.

Наведена **Литература** (208 цитата) обухвата радове, књиге и дисертације из области истраживања ове докторске дисертације.

Б. Кратак приказ резултата

У докторској дисертацији кандидаткиње Марије М. Лукић је представљен процес *in situ* биоремедијације седимента и подземне воде контаминираних угљоводоникима нафте на

индустријском нивоу, као и испитивање нове технолошке процедуре за уклањање растворне фракције (WSF) дизела из вода.

In situ биоремедијациони третман се састојао од биостимулације, биоаугментације и рецикулације подземне воде у затвореном систему који су чинили инјекционо/екстракциони бунари и филтрационо/адсорпционе биореакторске колоне. Рецикулација подземне воде кроз биореакторске колоне, које су биле испуњене адсорпционим материјалом, је обезбедила делимичну аерацију воде, као и додатну површину за везивање микроорганизама и полутанта. За биоаугментацију је коришћен зимогени конзорцијум микроорганизама који су изоловани из контаминираниог седимента и таксономски окарактерисани. Показало се да су представници нафтних деградера припадали родовима *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Erwinia*, *Kaistia*, *Ochrobactrum*, *Paracoccus*, *Prolinoborus*, *Pseudarthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, и *Staphylococcus*. Пре инокулације биомасе, а како би се поспешили аеробни процеси и абиотичка оксидација, аквифер је активиран коришћењем 30% H_2O_2 . Након биоаугментације, удео нафтних деградера у укупном броју хемоорганохетеротрофних микроорганизама је порастао 60 пута у седименту, док је број нафтних деградера у подземној води одржаван између 10^5 и 10^8 CFU/mL. GC анализа је показала да је током процеса биоремедијације садржај укупних нафтних угљоводоника у седименту смањен за 82%, а у подземној води за $\approx 98\%$. На основу GCxGC-MS анализе седимента утврђено је смањење различитих група нафтних угљоводоника и то у следећем редоследу: стерана (99,58%), изопреноида (98,39%), деривата бензена (98,35%), алкана (97,17%) и терпана (49,32%). Експоненцијални модел деградације у седименту је показао да је највећи степен деградације био на дубинама од 8 до 10 м, са просечном константом деградације од 0,227, независно од почетне концентрације нафтних угљоводоника. Ови резултати показују да је примењени *in situ* биоремедијациони третман био врло ефикасан у уклањању нафтних угљоводоника из подземне воде и седимента у контакту са подземном водом.

У другом делу дисертације је приказан експеримент којим је испитана нова технолошка процедура пречишћавања вода контаминираних са WSF дизела, јер ова фракција представља велику претњу за живе организме због садржаја различитих токсичних једињења. Анализирана је способност природног зеолита, чија је површина модификована помоћу кватернарне амонијумове соли хексадецилтриметиламонијум бромид (HDTMA-Br) за адсорпцију растворне фракције дизела из воде. Успешност модификације зеолита помоћу HDTMA, односно синтезе органозеолита, потврђена је поређењем концентрације ослобођених неорганских катјона из зеолита ($\text{K}^+ = 0,11 \text{ meq}/100 \text{ g}$, $\text{Na}^+ = 1,38 \text{ meq}/100 \text{ g}$, $\text{Mg}^{2+} = 2,35 \text{ meq}/100 \text{ g}$ и $\text{Ca}^{2+} = 3,84 \text{ meq}/100 \text{ g}$) са вредношћу спољашњег капацитета за размену катјона природног зеолита ($10 \text{ meq}/100 \text{ g}$). Даље, успешност модификације је потврђена FTIR анализом, термалном анализом (диференцијалном скенирајућом калориметријом (DSC) и термогравиметријом (TG)), одређивањем зета потенцијала и SEM анализом. Абсорпционе траке на 2925 cm^{-1} , 2853 cm^{-1} и 1467 cm^{-1} FTIR спектра органозеолита, а које су одсутне у FTIR спектру природног зеолита, потврђују присуство HDTMA јона на површини природног зеолита. Такође, промена зета потенцијала зеолита након модификације са HDTMA (са $-31,4 \text{ mV}$ на $-17,9 \text{ mV}$) указује на постојање мицела HDTMA на површини зеолита. Поређењем SEM микрографија природног зеолита и органозеолита уочено је да тубуларна структура природног зеолита бива прекривена јонима HDTMA, те да органозеолит поседује разгранате, плочасте насlage на површини. Експерименти адсорпције су изведени у шаржном систему са почетним концентрацијама WSF дизела од 2,5 до 25 mg/L при pH 6 и температури од 20 °C. GC анализом је показано уклањање више од 90% WSF дизела, при чему је равнотежа постигнута након 1 сата. Такође, тест екотоксичности помоћу биолуминисцентне бактерије *Aliivibrio fischeri* је показао да је инхибиција биолуминисценције опала са 57%-93% на око 6%-26% након адсорпције дизела, при испитиваним концентрацијама полутанта. Након експеримента адсорпције је органозеолит

