

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Зоране Радибратовић

Одлуком бр. 2026-35/368 од 27. августа 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Зоране Радибратовић под насловом: „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткиње, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Зорана Радибратовић, дипломирани инжењер технологије, први пут је 2009. године уписала докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство, а поново школске 2022/2023. године на истом студијском програму на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

25. децембар 2025. – Одлуком бр. 2025-35/510 Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Зоране Радибратовић под називом „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“.

5. фебруар 2026. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је одлука бр. 2026-35/19 о прихватању Извештаја Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидаткиње Зоране Радибратовић, под називом „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“. За менторе ове докторске дисертације именоване су др Мирјана Кијевчанин, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Марија Перовић, виши научни сарадник Института за водопривреду „Јарослав Черни“.

25. фебруар 2026. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 61206-626/2-26 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Зоране Радибратовић, под називом: „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/5-2 од 27. фебруара 2024. године о мировању права и обавеза студента у школској 2023/2024. години.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 2025-20/6 од 10. марта 2025. године о мировању права и обавеза студента у школској 2024/2025. години.

27. август 2026. – Одлуком број 2026-35/368, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену докторске дисертације Зоране Радибратовић, под називом: „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода”.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Техничко-технолошке науке, научној грани Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори су др Мирјана Кијевчанин, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, и др Марија Перовић, виши научни сарадник Института за водопривреду „Јарослав Черни“. На основу досадашњег научноистраживачког рада и броја објављених радова у областима хемијског инжењерства и инжењерства заштите животне средине, ментори испуњавају услове за руковођење изработом дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Зорана З. Радибратовић рођена је 31. јануара 1979. године у Београду, где је завршила основну школу и XIII београдску гимназију. Основне академске студије хемијског инжењерства завршила је 2004. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство, одбравивши рад: „Експериментално одређивање волуметријских особина тернарног система етанол + хлороформ + бензен у температурном интервалу 288,15–313,15 K“, под менторством проф. др Мирјане Кијевчанин. Након дипломирања, од 2005. до 2008. године радила је у компанији ИК Консалтинг и инжењеринг, као пројектант-сарадник на развоју технолошких решења и пројеката у области припреме воде и третмана отпадних вода. Од 2008. године запослена је у Институту за водопривреду „Јарослав Черни“ у Београду, где је напредовала од самосталног истраживача и водећег истраживача до руководећих позиција. Од 2017. до 2020. била је шеф Сектора за водоснабдевање, од 2020. до 2024. руководилац одељења за процесно и машинско инжењерство, а од 2024. руководилац одељења за процесно инжењерство, машинство и архитектуру.

У професионалном раду учествовала је у вођењу и изради више од педесет студија, идејних, главних и пројеката за извођење у области припреме воде за пиће и пречишћавања отпадних вода, као и у пуштању постројења у рад и стручном надзору.

Кандидаткиња је активан члан Инжењерске коморе Србије и Коморе Републике Српске, ангажована је као ментор у Републичкој комисији за полагање стручног испита, а учествује и у раду комисија Института за стандардизацију Србије за квалитет воде (KS H147) и системе управљања заштитом животне средине (KS A207). Поседује лиценце одговорног пројектанта и одговорног извођача у Србији, као и лиценце за пројектовање и ревизију техничке документације у Републици Српској.

Резултати досадашњег научноистраживачког и стручног рада кандидаткиње објављени су у категоријама M21, M23, M33, M63 и M81.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Зоране Радибратовић под називом: „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенаса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“ написана је на 118 нумерисаних страна. Садржи 29 слика, 18 табела и 53 литературна навода. Основна поглавља су: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати, Дискусија, Закључак и Литература. Поред тога, дисертација садржи Резиме на српском и енглеском језику, списак симбола и скраћеница, списак слика и табела. На крају дисертације дата је Биографија кандидаткиње, као и Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу и Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. По својој

форми и садржају, рад задовољава прописане стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Увод приказани су предмет, циљ и значај истраживања, полазне хипотезе и очекивани научни допринос. Образложена је потреба за испитивањем флотације раствореним ваздухом (*Dissolved Air Flotation* - DAF) у третману подземних вода, чија је примена у овој области знатно мање истражена него у третману површинских и индустријских вода. Посебна пажња усмерена је на подземне воде сложеног хемијског састава са повишеним концентрацијама арсена, природне органске материје и израженом бојом. Дефинисан је циљ да се повежу термодинамичке законитости растворљивости ваздуха, формирање и стабилност микромехурића и процеси коагулације и флокулације, ради утврђивања оптималних услова за уклањање арсена, укупни органски угљеник (*Total Organic Carbon* - TOC) и боје.

