

КОМИСИЈА ЗА ПРЕГЛЕД И ОЦЕНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
КАНДИДАТА: OMAR MOUSAY MOHAMMED

УНИВЕРЗИТЕТ МЕТРОПОЛИТАН
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИМЕЊЕНУ ЕКОЛОГИЈУ "ФУТУРА"
Већа департмана последипломских студија

ИЗВЕШТАЈ О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије број 21/7-26 од 28.01.2026 године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Omar Mousay Mohammed** под називом "**Гетит модификовани експандирани вермикулит као адсорбент за уклањање As(V) и родамина В: развој одрживих технологија за одлагање отпадних материјала**" о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату и докторској дисертацији

Основни подаци о кандидату

Кандидат Omar Mousay Mohammed је рођен 31. 5. 1974. године у граду Girian – Либија. Основне студије је завршио на Факултету за примењену екологију Футура, Београд, Универзитет Сингидунум, Београд 2016 год. са просечном оценом 8,09. Мастер академске студије завршио је на Факултету за примењену екологију Футура, Београд, Универзитет Сингидунум, Београд 2019 год. са просечном оценом 8,71. Докторске студије уписује на Факултету за примењену екологију Футура 2022. године. Ради као доцент на Универзитету Aljabl Algrbi - Либија.

Кандидат Omar Mousay Mohammed има објављени рад:

У часопису „ Science of Sintering 2025 OnLine-First Issue“ импакт фактор 1.3, категорије M22

Omar Mousay Mohammed, Mladen Bugarčić, Marija M. Vuksanović, Milica Vasović, Slavko Mijatov, Aleksandar Marinković, Boris Vakanjac. *Goethite modified expanded vermiculite adsorbent for As(V) and Rhodamine B removal: Sustainable technologies development for waste materials disposal*
<https://doi.org/10.2298/SOS250331027M>

У овој докторској дисертацији, предмет истраживања се односи на припрему и карактеризацију експандираног вермикулита (EVer) који је активиран киселином и силанизован како би се добила одговарајућа површина супстрата за декорацију оксихидроксидима гвожђа. Добијени активирани узорак (EВа) је декорисан таложењем оксихидроксида гвожђа у гетит, што је резултирало EВа-Г адсорбентом.

Докторска дисертација кандидата је урађена на укупно 102 стране, од чега 14 страна чини прилог и списак литературе. Списак литературе обухвата 216 референци које чине научни радови, књиге, зборници радова као и електронски извори. Уз основни текст дисертација садржи и 37 слика и 9.

Докторска дисертација кандидата **Omar Mousay Mohammed** је била подвргнута провери софтвером за установљавање преклапања/плагијаризма.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања: Да би се спречило испуштање ових опасних загађивача у екосистем, предлажу се нове технологије за пречишћавање воде. Многе технике, као што су хемијска преципитација, испаравање, екстракција растварачем, јонска размена, електрохемијски третман и мембранска филтрација, користе се у процесу уклањања загађивача. Међутим, за уклањање метала присутних у ниским концентрацијама, процес адсорпције се показује као најповољнији. Адсорпција нуди бројне предности, укључујући ниске трошкове, доступност, профитабилност, једноставност употребе и високу ефикасност, што је чини идеалном техником за уклањање како органских тако и неорганских загађивача из отпадних вода.

Глина је фино зрнаста природна сировина која се налази на површини земље и састоји се углавном од силицијум диоксида, глинице, воде и истрошених стена. Већ више од једне деценије, глина се користи као ефикасан адсорбент за уклањање тешких метала из водених раствора. Њена пластичност омогућава да мења облик у зависности од садржаја воде, а када се осуши, постаје чврста.

Глина као адсорбент има бројне предности у односу на друге комерцијалне адсорбенте, укључујући ниску цену, доступност, велику специфичну површину, нетоксичност и висок потенцијал за размену јона. Због ових својстава, научници све више истражују њену употребу за третман воде. Глина је природно негативно наелектрисана и ефикасна у адсорпцији металних катјона, што је чини погодном за уклањање тешких метала из водених раствора.