подвргнут FTIR и SEM анализама, као и одређивању зета потенцијала. Поређењем FTIR спектра дизела и органоzeолита пре и након адсорпције WSF дизела, на FTIR спектру органоzeолита+WSF дизела уочене су апсорпционе траке на 1458 cm^{-1} и 1377 cm^{-1} које су присутне у спектру дизела, али одсутне у спектру органоzeолита, што потврђује присуство WSF дизела на површини органоzeолита након адсорпције. Промена у зета потенцијалу органоzeолита након адсорпције WSF дизела (са $-17,9\text{ mV}$ на $-29,3\text{ mV}$) говори у прилог томе да су молекули WSF дизела изазвали промене у површинском набоју органоzeолита. SEM микрографије су показале да је површина органоzeолита била готово у потпуности прекривена молекулима WSF дизела. Максимални капацитет адсорпције органоzeолита за уклањање WSF дизела из воде при испитиваним условима је износио $22,2\text{ mg/g}$. Овај резултат се добро уклапа у модел линеарне изотерме. Кинетички подаци су се добро уклопили у једначину псеудо-другог реда, што сугерише да би корак који укључује хемијску адсорпцију могао да буде корак који одређује брзину процеса адсорпције дизела. Након адсорпције је спроведен 15-дневни експеримент биодеградације у шаржним условима. Резултати су показали да је испитивани конзорцијум микроорганизама, састављен од представника изолованих у првом делу дисертације, разградио 80% адсорбованог полутанта. Додатне респирометријске анализе су показале да је, паралелно са разградњом плутанта, дошло и до разградње дуголанчаних HDTMA јона на површини органоzeолита, односно до регенерације адсорбента.

В. Упоредна анализа резултата кандидаткиње са резултатима из литературе

Подземна вода представља значајан извор пијаће воде за велики проценат људске популације, пре свега у аридним и полуаридним областима. Са друге стране, потреба за енергијом се континуирано повећава. Вишедеценијска експлоатација, прерада и транспорт нафтних производа је оставила последице на земљиште, седимент и воду. Након испуштања у животну средину, нафтни угљоводоници се крећу кроз земљиште адсорбујући се на земљишне честице, док део пролази до подземних вода [1]. Фракција нафтних угљоводоника која остаје у седименту представља резидуалну фазу која се понаша као континуирани извор загађења подземних вода [1,2]. Развијене су различите методе за пречишћавање контаминираних вода и земљишта, од којих је биоремедијација у предности због своје ефикасности, исплативости и одсуства штетних нуспроизвода. Такође, пројектована биоремедијација је бржи процес од природне, јер се ослања на биостимулацију и биоаугментацију, при чему се за биоаугментацију најчешће користи конзорцијум микроорганизама изолованих са контаминираног локалитета (зимогени конзорцијум) [3,4]. Ова зелена технологија има значајне предности у односу на друге технологије како у погледу цене тако и у ефикасности у уклањању полутаната. Биоремедијација најмање нарушава животну средину и у потпуности је у складу са принципима одрживог развоја. *In situ* биоремедијациони третман описан у овој дисертацији је потврдио да биоаугментација коришћењем зимогеног конзорцијума микроорганизама у комбинацији са биостимулацијом и рециркулацијом подземне воде ефикасно уклања полутанте из подземне воде, док се, захваљујући флукуацији нивоа подземних вода, микроорганизми и нутријенти преносе и до честица седимента, што омогућава истовремену биоремедијацију седимента и подземних вода једним поступком.

