

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милене Радомировић

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, бр. 35/214 од 26.08.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милене Радомировић, дипл.-мастер инжењера технологије, под насловом:

„Загађење површинског седимента Бококторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Школске академске 2015/16. године, кандидат Милена Радомировић је уписала докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство.
- 28.05.2020. – На седници наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Милена Радомировић за израду докторске дисертације под називом „Загађење површинског седимента Бококторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“. (Одлука бр. 35/85 од 28.05.2020.).
- 26.06.2020. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета у Београду донета је Одлука о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата Милене Радомировић за израду докторске дисертације под називом „Загађење површинског седимента Бококторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“ (Одлука ННВ бр. 35/190 од 25.06.2020.)
- 6.07.2020. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на одлуку Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета о прихватању теме докторске дисертације кандидата Милене Радомировић, под називом „Загађење површинског седимента Бококторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“ (Одлука бр. 61206-1456/2-20). За ментора је одређен др Антоније Оњиа, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.
- 26.08.2021. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за

преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милене Радомировић, под горе наведеним називом, у саставу: др Антоније Оњиа, ванредни професор ТМФ-а, др Александра Перић-Грујић, редовни професор ТМФ-а, др Ацо Јанићијевић, редовни професор ТМФ-а, др Лато Пезо, научни саветник института за општу и физичку хемију у Београду и др Милица Васић, виши научни сарадник института за испитивање материјала у Београду. (Одлука бр. 35/214 од 26.08.2021.).

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. За ментора је именован др Антоније Оњиа, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду који је на основу објављених публикација, остварених резултата и искуства, компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милена Радомировић, дипломирани-мастер инжењер технологије, рођена је 30.11.1985. године у Пожаревцу где је завршила средњу медицинску школу (одсек фармација). Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду уписала је у октобру школске академске 2004/2005. године, студијски програм Фармацеутско инжењерство, где је стекла звање дипломирани инжењер технологије - мастер хемијски инжењер. По завршетку факултета, радила је у лабораторији за контролу квалитета, Анахем д.о.о. на испитивању хране и прехранбених производа, предмета за општу употребу, воде и земљишта, затим и у фирми Фултрис д.о.о. као технолог, са задужењима на пројектима који су се односили на оптимизацију, ревитализацију и аутоматизацију технолошких поступака у оквиру третмана воде, на примени конвенционалних и напредних оксидационих процеса у проблематици присуства полутаната у површинским и отпадним водама.

Постдипломске докторске академске студије уписала је у октобру школске академске 2015/2016. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Хемијско инжењерство и све испите предвиђене планом и програмом докторских студија положила је са просечном оценом 9,91. Током два семестра школске академске 2017/2018. године била је ангажована као асистент-демонстратор у извођењу експерименталног дела наставе у оквиру предмета Квалитет воде, при Институту за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство на Грађевинском факултету Универзитета у Београду.

Од децембра 2017. године, запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета као истраживач, где је обављала истраживачки и експериментални део доктората у оквиру пројекта интегралних и интердисциплинарних истраживања “Нове технологије за мониторинг и заштиту животног окружења од штетних хемијских супстанци и радијационог оптерећења”, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, број пројекта ИИИ43009 (руководилац пројекта: проф. др Антоније Оњиа). У току два семестра школске академске 2018/2019. године била је гостујући истраживач, стипендиста РМУ Салцбург, на катедри за фармацеутску хемију факултета природних наука Универзитета у Бечу (Universität Wien, Pharmaziezentrum).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милене Радомировић, дипл.-мастер инжењера технологије, под насловом „Загађење површинског седимента Бококоторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“, написана је на 168 страна, садржи укупно 45 слика, 26 табеле и 205 литературних навода. Дисертација има уобичајену структуру и састоји из следећих целина: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература и Прилог. Поред тога садржи одељке који су укључени у почетном делу дисертације: Резиме (на српском и енглеском језику), Захвалницу, Списак скраћеница, Списак слика, Списак табела, Садржај, док је у завршном делу приложена Биографија кандидата и додаци прописани правилима Универзитета у Београду приликом подношења докторских дисертација на одобравање. По форми и садржају, написана докторска дисертација задовољава прописане стандарде Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод садржи кратак опис значаја испитивања тешких метала и радионуклида у морском седименту, осврт на њихово порекло, распрострањеност, као и главне узроке, факторе, услове и процесе у животној средини који могу утицати на њихову појаву, токсичност и потенцијалне негативне ефекте. Наведени су главни узроци који могу довести до деградације квалитета воде и седимента морског екосистема Бококоторског залива. Истакнута је комплексност приликом одређивања концентрација потенцијално токсичних елемената и приликом процене нивоа њихове токсичности. Описана је примена седимента као индикатора потенцијалног загађења тешким металима и радионуклидима у сврху мониторинга и процене квалитета морске водене средине. Поред тога, указано је на доступне податке и дат је преглед истражености садржаја елемената у површинском седименту Јадранског мора и Бококоторског залива.