У Теоријском делу дат је систематичан преглед примене DAF технологије у третману површинских, индустријских и подземних вода, принципа рада, предности и ограничења у односу на седиментацију и друге технологије. Анализирани су хемијски и оперативни фактори, са посебним освртом на коагулацију, избор коагуланата и флокуланата, рН, сапинитет и вискозност. Посебна целина посвећена је термодинамичким факторима и успостављању процедуре о утврђивању утицаја притиска и температуре на растворљивост ваздуха, величине и стабилности микромехурића и њиховом укупном утицају на ефикасност DAF процеса.

У поглављу Експериментални део описани су карактеризација сирове подземне воде, материјали, аналитичке методе, хемијски реагенси и поступци узорковања. Истраживање је реализовано у две фазе. Прва фаза обухватила је четири серије класичних JAR тестова, укупно 40 појединачних експеримената, са варирањем доза гвожђе(III)-хлорида, полиалуминијум-хлорида, натријум-хипохлорита и полимерног флокуланта ради оптимизације коагулације и флокулације. Друга фаза обухватила је DAF JAR тестове на постројењу, са систематским варирањем притиска у сатуратору, степена рецикулације и времена уноса ваздуха. Анализирани су арсен, TOC, боја и други параметри квалитета воде применом стандардизованих аналитичких метода.

У поглављу Резултати приказана је карактеризација сирове воде и резултати обе фазе експерименталног рада. Сiroва вода имала је концентрацију арсена од око 83 µg/l, приближно осам пута већу од максимално дозвољене вредности за воду за пиће, уз повишен TOC и изражену боју. У оптимизованим условима JAR испитивања постигнуто је уклањање арсена 88–90%, боје 70–80% и TOC 45–55%, док су у додатној серији са комбинованим дозирањем гвожђе(III)-хлорида и полиалуминијум-хлорида постигнуте и концентрације арсена испод границе детекције у појединим узорцима. Резултати DAF JAR серија показали су да притисак, рецикулација и време уноса ваздуха имају међусобно условљен утицај и да најстабилнији резултати настају у уравнотеженом, а не максималном режиму рада.

У поглављу Дискусија резултата су размотрени добијени експериментални резултати, са становишта хемијских, термодинамичких и хидродинамичких механизма. Анализиран је и степен рецикулације и његов утицај на количину доступног ваздуха и на хидродинамику флотационе коморе. Истакнуто је и ограничење DAF процеса у уклањању појединих растворених фракција природне органске материје.

Закључак садржи сумиране коментаре на основу свих добијених резултата у овој дисертацији уз наглашавање постигнутог научног доприноса.

Литература садржи све референце цитиране у докторској дисертацији, релевантне за истраживање.

Дисертација садржи и Биографију кандидаткиње, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије, Изјаву о коришћењу и Оцену извештаја о провери оригиналности докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савремени захтеви у припреми воде усмерени су ка истовременом постизању високе ефикасности уклањања загађујућих материја, смањењу потрошње реагенса и енергије и повећању стабилности процеса. У том контексту, истраживање утицаја термодинамичких параметара на формирање микромехурића и њихову интеракцију са флокулама представља актуелан научни и инжењерски проблем.

Предмет дисертације је систематично испитивање утицаја термодинамичких и процесних параметара DAF система, као и врсте и дозе хемијских реагенса, на уклањање арсена, укупног органског угљеника и боје из подземних вода. Истраживање је засновано на подземној води са подручја Зрењанина, чији сложени састав представља реалан технолошки изазов.

Систематичним JAR и DAF JAR испитивањима утврђено је да ефикасност процеса зависи од међусобног дејства притиска, температуре, степена рецикулације, времена уноса ваздуха и дозирања реагенса. Показано је да максимизација појединачног параметра не доводи нужно до најбољег резултата, већ да постоји оптимални термодинамичко-хидродинамички режим. Овакав приступ омогућава прелазак са претежно емпиријске оптимизације DAF процеса ка научно заснованом управљању процесом.