Даље, последњих година се доста пажње посвећује фракцији нафтних угљоводоника која је растворна у води, пре свега због изузетне токсичности за акватичне организме, а посебно и због чињенице да може да има дугорочне последице на подручја која су удаљена од првобитног изливања [5]. Употреба сорбената за пречишћавање вода од нафтних загађивача је у фокусу великог броја истраживача. Један од новијих приступа у решавању проблема пречишћавања загађених вода је употреба различитих филтера на бази природних алумосиликатних минерала.

Они су ефикасни, а истовремено еколошки и економски прихватљиви адсорбенти. Природни алумосиликатни минерали имају широку примену као катјонски измењивачи, захваљујући негативном наелектрисању решетке и порозности структуре. Савремена истраживања указују на то да су наведени минерали, без претходне модификације, високо ефикасни у процесу адсорпције токсичних метала и других катјонских полутаната присутних у загађеним водама. Међутим, негативно наелектрисање алумосиликатне решетке минерала омогућава површинску модификацију катјонским површински активним супстанцама (модификаторима) у циљу повећања и проширивања адсорпционе ефикасности. Дакле, контролисаним процесом модификације површине минерала органским модификаторима, као што су дуголанчани молекули кватернарних амонијумових соли, настају нови органоминерални комплекси. Површина добијеног комплекса је хидрофобна што овако модификоване минерале чини погодним адсорбентима за разне органске загађиваче. Доступност, добре хидрауличке особине и релативно ниска цена алумосиликатног минерала подстичу даља истраживања у области њихове примене као филтера у пречишћавању вода [6].

У другом делу дисертације је представљен лабораторијски експеримент заснован на адсорпцији растворне фракције дизела на зеолиту модификованом хексадецилтриметиламонијум бромидом, те пратеће биоразградње адсорбованих полутаната. Резултати добијени FTIR и SEM анализом органозеолита пре и након адсорпције дизела су у складу са литературним подацима, што је потврдило модификацију зеолита и адсорпцију контаминанта на површину органозеолита [7,8,9]. Адсорпција WSF дизела на органомодификованом адсорбенту и биодеградација помоћу конзорцијума микроорганизама је до сада испитивана у облику у ком је, након адсорпције, биодеградација примењена за третман супернатанта након уклањања WSF дизела [10]. С обзиром на то да се биоразградња загађујућих супстанци не може вршити независно од биоразградње адсорбента који садржи органску фазу (дуголанчани молекули кватернарних амонијумових соли), постављена хипотеза да ће дуголанчани органски катјони, који се користе за површинску модификацију зеолита, бити истовремено микробиолошки разложени је потврђена.

Обе описане процедуре за уклањање нафтних угљоводоника су аутентичне и мало је литературних података који су упоредиви само са појединим деловима експеримената, што је и приказано у овом извештају.