Поглавље *Теоријски део* састоји се из пет потпоглавља: 1) Морски седименти, 2) Тешки метали, 3) Радионуклиди у систему водени стуб-површински седимент, 4) Процена еколошког ризика, 5) Процена радиолошког ризика. У првом потпоглављу дефинисани су појам, порекло и типови седимената, њихов хемијски састав, класификација седимента према пореклу и идентификација према текстури. Наведени су извори загађења у морској средини, а нарочито седимента, затим његове карактеристике које утичу на сорпцију тешких метала и радионуклида (састав и текстура) и фактори који контролишу степен контаминације седимента. У другом и трећем потпоглављу дефинисани су основни појмови, подела, извори и порекло тешких метала и радионуклида у систему седимент-водени стуб, њихова распрострањеност, путеви транспорта, фактори који утичу на мобилност, биодоступност и токсичност. У четвртм потпоглављу, наведени су индекси загађења примењени у овом истраживању, као и индекси у складу са смерницама за квалитет седимента (SQG) и референтним критеријумима за класификацију и вероватноћу токсичности. Поред тога, наведене су дефиниције, формуле за израчунавање индекса загађења и геохемијске вредности које имају широку примену код утврђивања утицаја неогранских контаминаната који могу допринети токсичности седимента. Коришћени индекси загађења у овом истраживању били су: фактор обогаћења (EF), фактор контаминације (C_f), геоакумулациони индекс (I_{geo}), индекс оптерећења загађењем (PLI), индекс потенцијалног еколошког ризика

(*RI*), просечни ERM количник (*MERMQ*), индекс токсичног ризика (*TRI*) и индекс јачине контаминације (*CSI*). У петом потпоглављу дефинисани су индекси радиолошког ризика од морских седимената и дозе изложености гама зрачењу: еквивалент активности радијума (R_{eq}), укупна апсорбована доза (*D*), екстерни хазард индекс (H_{ex}), ризик од настанка канцера током живота (*ELCR*), интерни хазард индекс (H_{in}), годишња ефективна доза (*AEDE*), годишњи еквивалент гонадне дозе (*AGDE*) и индекс искоришћења активности (*AUI*), као и њихове дефиниције и изрази за израчунавање.

У *Експерименталном делу* описано је подручје испитивања, временски период истраживања, као и опште карактеристике локација узорковања у Бококоторском заливу. Такође, описано је узорковање и експериментални поступци припреме узорака седимента за различите методе одређивања. Дати су кратки описи поступака припреме за методе одређивање гранулометријског састава, садржаја органских материја и карбоната у седименту, као и поступци припреме за анализу узорака који су, у зависности од циљаних анализата, даље анализирани методама инструменталне анализе. Примењене инструменталне технике за одређивање садржаја елемената, оксида и концентрација активности радионуклида у морском површинском седименту биле су: енергетски дисперзивна рендгенска флуоресцентна спектрометрија (ED-XRF), оптичка емисиона спектрометрија са индукованом куплованом плазмом (ICP-OES), масена спектрометрија са индуковано куплованом плазмом (ICP-MS), директни анализатор живе (DMA) и гама спектрометрија високе резолуције са HPGe детектором. У овом делу су дефинисане и методе мултиваријантне статистичке анализе које су коришћене за обраду експериментално добијених података: корелациона анализа - Пирсонов коефицијент корелације (r) и Спирманов коефицијент корелације (r_s), анализа главних компоненти (PCA), хијерахијска кластерска анализа или анализа груписања (CA) и позитивна факторизација матрице (PMF).