Оригиналност дисертације посебно се огледа у проширењу примене DAF технологије на третман подземних вода са повишеним концентрацијама арсена и природне органске материје, као и у повезивању механизма формирања микромехурића са ефикасношћу уклањања арсена, ТОС и боје. Добијени резултати имају и непосредан апликативни значај, јер су експериментални услови везани за реално постројење за пречишћавање воде у Зрењанину.

Савременост и научна релевантност истраживања потврђене су применом стандардизованих аналитичких метода, систематским експерименталним дизајном и ослањањем на актуелну литературу о DAF процесу, динамици микромехурића, уклањању арсена и природне органске материје. Резултати дају основу за даље моделовање, скалирање и оптимизацију DAF система у реалним условима.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су објављивањем више радова из тезе у истакнутим међународним часописима и саопштењима на скуповима од националног и међународног значаја.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији су коришћена 53 литературна навода (укључујући литературне наводе које је кандидаткиња објавила), а који у потпуности одговарају теми и указују на актуелност истраживања. У оквиру израде докторске дисертације кандидаткиња је обавила систематски преглед научне и стручне литературе из области релевантних за тему рада. Већина наведених литературних навода представља научне радове новијег датума (у последњих 5 година) који су објављени у реномираним међународним часописима са SCI листе. Литература је адекватно одабрана за постављање истраживачког проблема, тумачење експерименталних резултата и поређење са постојећим научним сазнањима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Постављени задаци реализовани су комбинацијом лабораторијских JAR тестова, модификованих DAF JAR испитивања и стандардизованих аналитичких метода. У првој фази систематски су варирани врста и доза коагуланата и флокуланата, уз праћење промена концентрације арсена, ТОС и боје. У другој фази варирани су притисак у сатуратору, степен рецикулације и време уноса ваздуха, чиме је омогућена анализа утицаја термодинамичких и хидродинамичких услова на формирање микромехурића и ефикасност флотације.

Квалитет воде праћен је методама заснованим на важећим стандардима, укључујући оптичку емисиону спектрометрију са индуктивно спрегнутом плазмом (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* - ICP-OES) за одређивање елемената, методе за ТОС, боју, рН и електричну проводљивост. Експериментални програм је организован у више серија, што је омогућило поступну оптимизацију од избора реагенса до дефинисања стабилног DAF режима рада. Упоредна анализа лабораторијских и услова блиских реалном раду постројења омогућила је оцену репродуктивности и применљивости резултата.

Термодинамичка анализа заснована је на одређивању зависности растворљивости ваздуха од притиска и температуре и на разматрању степена презасићења, нуклеације и стабилности микромехурића. Резултати су интерпретирани интегрално, у вези са хемијом коагулације и флокулације и хидродинамиком DAF система, што је адекватан методолошки приступ постављеном циљу.

Применом наведених метода добијени су репродуктивни резултати који омогућавају дефинисање оптималних процесних услова, оцену ограничења DAF процеса и формулисање препорука за даљу верификацију и скалирање технологије.

3.4. Применљивост остварених резултата

Применљивост остварених резултата огледа се у могућности коришћења DAF технологије као процеса предтретмана подземних вода са повишеним садржајем арсена, природне органске материје и компонената које условљавају боју. Дефинисани услови избора и дозирања реагенса, притиска, рецикулације и режима уноса ваздуха представљају основу за пројектовање и оптимизацију реалних система.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Зорана Радибратовић је током израде докторске дисертације показала способност за планирање и реализацију сложених експерименталних истраживања, избор и примену аналитичких метода, критичку анализу резултата и њихово повезивање са термодинамичким, хемијским и хидродинамичким основама процеса. Њено дугогодишње пројектантско и истраживачко искуство у области припреме воде додатно је допринело повезивању лабораторијских резултата са реалним технолошким условима. Комисија сматра да кандидаткиња Зорана Радибратовић, квалитетом остварених научних резултата, као и својим ангажовањем у научноистраживачком раду током израде ове докторске дисертације, поседује све квалитете неопходне за самосталан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Успостављана је методологије оптимизације процесних параметара и избора технологије за пречишћавање подземних вода богатих арсеном.
- Утврђен је утицај термодинамичких параметара, растворљивости ваздуха, степена презасићења и формирања и стабилности микромехурића на ефикасност уклањања арсена, ТОС и боје применом DAF процеса.
- Дефинисани су оптимални процесни услови рада DAF система кроз усклађивање притиска у сатуратору, степена рецикулације, времена уноса ваздуха и услова примене коагуланата и флокуланата уз указивање на одсуство директне и пропорционалне зависности између вредности појединачних параметара и остварене укупне ефикасности.
- Дефинисани су гранични капацитети и лимити применљивости процеса флотације у третману подземних вода