Литература

- [1] Logeshwaran, P., Megharaj, M., Chadalavada, S., Bowman, M., Naidu, R., 2018. Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches. *Environmental Technology and Innovation* 10, 175–193. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.02.001>
- [2] Kehew, A.E., Lynch, P.M., 2011. Concentration trends and water-level fluctuations at underground storage tank sites. *Environmental Earth Sciences* 62, 985–998. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0583-6>
- [3] Łebkowska, M., Zborowska, E., Karwowska, E., Miałkiewicz-Pęska, E., Muszyński, A., Tabernacka, A., Naumczyk, J., Jęczalik, M., 2011. Bioremediation of soil polluted with fuels by sequential multiple injection of native microorganisms: Field-scale processes in Poland. *Ecological Engineering* 37, 1895–1900. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.047>
- [4] Rizzo, P., Malerba, M., Bucci, A., Sanangelantoni, A.M., Remelli, S., Celico, F., 2020. Potential enhancement of the *in-situ* bioremediation of contaminated sites through the isolation and screening of bacterial strains in natural hydrocarbon springs. *Water* 12, 2090. <https://doi.org/10.3390/w12082090>

- [5] Müller, J.B., Melegari, S.P., Perreault, F., Matias, W.G., 2019. Comparative assessment of acute and chronic ecotoxicity of water soluble fractions of diesel and biodiesel on *Daphnia magna* and *Aliivibrio fischeri*. *Chemosphere* 221, 640-646. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.069>
- [6] Muir, B., Bajda, T., 2016. Organically modified zeolites in petroleum compounds spill cleanup — Production, efficiency, utilization. *Fuel Processing Technology* 149, 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.04.010>
- [7] Hamoud, M.A., Abo-Zahra, S.F., Attia, M.A., Someda, H.H., Mahmoud, M.R., 2023. Efficient adsorption of cesium cations and chromate anions by one-step process using surfactant-modified zeolite. *Environmental Science and Pollution Research International* 30, 53140–53156. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25644-y>
- [8] Maithomklang, S., Sukjit, E., Srisertpol, J., Klinkaew, N., Wathakit, K., 2023. Pyrolysis oil derived from plastic bottle caps: Characterization of combustion and emissions in a diesel engine. *Energies* 16, 2492. <https://doi.org/10.3390/en16052492>
- [9] Obradović, M., Daković, A., Smiljanić, D., Marković, M., Ožegović, M., Krstić, J., Vuković, N., Milojević-Rakić, M., 2024. Bentonite modified with surfactants – efficient adsorbents for the removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Processes* 12, 96. <https://doi.org/10.3390/pr12010096>
- [10] Lopičić, Z.R., Šoštarić, T.D., Milojković, J.V., Antanasković, A.V., Milić, J.S., Spasić, S.D., Avdalović, J.S., 2024. Efficient removal of water soluble fraction of diesel oil by biochar sorption supported by microbiological degradation. *Processes* 12, 964. <https://doi.org/10.3390/pr12050964>

Г. Радови и саопштења кандидаткиње:

Рад у водећем међународном часопису (M21)

1. **Lukić M**, Daković A, Joksimović K, Milić J, Obradović M, Beškoski V, Avdalović J (2024) Removal of diesel from aqueous solutions by a combined adsorption and microbial degradation process. *Minerals* 14:1287. <https://doi.org/10.3390/min14121287>
2. **Lukić M**, Avdalović J, Gojgic-Cvijovic G, Žeradjanin A, Mrazovac Kurilic S, Ilic M, Miletić S, Vrvic M, Beškoski, V (2024) Industrial-scale bioremediation of a hydrocarbon-contaminated aquifer's sediment at the location of a heating plant, Belgrade, Serbia. *Clean Technol. Environ. Policy* 26, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02724-8>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Avdalović, J., Lugonja, N., Šoštarić, T., **Lukić, M.**, Milić, J., Milojković, J., Conić, V., **2022.** Recovery of copper from ore dump using bioleaching approach. 16th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia, September 26-30, pp 453-456.
2. Avdalović, J., Lugonja, N., Joksimović, K., **Lukić, M.**, Milić, J., Lopičić, Z., Milojković, J., **2021.** Does humification take place during biodegradation of petroleum hydrocarbon? Physical Chemistry, 15th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Belgrade, Serbia, September 20-24, pp.551-553.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (M64)

1. Žerađanin, A., **Lukić, M.**, Ilić, M., Avdalović, J., Milić, J., Jednak, T., Beškoski, V., **2018.** Ispitivanje naftnih zagađujućih supstanci u uzorcima sedimenta na lokalitetu Toplane Novi Beograd. 8. Simpozijum Hemija i zaštita životne sredine sa međunarodnim učešćem Envirochem, Srpsko hemijsko društvo, Knjiga izvoda, 29. maj-01. jun 2018., Kruševac, Srbija, pp. 135-136.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност докторске дисертације Марије М. Лукић је проверена 16.5.2025. године на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22.06.2018). Помоћу програма „iThenticate“, утврђено је да количина подударача текста износи 6%. Подударности од по 1% су последице општих места, библиографских података у коришћеној литератури, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из докторске дисертације. Преостале подударности <1% су последица цитата, личних имена и звања, формула и описа коришћених експерименталних метода, назива и скраћеница једињења, као и инструменталних техника, што је у складу са чланом 9. овог Правилника. Комисија сматра да је докторска дисертација Марије М. Лукић оригинална, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак

Прегледом докторске дисертације, Комисија је закључила да докторска дисертација под насловом: „**Уклањање нафтних угљоводоника из воде и седимента интегралним поступком адсорпције и микробне деградације** ” кандидаткиње Марије М. Лукић, мастер биолога представља научно вредан допринос у развоју нове технолошке процедуре пречишћавања вода контаминираних растворном фракцијом дизела. Комисија је закључила да је кандидаткиња успешно испунила све постављене задатке који се тичу изоловања и карактеризације микроорганизама са контаминираних локација; доказивања да *in situ* биоремедијациони третман на индустријском нивоу, базиран на биостимулацији, биоаугментацији зимогеним конзорцијумом микроорганизама и рецикулацији контаминираних подземних вода у затвореном систему, представља технолошки приступ успешно применљив на сложене системе какви су аквифери; синтезе и карактеризације органозеолита, као и његове успешне примене за адсорпцију растворне фракције дизела, те доказивања да је зимогени конзорцијум микроорганизама ефикасан у деградацији како адсорбованог полутанта тако и дуголанчаних органских јона коришћених за модификацију зеолита. Ови резултати су потврдили постављену хипотезу да ће конзорцијум микроорганизама, поред адсорбоване загађујуће супстанце, разградити и дуголанчане молекуле кватернарних амонијумових соли, те да ће резултат биодеградације бити уклоњени полутант и регенерисани зеолит који се даље може поново модификовати.

Комисија сматра да резултати објављени у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан научни допринос у области хемије животне средине јер је у оквиру својих истраживања по први пут применила интегрални процес адсорпције и микробне деградације нафтог полутанта адсорбованог на органозеолиту.

Резултати истраживања проистекли из ове докторске дисертације објављени су у оквиру два научна рада у водећим међународним часописима (M21) и саопштењу са скупа националног значаја штампано у изводу (M64).

На основу свега изложеног Комисија сматра да се ова дисертација уклапа у савремене трендове хемије животне средине, те на основу свега изложеног предлаже Наставно–научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да прихвати поднету докторску дисертацију Марије М. Лукић под насловом *„Уклањање нафтних угљоводоника из воде и седимента интегралним поступком адсорпције и микробне деградације”* и одобри њену одбрану.

У Београду, 27.06.2025.

Комисија:

др Владимир Бешкоски, редовни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Бранимир Јованчићевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Јелена Авдаловић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију
Институт од националног значаја за Републику Србију

др Александра Жерађанин, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију
Институт од националног значаја за Републику Србију

др Кристина Јоксимовић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију
Институт од националног значаја за Републику Србију