Поглавље *Резултати и дискусија* се састоји од три потпоглавља: 7) Физичко-хемијски квалитет површинског седимента, 8) Процена загађења седимента у 2019. години и за период од 2005. до 2019. године, 9) Хеометријска анализа површинског седимента залива за период 2019. и за период од 2005. до 2019. године. У оквиру седмог потпоглавља дат је детаљан приказ свих добијених резултата уз њихову дискусију. Резултати проистекли из анализе површинског седимента на дванаест локација у Бококоторском заливу у 2019. години, односе се на утврђивање карактеристика, текстуре и хемијског састава морског седимента, при чему су садржаји макроелемената, елемената у траговима, као и концентрације активности радионуклида (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U и ^{137}Cs), представљени просторним мапама залива. У истраживању спроведеном у 2019. години, обављено је испитивање 26 елемената и 10 оксида, применом енергетски-дисперзивне рендгенске флуоресцентне спектрометрије (ED-XRF), међу којима је 11 потенцијално токсичних елемената (Al, Fe, Mn, Cr, Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co, U) испитивано приликом утврђивања загађења седимента и процене еколошког ризика. Применом гама спектрометрије високе резолуције са HPGe детектором, одређене су и концентрације активности примордијалних радионуклида ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , и ^{238}U , и антропогеног ^{137}Cs у узорцима седимента у 2019. години, као и паралелно мерење концентрација ^{238}U и ^{232}Th применом масене спектрометрије са индуковано куплованом плазмом (ICP-MS).

За разматрани период од 2005. до 2019. године који укључује 2005., 2007., 2013. и 2019. годину, садржај тешких метала As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn и Fe у површинском седименту на четрдесет локација у Бококоторском заливу анализиран је применом енергетски-дисперзивне рендгенске флуоресцентне спектрометрије (ED-XRF), док су Cd и Hg у седиментима у 2013. и 2019. години анализирани применом оптички емисионе

спектрометрије са индуковано куплованом плазмом (ICP-OES) и директним анализатором живе (DMA), при чему је изнета детаљна дискусија. Селекција локација узорковања и резултати мерења As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn и Fe из 2005., 2007. и 2013. године резултат су претходних истраживања које су у овом раду коришћене приликом прорачуна индекса, статистичке обраде и анализе података. Вредности наведених тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) су даље коришћени за процену квалитета и потенцијалног загађења седимента током петнаестогодишњег периода.

У осмом потпоглављу, процена квалитета односно контаминације седимента Бококоторског залива за период 2019. године изведена је применом индекса загађења EF , C_f , I_{geo} и PLI , а на основу садржаја потенцијално токсичних елемената (Al, Fe, Mn, Cr, Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co, U). За исти период, у оквиру истраживања спроведеног у 2019. години, дата је и процена радиолошког ризика од седимента Бококоторског залива, при чему су коришћени индекси радиолошког ризика и дозе изложености гама зрачењу: Ra_{eq} , D , $AEDE$, H_{in} , H_{ex} , $AGDE$, AUI и $ELCR$. Поред тога, наведена је свеобухватна процена еколошког ризика на морску средину и седимент залива за разматрани период од 2005. до 2019. године, где је утврђен степен контаминације седимента услед присуства тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) коришћењем пет комплексних индекса загађења (PLI , RI , $MERMQ$, CSI и TRI) и једног индивидуалног индекса (C_f).

У деветом потпоглављу *Резултата и дискусије*, приказани су резултати хемотријске анализе површинског седимента за период 2019. године, добијени обрадом података који се односе на садржај макроелемената, елемената у траговима, $LOI 1$, $LOI 2$, радионуклида и индекса загађења (EF , C_f , I_{geo} и PLI); као и за период 2005. - 2019. године, где су резултати статистичке анализе добијени обрадом израчунатих вредности индекса загађења (PLI , RI , $MERMQ$, CSI , TRI и C_f). Отуда је у сврху праћења квалитета седимента и процене утицаја антропогених фактора на седимент испитиваног подручја, изведено једногодишње и вишегодишње груписање фактора еколошког ризика и индекса загађења у односу на 12 и у односу на 40 локација узорковања у заливу, респективно, као и у односу на допринос токсичности испитиваних елемената.

У последњем поглављу изведен је *Закључак* у коме су истакнути постигнути резултати у истраживању, а који одговарају постављеним циљевима дисертације.

У поглављу *Литература* дат је списак коришћених референци који покрива све делове дисертације. На крају су приложени Биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

У Прилогу је наведена једна слика и осам табела са вредностима садржаја елемената и оксида, као и индекса загађења и индекса еколошког ризика на свим испитиваним локацијама унутар залива током целокупног периода истраживања, а које су због свог обима у дисертацији наведене у скраћеним облицима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Површински седименти чине динамичку компоненту бројних процеса у воденом екосистему и утичу на транспорт значајног броја нутријената и полутаната. Површина седимента са својим структурним и хемијским особинама омогућава сорпцију и акумулацију различитих полутаната, услед чега се ствара шира слика која пружа корисне информације о хронологији њиховог таложења у истраживањима о загађењу морских средина. С обзиром да су унос и акумулација полутаната у воденим срединама резултат природних процеса, атмосферског таложења, геолошких фактора, као и

деловања антропогених фактора, седименти се сматрају главним показатељима загађења и осетљивим истраживачким индикаторима за мониторинг у морским срединама и речним токовима. У зависности од хидродинамике воде, параметара водене средине и физичко-хемијских својстава седимента, често долази до ресуспензије и транспорта потенцијално загађујућих супстанци. Поједини полутанти могу представљати секундарне изворе загађења и могу имати негативан утицај на животне заједнице у воденим екосистемима, док се посебан нагласак бројних истраживања усмерава на процену потенцијалног загађења антропогеног порекла.

Резултати савремених истраживања показали су да је утврђивање радиоактивности седимента и степена контаминације тешким металима, као и негативног утицаја на водени екосистем, предмет бројних публикација које се односе на седименте мора, језера, река или ушћа. Тренд раста популације и бројне људске активности дуж обала доприносе до све већег утицаја комплексних смеша полутаната и њихових повишених концентрација на морско окружење и приобална подручја широм света, стварајући проблеме деградације и еутрофикације станишта за водени свет. Као што је случај у осталим деловима Јадранског мора, у последње две деценије загађење у приобалним зонама Бококоторског залива, нарочито у близини густо насељених градских општина или индустријализованих подручја, последица је све већег утицаја урбанизације и других антропогених фактора. Транспорт загађујућих супстанци (тешких метала и радионуклида) из седимента у водену средину представља сложен процес који се одвија на више начина и обухвата све нивое еколошког ланца исхране. Ови процеси укључују различите механизме и при томе различите нивое биодоступности. Морски организми који се користе у исхрани, могу акумулирати полутанте из седимента услед својстава биоакумулације и биомагнификације, што доводи до повећања потенцијала њихове токсичности у случају доспевања у ланац исхране човека. Такође, за безбедну употребу седимента као грађевинског материјала, неопходно је испитати и уклонити могућност радиолошког ризика по људе.

У последње две деценије, истраживања бројних аутора у Бококоторском заливу углавном су се односила на анализама седимента залива са хемијског и микробиолошког аспекта. Актуелност истраживања које се односе на праћење квалитета воде, седимента и морског екосистема овог подручја је све израженија, због све веће потражње за храном и већег броја узгајалишта различитих морских врста у воденој средини залива, посебно у Тватском, Которском и Рисанском заливу, а због чега је неопходно очување одговарајућег квалитета морске средине. Постоји неколико истраживања у којима је испитивана радиоактивност у подручју Бококоторског залива, а односе се на процену радиолошког ризика за песак са плаже и рибе. Осим ових, пријављени су и подаци о радиоактивности морске траве и садржаји радионуклида у неколико узорка седимента, при чему је ово мерење извршено 1988. године, непосредно након несреће у Чернобиљу. Није било анализа које су обухватиле просторну расподеле радиоактивности на испитиваном подручју у процени радиолошког ризика.

Поред једногодишњег испитивања површинског седимента у Бококоторском заливу у 2019. години, укључено је и разматрање статуса квалитета површинског седимента залива у периоду од 2005 до 2019. године. Тиме је добијен увид о пореклу и утицају природних и антропогених фактора на квалитет седимента у испитиваном подручју залива и извршено је праћење промена тренда загађења у оквиру залива (просторно) и током разматраног временског периода (временски). Тиме је дефинисан статус морског седимента у последњих петнаест година, и идентификована су потенцијална жаришта и утицаји токсичних ефеката појединих елемената на биодиверзитет морске средине залива. За период од 2005. до 2019. године по први пут је извршена свеобухватна

процена еколошког ризика и евалуација статуса загађења седимента тешким металима (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn и Fe) применом индекса загађења *EF*, *I_{geo}*, *RI*, *PLI*, *MERMQ*, *TRI* и *CSI*. У делу истраживању које се односи на 2019. годину, изведена је хемијска, текстурална и радиолошка анализа површинског седимента, утврђен је степен контаминације услед присуства потенцијално токсичних елемената и дефинисан је квалитет седимента. Применом бројних индекса извршена је процена еколошког (*EF*, *C_f*, *I_{geo}*, *PLI*) и радиолошког (*Ra_{eq}*, *D*, *AEDE*, *H_{in}*, *H_{ex}*, *AGDE*, *AUI* и *ELCR*) ризика за седимент у 2019. години, чиме је указано је на значај предвиђања негативних ефеката на екосистем залива и могући ризик по здравље људи. Представљеним резултатима из 2019. године, по први пут су одређене концентрације активности радионуклида у седименту на 12 локација у заливу (примордијалних радионуклида ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U и антропогеног ¹³⁷Cs) применом гама спектрометрије високе резолуције са HPGe детектором и извршено је поређење радиоактивности седимента Бококторског залива у односу на светске вредности. У овом истраживању, идентификовани су потенцијални извори радионуклида коришћењем PMF модела и процењен је радиолошки ризик на подручју Бококторског залива, при чему је представљена и окарактерисана просторна расподела радиолошког ризика и расподела извора, што до сада није рађено. Осим тога, утицај садржаја макроелемената у седименту Бококторског залива на расподелу радиоактивности све до сада није испитиван. Према истраживању литературе, нису откривене студије о PMF вредновању радионуклида у морским седиментима. На основу прегледа литературе, може се извести закључак да се истраживања у оквиру ове дисертације уклапају у светске трендове и указују на актуелност и значај проучаване проблематике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације дато је 205 литературних навода од којих највећи број чине научни извори и актуелни радови објављени у међународним часописима са тематиком значајном за израду и писање дисертације. Наведене референце садрже теоријске основе примењених метода испитивања, затим њихове могућности и ограничења експериментално добијене податке истраживања многих аутора из наведених области, као и анализу и дискусију добијених резултата и изведене закључке. Такође, у листи референци су и радови кандидата проистекли из спроведених истраживања у области докторске дисертације, а објављени у часописима међународног значаја. Кандидат је проширио знања о хемијском, текстуралном и радиолошком саставу седимента, о еколошкој и радиолошкој процени ризика и евалуацији статуса квалитета и загађења морског седимента тешким металима и радионуклидима. На основу образложења предложене теме докторске дисертације, прегледа коришћене литературе и објављених радова, произилази да је кандидат адекватно овладао предметном области истраживања, како у односу на адекватност употребљене литературе, тако и на потребу примене референтних и примарних научних извора и њихову актуелност, и да је детаљно упознат са актуелним стањем истраживања у области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У поступку реализације предмета и циља истраживања, и да би се потврдиле постављене хипотезе, током израде ове докторске дисертације коришћене су опште и савремене аналитичке методе и инструменталне технике ради физичко-хемијске, текстуралне и радиолошке карактеризације морског седимента, као и хеометријске

методе и математичко-статистичка обрада експериментално добијених података. У самој дисертацији описана је примена метода које се односе на узорковање и припрему узорака: просејавање, сушење, жарење, устињавање, хомогенизацију и пресовање, као и методе/технике за квантитативну и квалитативну анализу, односно за одређивање садржаја елемената, оксида и концентрација активности радионуклида. У поступку реализације научних резултата, примењене су следеће научне методе:

- За одређивање садржаја органских материја и карбоната у седименту најпре је вршено сушење до константне масе (105 °C), а потом жарење секвенцијалним загревањем узорака у пећи за жарење на две различите температуре (550 °C и 950 °C);
- За одређивање гранулометријског састава седимента примењене су метода мокрог сејања и метода седиментације. С обзиром да примена сита није могућа за ситнозрнасте седименте јер теже агломерацији што доводи до потенцијалног зачепљења сита, коришћена је и метода седиментације (метода хидрометра или метода аерометрисања) за одређивање величина честица испод 0,063 мм;
- За хемијску карактеризацију седимента одређен је садржај 26 елемената и 10 оксида у осушеним узорцима седимента применом енергетски дисперзивне флуоресцентне рендгенске спектрометрије (ED-XRF);
- Потврда садржаја макроелемената који формирају оксиде, као и одређивање Cd у узорцима површинског седимента, изведено је применом оптички емисионе спектрометрије са индуковано куплованом плазмом (ICP-OES). Припрема узорака за анализу Cd, изведена је растварањем микроталасном дигестијом у затвореном систему, док је анализа садржаја макроелемената изведена фузионисањем узорака уз додавање флукса, а потом дигестијом, тј. растварањем на отвореном;
- Одређивање садржаја Hg у свежим узорцима површинског седимента изведено је применом директног анализатора живе (DMA) који је опремљен каталитичком цеви за сушење и декомпозицију узорака, амалгаматором, чиме је омогућена потпуна конверзија живе, као и уклањање интерференци уз брзо ослобађање живе;
- Анализа садржаја испитиваних гама-емитијућих радионуклида у површинском седименту извршена је коришћењем методе гама спектрометрије. Припрема узорака седимента за анализу гама спектрометријом захтевала је сушење температуре од 60 °C до константне масе, уситњавање, хомогенизацију и просејавање узорака кроз стандардна сита од 2 мм. Такође, измерен је садржај влаге и узет у обзир губитак масе након сушења;
- За анализу концентрација активности ^{238}U и ^{232}Th паралелно је извршено мерење индуковано куплованом плазмом са масеном спектрометријом (ICP-MS). Поступак припреме за анализу наведених радионуклида применом ICP-MS изведен је растварањем узорака седимента у смеши киселина микроталасном дигестијом у затвореном систему;
- Приликом процене еколошког ризика, у прорачунима су коришћене су геохемијске "background" вредности (просечне вредности) у шкриљцима, с обзиром да не постоје утврђене геохемијске вредности за залив. Такође, у складу са смерницама за квалитет седимента, коришћена су два скупа података, ERM/ERL и PEL/TEL, на основу којих је извршена процена утицаја тешких метала на водену средину. У складу са граничним вредностима предвиђеним смерницама за квалитет седимента SQG (eng. *Sediment Quality Guidelines*) и препорукама UNSCEAR (eng. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*), примењени су индекси загађења (*EF*, *ЦФ*, *I_{geo}*, *PLI*, *RI*, *MERMQ*, *TRI* и *CSI*) за процену еколошког ризика, као и параметри и дозе за процену радиолошког ризика (*Ra_{eq}*, *H_{ex}*, *D*, *ELCR*, *H_{in}*, *AEDE*, *AGDE*, *AUI*), који се ослањају на порачуне добијених вредности потенцијално токсичних

елемената/тешких метала и радионуклида одређених у површинском седименту Бококаторског залива.

- За обраду великог броја експериментално добијених резултата мерења коришћене су методе мултиваријационе статистичке анализе: корелациона анализа (Пирсонов коефицијент корелације (r) и Спирманов коефицијент корелације (r_s)), анализа главних компоненти (PCA), кластерска анализа (CA), позитивна факторизација матрице (PMF), као и геостатистичке интерполације за добијење просторних мапа. Изабране методе примењене су за идентификацију и расподелу извора загађења, концентрација испитиваних елемената, оксида и активности радионуклида, као и садржаја органске материје и карбоната у узоркованом седименту у заливу.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу добијених резултата у оквиру ове докторске дисертације, указано је на општу процену квалитета седимента током једногодишњег и петнаестогодишњег периода, пружајући увид о степену загађења морског површинског седимента у Бококаторском заливу, као и о варијабилности статуса квалитета седимента на различитим локалитетима у оквиру залива, што представља научну основу за будућа испитивања. Упоредени су различити приступи процене статуса загађености седимента и утврђене су зоне и подручја у заливу у којима је неопходне применити мере контроле, како би се спречили могући негативни утицаји на биодиверзитет морске средине. Откривено је да физичко-хемијски састав седимента, али и квалитет морске средине контролишу како природни фактори, попут геоморфолошких карактеристика средине (структура, рељеф), еолских, крашких, флувијалних процеса и интеракција вода-стене; тако и бројни антропогени фактори који су постали доминантнији и интензивнији нарочито у подручјима бивших бродоградилшта, луке и аеродрома (у Тиватском заливу), представљајући значајне изворе загађења и потенцијални ризик по ексистем морске средине залива. Научни допринос ове докторске дисертације огледа се у систематском испитивању седимента инструменталним и статистичко-математичким методама и прорачунима, при чему су добијене информације о геохемијском саставу подлоге и утврђено је порекло и извори испитиваних елемената и радионуклида. Применом мултиваријационих статистичких метода, испитана је међусобна повезаност анализата, сачињени су кластери по нивоима загађења и идентификовани потенцијални извори контаминације, који утичу на деградацију квалитета морског седимента у заливу. Добијени резултати у овој дисертацији омогућавају континуитет у даљим истраживањима која се односе на процене ризика и степена контаминације седимента, као и у мониторингу и ремедијацији постојећих извора загађења у морској средини залива.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Милена Радомировић, дипл.-мастер инжењер технологије, је током израде докторске дисертације овладала проналажењем и коришћењем стручне литературе, исказала је самосталност у планирању и реализацији експерименталног рада. Такође, овладала је коришћењем различитих техника метода за процесуирање резултата добијених анализама. Организовано је приступила систематизацији, анализи и тумачењу експериментално добијених података, као и изношењу закључака. Комисија је мишљења да кандидат поседује све квалитете који су неопходни за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Генерално, јако је мало научних радова и студија у којима је истраживана радиоактивност у подручју Бокоторског залива и које су примењивале приказивање просторне расподеле радиоактивности на испитиваном подручју у процени радиолошког ризика. Такође, није рађена процена радиолошког ризика за морски површински седимент на подручју читавог залива. Поред тога, до сада није коришћен приступ процене загађења и праћења промена квалитета седимента у оквиру Бокоторског залива индексима који су коришћени за период од 2005. до 2019. године. Научни допринос резултата истраживања у оквиру ове докторске дисертације огледа се у следећем:

- Утврђене су концентрације макроелемената, елемената у траговима и активности радионуклида који емитују гама зрачење и окарактерисана је њихова просторна расподела у морском површинском седименту у заливу применом геостатистичког мапирања, за период 2019. године,
- Извршена је процена контаминације седимента применом индекса загађења EF , C_f , I_{geo} и PLI , за период 2019. године,
- Извршена је процена радиолошког ризика применом параметара радиолошког ризика Ra_{eq} , H_{ex} , D , $ELCR$, H_{in} , $AEDE$, $AGDE$ и AUI , за период 2019. године,
- Извршено је поређење приступа у процени еколошког ризика за седимент Бокоторског залива применом индекса загађења: C_f , PLI , RI , $MERM$, TRI и CSI и окарактерисан је квалитет седимента на основу просторне и временске расподеле индекса за период од 2015. до 2019. године,
- Истражена је повезаност садржаја макроелемената и активности гама-емитујућих радионуклида у морском седименту и испитан је утицај садржаја макроелемената на расподелу радиоактивности у подручју целог залива,
- Извршена је идентификација и вредновање потенцијалних извора и анализирано је порекло загађења седимента тешким металима у Бокоторском заливу применом различитих метода мултиваријационе анализе (PCA, CA, PMF, корелациона анализа) којима је указано на литогене и антропогене факторе који доминирају расподелом испитиваних анализа.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Као што је напоменуто тачкама 4.1., 3.1., на основу прегледа постојећих истраживања у области ове докторске дисертације, остварени циљеви истраживања, као и постигнути резултати и доприноси у оквиру дисертације су на нивоу актуелних светских трендова у овој области истраживања, што доказују и научни радови проистекли из ове дисертације објављени у врхунским међународним часописима, а који су прошли строге критеријуме провере рецензата.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Радомировић Милена је потврдила научни допринос резултата добијених у истраживачком раду током израде ове докторске дисертације објављивањем радова у часописима међународног значаја и саопштавањем радова на научним скуповима. Списак објављених научних и стручних радова проистеклих из докторске дисертације је следећи:

Радови у врхунском међународном часопису (Категорија M21)

1. **Radomirović, M.**, Stanković, S., Mandić, M., Jović, M., Mandić, L. J., Dragović, S., Onjia, A., Spatial distribution, radiological risk assessment and positive matrix factorization of gamma-emitting radionuclides in the sediment of the Boka Kotorska Bay, *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112491, 2021, **IF(2021)=5,553** (ISSN:0025-326X), DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.1124.

Радови у истакнутом међународном часопису (Категорија M22)

1. **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Pezo, L., Ceccotto, F., Cantaluppi, C., Onjia, A., Stanković, S., Spatial and temporal distribution of pollution indices in marine surface sediments—a chemometric approach, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 31, pp. 42496–42515, 2021, **IF(2021)=4,223** (ISSN:0944-1344), DOI: 10.1007/s11356-021-13644-9.
2. **Radomirović, M.**, Mijatović, N., Vasić, M., Tanaskovski, B., Mandić, M., Pezo, L., Onjia, A., The characterization and pollution status of the surface sediment in the Boka Kotorska Bay, Montenegro, *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, **IF(2021)=4,223** (ISSN:0944-1344), DOI: 10.1007/s11356-021-14382-8.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (Категорија M63)

1. **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Mandić, M., Pezo, L., Maksin, D., Onjia, A., Stanković, S., Prostorna raspodela i identifikacija elemenata i oksida u površinskom sedimentu Bokokotorskog zaliva, *49. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda, Srpsko društvo za zaštitu voda, „VODA 2020“*, Trebinje, Republika Srpska (BiH), 19-21. novembar, 2020, pp. 333–338 (ISBN:978-86-916753-7-0).
2. **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Mandić, M., Mijatović, N., Cantaluppi, C., Onjia, A., Stanković, S.: Ekološka procena rizika u odnosu na teške metale u površinskom sedimentu Bokokotorskog zaliva, - *49. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda, Srpsko društvo za zaštitu voda, „VODA 2020“*, Trebinje, Republika Srpska (BiH), 19-21. novembar, 2020, pp. 317–324 (ISBN:978-86-916753-7-0).

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, коришћењем програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Милене Радомировић, дипл.-мастер инжењера технологије, под називом „Загађење површинског седимента Бокотorskог залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“.

Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 27.08.2021.год. Утврђени проценат подударности је 8%. Овај степен подударности последица је цитата, односно употребе стручних термина и навођења дефиниција различитих појмова и објашњења параметара који се налазе у релацијама наведеним у тези. Део подударности се односи на претходно публиковане резултате докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити (позитивна оцена).

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија је недвосмисленог мишљења да докторска дисертација кандидата Милене Радомировић, дипл.-мастер инжењера технологије, под називом „Загађење површинског седимента Бококоторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“, представља значајан и оригиналан научни допринос у датој области, што је потврђено објављивањем више радова у релевантним часописима међународног значаја и саопштењима на наведеним конференцијама. Комисија такође сматра да докторска дисертација кандидата у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је показала научно-истраживачку способност у свим фазама израде ове дисертације. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, да се докторска дисертација под називом „Загађење површинског седимента Бококоторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“ кандидата Милене Радомировић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 13. 09.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Антоније Оџија, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александра Перић-Грујић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ацо Јанићијевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Лато Пезо, научни саветник
Институт за општу и физичку хемију, Београд

.....
Др Милица Васић, виши научни сарадник,
Институт за испитивање материјала, Београд