Предмет истраживања је био усмерен на чињеницу да киселинска активација вермикулита је процес који доводи до значајних промена у његовој структури и својствима, чиме се побољшава његова примена у различитим областима, као што су адсорпција и катализа. Овим процесом настају структурни дефекти који омогућавају да се на површину вермикулита вежу различити функционални агенси, као што је 3-меркаптопропил триметоксисилан (MPTS). Ова промена доводи до повећане киселости

материјала, што убрзава хемијске реакције и чини вермикулит ефикаснијим у процесима адсорпције и каталитичких реакција.

Циљ предложене докторске дисертације је анализа Адсорпционих својства честица ЕВа-Г испитаниј у шаржном систему. Кинетика адсорпције је праћена моделима базираним на брзини хемијске реакције, при чему се модел псеудо другог реда показао као најприкладнији. Из овог модела одређене су енергије активације, као и промене енталпије, ентропије и Гибсове енергије. Анализом дифузионих модела утврђено је да се експериментални подаци најбоље уклапају у Weber-Morris модел унутарчестичне дифузије, што указује на двостепени механизам транспорта адсорбата – кроз гранични слој и унутар честица адсорбента.

Експерименти адсорпције који су спроведени у шаржном систему показали су добар потенцијал за пречишћавање воде контаминираним арсенатом и катјонским бојама. Равнотежни адсорпциони капацитет ЕВа-Г је постигнут на 59,31 и 223,2 mg g⁻¹ у односу на As(V) и RB, респективно.

Осим шаржних адсорпционих експеримената, испитани су и процеси десорпције са честица ЕВа-Г, као и могућности одлагања отпадних вода и третмана истрошеног адсорбента. Утврђено је да је тренд ефикасности регенерације адсорбента смањен са 95,8 на 78,6 % за As(V) и са 97,4 на 86,2 % за RB након десет циклуса адсорпције/десорпције, што указује на висок потенцијал за примену ЕВа-Г. Задовољавајућа десорпција засићеног ЕВа-Г адсорбента након десет циклуса адсорпције/десорпције ствара исцрпљени адсорбент и загађену ефлуентну отпадну воду која садржи As(V) и RB.

1. Хипотетички оквир истраживања

Хипотетички оквир овог истраживања заснива се на претпоставци да се природни минерални материјали, као што је експандирани вермикулит (EVer), могу хемијски модификовати гетитом (FeOOH) и функционализовати тако да добију високу ефикасност у уклањању специфичних загађивача из водених раствора — конкретно арсената (As(V)) и органских бојила као што је родамин В (RB). Овај оквир подразумева неколико међусобно повезаних хипотеза:

Основне хипотезе:

1. **Структурна модификација вермикулита гетитом доводи до значајног повећања адсорпционог капацитета за As(V) и RB.** *Образложење:* Гетит, као аморфни оксид гвожђа, има високу афинитетност према арсенатним јонима, док вермикулит обезбеђује порозну матрицу и велику специфичну површину. Њихова комбинација ствара синергетски ефекат.
2. **ЕВа-Г адсорбент задржава стабилност и ефикасност током више циклуса адсорпције/десорпције.** *Образложење:* Уколико се материјал може регенерисати без значајног губитка капацитета, то га чини економски и еколошки одрживим.
3. **Родамин В се може ефикасно деградирати фотокаталитичким процесом након десорпције, чиме се спречава секундарна контаминација.** *Образложење:*

Органска бојила често представљају проблем у третману отпадних вода, али фотокатализа (нпр. уз TiO_2) може довести до њихове минерализације.

4. **Истрошени EVA-G адсорбент може се успешно инкапсулирати у полимерне матрице (нпр. UPR + ATH), чиме се добијају композити са побољшаним термомеханичким својствима и отпорношћу на пламен.** *Образложење:* Уместо депоновања, отпадни адсорбент добија нову функцију у индустријским материјалима, што је у складу са принципима циркуларне економије.

Теоријски темељи:

- **Минералологија и површинска хемија:** Вермикулит и гетит као носиоци адсорпционе активности.
- **Еколошки инжењеринг:** Третман токсичних јона и органских бојила.
- **Материјалне науке:** Рециклажа отпадних адсорбената у композитне материјале.
- **Одрживи развој:** Интеграција третмана воде и управљања отпадом у један технолошки процес.

Методолошке импликације:

Хипотетички оквир захтева примену више аналитичких техника:

- FTIR, XRD, SEM/EDS за карактеризацију материјала,
- UV-Vis спектрофотометрија за праћење концентрације RB,
- ICP-MS или AAS за анализу As(V),
- термогравиметрија и испитивање отпорности на пламен за композите.

2. Методологија истраживања

Коришћено је више метода

Карактеризација адсорбента и композитних материјала зависи од њихове природе и може се вршити различитим методама. За адсорбенте су примењене скенирајућа електронска микроскопија (SEM), дифракција рендгенских зрака (XRD) и инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR). Композитни материјали су испитивани у погледу механичких својстава, укључујући тестове савијања, микротврдоће и динамичко-механичка испитивања.

Електронски микроскоп функционише на сличном принципу као и светлосни микроскоп, али уместо видљиве светлости користи електроне. Због веома кратке таласне дужине електрона, електронски микроскопи постижу далеко већу резолуцију од оптичких, омогућавајући преглед изузетно малих структура. Таласна дужина електрона може се прилагодити применом високог напона.

Физичко-хемијска и механичка својства примерена стандардном искоришћавању у различитим условима уобичајеним у грађевинарству (полагање вртних стаза, облагање

паркирних површина, израда кућних ограда, производња украсних скулптура, прекривање кровних површина, облагање канала итд.). Посебна својства бетонских производа израђених на бази солидификата унапређују техничко-технолошке карактеристике уобичајених бетонских елемената, код којих се, поред еколошких услова, појављују и друге изразите вредности погодне за његово искоришћавање, а нарочито због: ниске цене готових производа, мање јединичне тежине производа, повишених хидроизолационих својстава, повишених термоизолационих својстава и повишених акустичкоизолационих својстава.

Спектроскопске методе које се користе за анализу хемијских једињења и одређивање њихове структуре су Фуријеова трансформацијска инфрацрвена спектроскопија и нуклеарна магнетна резонанца.

Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (енгл. FTIR) омогућава идентификацију хемијских веза у молекулу кроз инфрацрвени апсорпциони спектар. Овај спектар представља молекуларни „отисак прста” узорка, који се може користити за анализу различитих једињења.

Припрема и обрада података у оквиру процеса истраживања које подразумева третман различитих врста опасног индустријског отпада технолошким поступком MID-MIX® и анализа солидификата добијених уз помоћ MID-MIX®, у циљу њиховог коришћења у путној и грађевинској индустрији представљена је одговарајућим графицима, табеларним приказима, шемама и другим инструментима који се користе у научно-истраживачком раду MID-MIX®.

Нуклерана спектроскопија магнетне резонанце (енгл. NMR) је недеструктивна техника која користи магнетна својства језгра за анализу његовог хемијског окружења у молекулу. Примењује се у течном и чврстом стању, као и у једнодимензионалним, дводимензионалним и вишедимензионалним експериментима, пружајући податке о структури, саставу, чистоћи, молекуларној тежини, динамици и дифузионим својствима наноматеријала. Савремена достигнућа омогућила су њену примену и у спектроскопији суспензија.

Дифракција рендгенских зрака (енгл. XRD) је техника која се користи за проучавање кристалне структуре материјала. Рендгенски зраци, чија таласна дужина је између 0,2 и 10 нанометара, су упоредиви са међуатомским размаком у кристалима, што омогућава истраживање структуре материјала на атомском нивоу

Динамичка механичка анализа (DMA) је важна техника за разумевање понашања материјала под различитим условима напрезања. Ова метода укључује примењивање осцилаторног напрезања на материјал и мерење његове деформације како би се проценили његови механички параметри као што су чврстоћа и вискозност. Користи се да би се добили подаци о томе како материјали реагују на промене температуре и фреквенције

напрезања. DMA је од посебног значаја у науци о материјалима јер омогућава процену вискоеластичних својстава материјала. Вискоеластичност се односи на деформацију материјала која зависи од времена, комбинујући еластичне и вискозне карактеристике.

3. Кратак приказ садржаја докторске дисертације

Рад се састоји из 10 поглавља. Подељена је на два дела теоријски и практични део

У уводу је углавном дискутована проблематика загађивача и глине као адсорбента са освртом на у овом случају испитивани елемент арсен

У **теоријским** делу се обрађују: 1. Глина, својства и класификација глина, структура глина; 2. Вермикулит, методе модификације вермикулита, активација киселином, органске модификације, модификација јонске размене, примене вермикулита, адсорпција, катализа и пуниоци у полимерним материјалима; 3. Уклањање загађивача из воде, арсен - As(V), технике за уклањање арсена из воде, родамин Б, различити адсорбенти за уклањање Родамин Б боје, 4. Адсорпција, изотерме адсорпције, кинетички модели адсорпције, адсорпциона термодинамика; 5. Композити, незасићене полиестарске смоле; 6. Методе испитивања материјала, микроскопско испитивање материјала, методе спектроскопије, инфрацрвена спектроскопија Фуријеове трансформације (FTIR), спектроскопија нуклеарне магнетне резонанце, дифракција рендгенских зрака, механичких својстава композита, динамичко механичко испитивање (енгл. DMA).

У **експерименталном** делу се обрађују: 7. Припрема узорака, материјали, припрема адсорбента, активација узорка ЕВ, таложење гетита на површини EVa (α -FeO(OH)/EVa) (енгл. EVa-G), студија шаржне адсорпције, студија десорпције, одлагања истрошеног адсорбента, методе које се користе за карактеризацију, Микроскопија, XRD анализа, FTIR и NMR анализа, Механичка својства, испитивање запаљивости UL-94; 8. Резултати и дискусија, карактеризација адсорбента EVa-G, адсорпционе изотерме, термодинамичка студија, кинетика, десорпција, развијене технологије за одлагање исцрпљеног адсорбента и десорпционог раствора, FTIR и SEM анализа композита на бази полиестарских смола, SEM слике попречног пресека поломљених површина композита, механичка својства композита, тест отпорности на ватру.

У закључку 9. кандидат констатује: Функционализација експандираног вермикулита гетитом (EVa-G) показала се као ефикасно, економично и одрживо решење за уклањање различитих органских и неорганских загађивача из воде. Материјал је детаљно окарактерисан и демонстрирао је висок адсорпциони капацитет, стабилност током више циклуса регенерације и спонтаност процеса адсорпције, што је потврђено термодинамичким параметрима. Механизам уклањања укључује и физичку и хемијску адсорпцију, а ендотермна природа процеса омогућава повећање ефикасности са растом температуре. Поред примене у пречишћавању воде, отпадни адсорбент (exEVa) може бити валоризован као пунило у полимерним композитима, чиме се смањује еколошко

оптерећење и истовремено побољшавају термичка стабилност и ватроотпорност материјала, што их чини погодним за грађевинске и противпожарне примене. Овај двоструки приступ – примена EVa-G у третману воде и рециклажа истрошеног материјала у композите – представља пример успешне циркуларне економије, са потенцијалом да се додатно унапреди кроз функционализацију површине и употребу компатибилизационих агенаса ради побољшања механичких својстава композита.

4. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

Научна и стручна оправданост истраживања на тему **Гетит модификовани експандирани вермикулит као адсорбент за уклањање As(V) и родамина В: развој одрживих технологија за одлагање отпадних материјала**" указују да на еколошки безбедан и прихватљив начин, ова методологија доприноси смањењу загађења и заштити животне средине.

Научна актуелност и друштвена релевантност теме, Предложена тема се бави третманом индустријских отпадних вода и управљањем отпадним материјалима, што представља један од најзначајнијих еколошких и технолошких изазова савременог доба. Проблеми контаминације арсеном и органским бојилима, као и питање одлагања истрошених адсорбента, имају глобални карактер и захтевају иновативна решења. Истраживање је усклађено са принципима одрживог развоја, циркуларне економије и зелених технологија, чиме се обезбеђује његова широка применљивост и друштвена корист.

Интердисциплинарни карактер и научна дубина, Тема обједињује више научних области: минералогiju, хемију материјала, еколошки инжењеринг, технологију пречишћавања воде и науке о композитима. Такав интердисциплинарни приступ омогућава дубљу анализу проблема и ствара простор за оригиналне научне доприносе. Истраживање не остаје у домену једне дисциплине, већ гради мостове између фундаменталне науке и технолошке примене.

Методолошка изводљивост и техничка обрађеност, Предложена методологија је детаљно разрађена, са јасно дефинисаним фазама: синтеза и модификација адсорбента, карактеризација, испитивање адсорпционе способности, регенерација, фотокаталитичка деградација, имобилизација у полимерне матрице и еколошка процена. Применом савремених аналитичких техника (FTIR, XRD, SEM/EDS, UV-Vis, ICP-MS, TGA) обезбеђује се научна валидност резултата. Истраживање је технички изводљиво у лабораторијским условима и у складу је са стандардима експерименталне науке.

Компетенције и научна зрелост кандидата, Кандидат *Omar Mousay Mohammed* је већ објавио рад у реномираном научном часопису (*Science of Sintering*, 2025), што указује на способност да формулише истраживачки проблем, спроведе експерименте, интерпретира резултате и комуницира научне налазе. Његова способност да интегрише

више научних дисциплина и примени сложене методе указује на висок степен научне зрелости и истраживачке самосталности.

Потенцијал за оригинални научни допринос, Очекује се да ће резултати истраживања допринети развоју нових адсорпционих материјала, побољшању технологија за третман воде и иновацијама у области управљања отпадом. Употреба истрошених адсорбената у производњи композита представља нови приступ који може бити основа за даље истраживање и индустријску примену. Дисертација има потенцијал да допринесе научној литератури, али и да отвори могућности за патентну заштиту и технолошки развој.

5. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

На основу свега изложеног Комисија је мишљења да докторска дисертација кандидата **Омара Муса Мухамеда** по својој теми, приступу, структури и садржају рада, квалитету и начину излагања, методологији истраживања, начину коришћења литературе, релевантности и квалитету спроведеног истраживања и донетим закључцима задовољава критеријуме захтеване за докторску дисертацију, те се може прихватити за јавну одбрану.

Сагледавајући укупну оцену докторске дисертације кандидата **Омара Муса Мухамеда** под називом „**Гетит модификовани експандирани вермикулит као адсорбент за уклањање As(V) и родамина В: развој одрживих технологија за одлагање отпадних материјала**” предлажемо Већу департамента за последипломске студије и Сенату Универзитета Метрополитан да прихвати напред наведену докторску дисертацију и одобри њену јавну одбрану.

Београд, 16/03/2026

Чланови комисије:

**др Борис Вакањац, редовни професор,
Универзитет Метрополитан,
Факултет за примењену екологију "Футура", ментор**



**др Мирјана Бартула, редовни професор,
Универзитет Метрополитан,
Факултет за примењену екологију „Футура“, члан**



**Др Александар Маринковић, редовни професор,
Универзитет у Београду,
Технолошко металуршки факултет, члан**