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати добијени у овој докторској дисертацији потврђују претходно постављене хипотезе. Применом савремених експерименталних метода обезбеђена је поузданост и релевантност добијених података у оквиру актуелних истраживачких трендова. Резултати добијени у дисертацији показују да ефикасност DAF процеса произлази из међусобног дејства хемијских, термодинамичких и хидродинамичких параметара. У првој фази оптимизацијом коагулације постигнуто је уклањање арсена 88–90%, боје 70–80% и ТОС 45–55%, док су додатне серије показале могућност још већег уклањања арсена. У другој фази показано је да повећање притиска и рецикулације побољшава услове формирања микромухурића само до оптималног опсега, након чега додатно интензивирање не даје пропорционално побољшање и може нарушити стабилност флокула. Посебна вредност рада је повезивање ових налаза са реалним условима постројења и јасно дефинисање ограничења и праваца даљег развоја технологије.

4.3. Верификација научних доприноса

Из истраживања непосредно повезаних са овом докторском дисертацијом кандидаткиња Зорана Радибратовић публиковала је три научна рада у међународним часописима категорије M20 (два M21 и један M23).

Категорија M21

1. Radibratović Z., Cakić B., Kijevčanin M., Radović I., Mitrović D. (2025) Application possibilities and Expected Effects of Dissolved Air Flotation in Groundwater Treatment for Removing TOC, Color and As, Applied Sciences, 15(20), 11255. (IF=2,9) (ISSN: 2076-3417) (<https://doi.org/10.3390/app152011255>)
2. Radibratović Z, Cakić B, Kijevčanin M, Radović I, Mitrović D, Perović M. (2026) Thermodynamic and Microbubble-Dynamics Framework for Dissolved-Air Flotation Pretreatment of Arsenic-Rich Groundwater. Water. 18(5), 633. (IF=3,5) (ISSN: 2073-4441) (<https://doi.org/10.3390/w18050633>)

Категорија M23

3. Radibratović Z., Cakić B., Vilotijević M., Radović I.R., Kijevčanin M.L. (2025) Implementation of emergency measures to improve the efficiency of nickel removal from water at the existing water treatment plant. Hem Ind, 79 (1), 9. (IF=0,5) (ISSN: 0367-598X) (<https://doi.org/10.2298/HEMIND240425024R>)

Научни и практични допринос резултата истраживања додатно је верификован техничким решењем „Развој и примена иновативног DAF поступка за предtretман подземних вода сложеног квалитета“ (категорије M81 – ново техничко решење примењено на међународном нивоу), аутора Зоране Радибратовић, Мирјане Кијевчанин и Марије Перовић.

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate 31. августа 2026. године извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидаткиње Зоране Радибратовић под називом „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода”.

Утврђено је да подударање текста износи мање од 5%. Овај степен подударности последица је употребе стручних термина типичних за област којој припада дисертација, назива метода, хемикалија и објашњења појмова који се налазе у дисертацији. Највећи проценат подударности се односи на претходно објављене резултате докторандових истраживања, који су проистекли из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидаткиње Зоране Радибратовић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње Зоране Радибратовић, дипломираног инжењера технологије, под називом „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области којој дисертација припада (Технолошко инжењерство; Хемијско инжењерство), што је и потврђено објављивањем радова у међународним часописима (два М21 и један М23). Предмет и циљеви који су дефинисани у извештају за оцену научне заснованости теме су у потпуности остварени.

Комисија је мишљења да докторска дисертација испуњава захтеване критеријуме и да је кандидаткиња током израде дисертације показала научноистраживачку способност и самосталност у свим фазама израде дисертације.

Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом: „Утицај термодинамичких параметара и хемијских реагенса на ефикасност флотације раствореним ваздухом у третману подземних вода“, кандидаткиње Зоране Радибратовић прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се након завршетка прописане процедуре кандидаткиња позове на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом за одбрану докторске дисертације.

У Београду,
7. септембар 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ивона Радовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Маја Ђолић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Јововић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет