

Образац 1.

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/190
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

30.06.2020.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Загађење површинског седимента Бококоторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: **ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**
ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

МИЛЕНА (Љубиша) РАДОМИРОВИЋ, дипломирани инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: **Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.**

3. Година дипломирања: **2013.**

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: /

5. Година дипломирања: /

Студент је уписан на докторске академске студије школске **2015/2016.** године.

Обавештавамо Вас да је **Наставно-научно веће,** на седници одржаној **25.06.2020. године** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Милена Радомировић

Име и презиме ментора: Антоније Оњиа

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Snežana Dragović, Mirjana Ćujić, Latinka Slavković-Beškoski, Boško Gajić, Branislav Bajat, Milan Kilibarda, **Antoniје Onjia**, Trace element distribution in surface soils from a coal burning power production area: A case study from the largest power plant site in Serbia, Catena, 104 (2013) 288-296. ISSN: 0341-8162. **(IF 2.482)**
2. Miroslav A. Demajo, Jelena Cvetičanin, Milovan Stoilković, Djordje Trpkov, Velibor Andrić, **Antoniје Onjia**, Olivera Nešković, Detection of elements and radioactivity in pellets from long-eared owls (Asio Otus) inhabiting the city of Belgrade (Serbia), Chemistry and Ecology, 27 (2011) 393-400. ISSN: 0275-7540. **(IF 0.763)**
3. Ranko Dragović, Boško Gajić, Snežana Dragović, Miodrag Đorđević, Milan Đorđević, Nevena Mihailović, **Antoniје Onjia**, Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia), Journal of Cleaner Production, 84 (2014) 550-562. ISSN: 0959-6526. **(IF 3.844)**
4. Jelena P Marković, Mihajlo D Jović, Ivana D Smičiklas, Lato Pezo, Marija Z Šljivić-Ivanović, **Antoniје E Onjia**, Aleksandar R Popović, Chemical speciation of metals in unpolluted soils of different types: Correlation with soil characteristics and an ANN modelling approach, Journal of Geochemical Exploration 165 (2016) 71-80. ISSN: 0375-6742. **(IF 2.464)**
5. Marija Šljivić-Ivanović, Ivana Smičiklas, Mihajlo Jović, Slavko Dimović, **Antoniје Onjia**, Amendment Type and Dose Effects onto Coexisting Copper, Lead, and Nickel Ions Distribution in Soil, Water, Air and Soil Pollution 229 (339) (2018) 1-11. ISSN: 0049-6979. **(IF 1.963)**

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

(А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са СЦИ, ССЦИ, АХЦИ или СЦИе листе, као и Матх-Нет.Ру листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа

обухвата СЦИ, ССЦИ, АХЦИ и СЦИе листе, као и ЕРИХ листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као М24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11, М12, М13, М14, М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

20.06.2020.
Датум: _____

М.П.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 31. и 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 25.06.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Милена Радомировић**, број индекса 4010/2015, под називом: **„Загађење површинског седимента Бококоторског залива тешким металима и радионуклидима и процена ризика услед њихове биодоступности“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Антоније Оњиа, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Milene Radomirović za izradu doktorske disertacije

Odlukom br. 35/85 od 28. 05. 2020. godine, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, imenovani smo za članove Komisije za ocenu teme i kandidata Milene Radomirović za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „**Zagađenje površinskog sedimenta Bokokotorskog zaliva teškim metalima i radionuklidima i procena rizika usled njihove biodostupnosti**“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija o naučnoj zasnovanosti predložene teme podnosi sledeći

REFERAT

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Milena Radomirović je rođena 30. novembra 1985.godine u Požarevcu gde je završila srednju medicinsku školu, smer farmacija. Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu upisala je školske 2004/2005. godine, na katedri za Farmaceutsko inženjerstvo, gde je stekla zvanje diplomirani inženjer tehnologije - master hemijski inženjer.

Posle diplomiranja radila je kao dipl. inž. tehnologije u laboratoriji za kontrolu kvaliteta, Anahem d.o.o., na ispitivanju hrane i prehrambenih proizvoda, suplemenata, predmeta za opštu upotrebu, vode i zemljišta, kao i u firmi Fyltris d.o.o., kao tehnolog sa zaduženjima u projektima koji su se odnosili na optimizaciju, revitalizaciju i automatizaciju tehnoloških postupaka u okviru tretmana voda, primenu konvencionalnih i naprednih oksidacionih procesa u problematici prisustva polutanta u površinskim i otpadnim vodama, kao i kod prečišćavanja i dobijanja bioetanola.

Postdiplomske doktorske akademske studije upisala je školske 2015/2016. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerzitet u Beogradu, na studijskom programu Hemijsko inženjerstvo. Položila je sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija prosečnom ocenom 9,91. Pod mentorstvom prof. Dr Slavke Stanković, temu završnog ispita na doktorskim studijama „**Određivanje makro i mikro elemenata u biološkom materijalu korišćenjem ED-XRF tehnike**“ odbranila je 2017. godine sa ocenom 10.

Školske akademske 2017/2018. godine bila je angažovana kao asistent-demonstrator u izvođenju eksperimentalnog dela nastave, vežbi, na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na institutu za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo, na predmetu Kvalitet vode, za studente treće godine osnovnih akademskih studija.

1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

U okviru doktorskih akademskih studija položila je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit:

	Naziv predmeta	Ocena	Datum	ESPB
1.	Viši kurs analitičke hemije	9	27.01.2016.	5
2.	Fenomeni prenosa u biološkim sistemima	10	20.09.2016.	5
3.	Fizičko-hemijske osnove farmaceutskog inženjerstva	10	12.02.2016.	4
4.	Biohemijska kinetika	10	02.02.2016.	5
5.	Hemijska termodinamika	10	05.09.2016.	5
6.	Odabrana poglavlja numeričke analize	10	25.01.2016.	5
7.	Tečna hromatografija-masena spektrometrija	10	31.08.2016.	5
8.	Masena spektrometrija	10	13.06.2016.	5
9.	Odabrana poglavlja instrumentalne analize	10	15.06.2016.	7
10.	Elektrodni materijali	10	17.02.2017.	5
11.	Engleski jezik	10	05.02.2020.	
12.	Završni ispit na doktorskim studijama	10	28.09.2017.	30

Od decembra 2017. godine pa do sada, kao istraživač pripravnik zaposlena je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta, gde takođe obavlja istraživački deo doktorata u okviru projekta integralnih i interdisciplinarnih istraživanja "Nove tehnologije za monitoring i zaštitu životnog okruženja od štetnih hemijskih supstanci i radijacionog opterećenja", Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, broj projekta III43009 (Rukovodilac prof. Dr Antonije Onjia).

Od oktobra 2018. godine, bila je gostujući istraživač, stipendista PMU Salzburg, na Katedri za farmaceutsku hemiju na Univerzitetu u Beču (Faculty of Life Sciences, University of Vienna), pod mentorstvom prof. Dr Thierry Langer, i supervizora, rukovodioca laboratorije, prof. Dr Gert Lubec, u okviru projekta „Abnormal protein cross-linking, aggregation and autofluorescence in the ageing rat brain“. U okviru ovog projekta, nakon obuka predviđenih za ovo istraživanje, primenjivane su metode, tehnike i testovi za ispitivanje proteina metodom Western Blot, primena hemiluminiscentne i kolorimetrijske metode detekcije, digestija u gelu i LC-MS/MS, sa ciljem dobijanja informacija o identitetu i prirodi proteina velikih molekulskih masa koji formiraju agregate.

Spisak objavljenih naučnih i stručnih radova

Radovi u vrhunskom međunarodnom časopisu - M22

1. Perošević, A., Joksimović, D., Đurović, D., Milašević, I., **Radomirović, M.**, Stanković, S.: *Human exposure to trace elements via consumption of mussels *Mytilus galloprovincialis* from Boka Kotorska Bay, Montenegro*, Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology, vol. 50, pp. 554-559, **2018** (IF: **2.895**) (ISSN: 0946-672X).
2. Perošević, A., Pezo, L., Joksimović, D., Đurović, D., Milašević, I., **Radomirović, M.**, Stanković, S.: *The impacts of seawater physicochemical parameters and sediment metal contents on trace metal concentrations in mussels - a chemometric approach*, Environmental Science and Pollution Research, vol. 25, no. 28, pp. 28248 - 28263, **2018**, (IF **2.914**) (ISSN: 0944-1344).

Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u celini - M33

1. Stanković, S., **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Jović, M., Pezo, L., Degetto, S.: *Analiza makro i mikro elemenata u površinskom sedimentu i školjkama iz Bokokotorskog zaliva, Crna Gora – hemometrijski pristup*, 44-th International Conference, „VODA 2015“, Srpsko društvo za zaštitu voda, Kopaonik, Serbia, June 2-5, **2015**, pp. 261-266 (ISBN: 978-86-916753-2-5).
2. Stanković, S., **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Jović, M.: *The impact of major and minor elements from sediments on their content in *M. galloprovincialis* from the Boka Kotorska Bay, Montenegro*, "ECOLOGICAL TRUTH" ECO-Ist15, Kopaonik, Serbia, June 17-20, **2015**, pp. 60-67 (ISBN:978-86-6305-032-7).
3. Perošević, A., **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Stanković, A.R., Kalaba P., Stanković, S.: *The origin of elements in mussels from Boka Kotorska Bay, Montenegro*, International Journal of Food and Biosystems Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 47-55, **2017** (ISSN: 2408-0675) - Proceedings of the 3rd International Conference on Food and Biosystems Engineering, FABE 2017, Rhodes island, Greece, June 1-4, **2017**, pp. 339-347 (ISBN: 978-960-9510-23-3). https://www.fabe.gr/images/fabe_2017/journal/ifbevol3.pdf, http://fabe.gr/images/fabe_2017/proceedings_3face2017.pdf.
4. Simović, A., **Radomirović, M.**, Onjia, A., Stanković, S.: *Ispitivanja i kontrola deklariranih vrednosti flaširanih voda na osnovu merenja elektroprovodljivosti*, 38 Međunarodni naučno-stručni skup "Vodovod i kanalizacija '17", Kragujevac, Srbija, 10-13. oktobar, **2017**, pp. 297-303 (ISBN: 978-86-80067-36-0).
5. Janićijević, A., **Radomirović, M.**, Onjia, A., Stanković, S.: *Ispitivanje metalnog posuđa ED-XRF spektrometrijom*, The First International Students Scientific Conference "Multidisciplinary Approach To Contemporary Research, NANT-Belgrade 2017, Belgrade, Serbia, November 25-26, **2017** (ISBN: 978-86-6179-056-0).
6. Stanković, S., Perošević, A., Petrović, N., Ivković, M., Kojić, M., **Radomirović, M.**, Onjia, A.: *The influence of seawater physicochemical parameters on the content of trace elements in mussels and surface sediment*, 8th Symposium Chemistry and Environmental Protection, EnviroChem 2018, Kruševac, Serbia, May, 30 - June, 01, **2018**, pp. 71 - 72 (ISBN: 978-86-7132-068-9).

7. Maksin, D., Vukčević, M., Đurkić, T., Stanišić, I., Bakić, T., **Radomirović, M.**, Onjia, A.: *Gadolinium sorption on multi-walled carbon nanotubes*, XI International scientific conference Contemporary Materials 2018, September 02-03, Banja Luka, **2018**.

Saopštenja na međunarodnim skupovima štampana u izvodu - M34

1. Perošević, A., Joksimović, D., Đurović, D., Milašević, I., Pezo, L., **Radomirović, M.**, Stanković, S.: *The impact of seawater physico-chemical parameters and sediment metal contents on the mussel's heavy metal concentrations - a chemometric approach*, Journal of trace elements in medicine and biology, Vol 41, Supplement 1, TEMA-16 abstracts, Joint 16th International Symposium on Trace Elements in Man and Animals, 12th Conference of the International Society for Trace Element Research in Humans and 13th Conference of the Nordic Trace Element Society, Saint-Petersburg, Russia, June 26-29, **2017**, p.17. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.03.012>
2. Stanković, S., Bakić, T., **Radomirović, M.**, Onjia, A.: *Physicochemical properties and toxic elements in commercial honey samples from Serbia*, 5th International Symposium on Bee Products, International Honey Commission, Malta, May 7-10, **2019**, p.41.
3. Stanković, S., Onjia, A., **Radomirović, M.**, Bakić, T., Perošević, A.: *Human exposure to trace elements via consumption of mussels in the period of ten years from Boka Kotorska Bay, Adriatic Sea*, 4th International Conference on Food and Biosystems Engineering (I.C. FaBE), FASE 2019, Heraklion Crete Island, Greece, May 30-June 02, **2019**, p.261 (ISBN: 978-618-84533-0-2).
4. **Radomirović, M.**, Hussein, A.H., Onjia, A., Lubec, G., Stanković, S.: *Contemporary treatment methods in removal of emerging organic pollutants from water*, the 4th International Conference on New Horizons in Basic and Applied Science, ICNHBAS 2019, Hurgada, Egypt, July 26 -29, **2019**.

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini - M63

1. **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Onjia, A., Trivković, S., Stanković, S.: *Eliminacija mikropolutanata iz voda primenom savremenih postupaka*, 47. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda, „VODA 2018“, Srpsko društvo za zaštitu voda, VODA 2018, Sokobanja, 12.-14. jun, **2018**, str.371-380 (ISBN: 978-86-916753-6-3).
2. Stanković, S., Perošević, A., Petrović, N., Ivković, M., **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Onjia, A.: *Chemical composition of sediment samples, including Al and Li*, 47. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda, „VODA 2018“, Srpsko društvo za zaštitu voda, VODA 2018, Sokobanja, 12.-14. jun, **2018**, str. 305-312 (ISBN: 978-86-916753-6-3).
3. Stanković, S., Perošević, A., Petrović, N., Ivković, M., **Radomirović, M.**, Tanaskovski, B., Onjia, A.: *Analiza hemijskog sastava površinskog sedimenta u blizini morske obale*, 47. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda, „VODA 2018“, Srpsko društvo za zaštitu voda, VODA 2018, Sokobanja, 12.-14. jun, **2018**, str.313-315 (ISBN: 978-86-916753-6-3).

Učešće u projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva - M105

1. Projekat Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije (III 43009): *Nove metode i tehnike za separaciju hemijskih elementa u tragovima, organskih supstanci i radionuklida i*

2. Predmet i cilj istraživanja

Svetski trendovi dovode do uvećanja broja objekata na morskoj obali. Izgradnja luka, sidrišta, manjih i većih pristaništa illi drugih priobalnih adaptacija predstavljaju sve veći ekološki rizik [1]. Pored prirodnih, atmosferskih uticaja, poslednjih decenija negativni antropogeni pritisak je u porastu u priobalnim područjima jugoistočnog Jadrana usled sve učestalijih industrijskih, poljoprivrednih i drugih ljudskih aktivnosti [1]. Ljudske aktivnosti često utiču na mobilnost i redistribuciju materija prirodnog i antropogenog porekla u morskoj sredini, tako da mogu izazvati štetne efekte. Hemiju i dinamiku polutanata u morskom ekosistemu teško je predvideti usled hemijskih i fizičkih procesa taloženja, rastvaranja i transporta i često dolazi do akumulacije ovih supstanci u površinskom sedimentu [2].

Morska voda i njen površinski sediment, kao integralni deo, predstavljaju složen, otvoren i dinamički biogeohemijski sistem u koga materije dospevaju prirodnim i antropogenim putem. Brojni fizičko-hemijski i biohemijski procesi utiču na raspodelu materija u sistemu sediment-vodeni stub, opredeljujući oblike nalaženja, ponašanje i sudbinu hemijskih elemenata i oksida u morskoj sredini [2, 3]. Sedimenti i čvrste čestice suspendovane u vodi, jednim imenom nazvani geosorbenti, predstavljaju složen matriks i heterogenu čvrstu fazu čije osnovne konstituentne čine, pre svega, mineralna i organska materija. Zbog osobina ovih materija, površina sedimenata ima takve hemijske i strukturne osobine koje im omogućavaju da sorbuju različite polutante [4]. Vodena sredina može da primi velike količine polutanata, uključujući većinu jona teških metala, međutim, bez obzira na veliki kapacitet samoprečišćavanja, njihovo prisustvo u velikoj meri dovodi do promene kvaliteta morske vode [1]. Uticaji zagađenja vode jonima teških metala i prisustvo mikroelemenata proisteklih iz kopnenih aktivnosti su različiti i najpre se mogu manifestovati kod biljaka kao najosetljivijih organizama u lancu ishrane biljka-životinja-čovjek [1]. Određivanje sadržaja teških metala u morskoj vodi je složeno s obzirom na njihovo pojavljivanje u različitim i složenim hemijskim oblicima, kao i u veoma niskim koncentracijama, stoga je neizbežno koristiti specifične analize i različite metode merenja koristeći prvenstveno biotu mora i površinski sediment [1, 5].

Sedimenti predstavljaju dobar pokazatelj zagađenja vodenih sistema teškim metalima usled njihove hidrofobne prirode i sklonosti akumulacije u sedimentima [6]. Sedimenti takođe imaju ključnu ulogu u transportu ovih polutanata u okviru vodenog ekosistema [7, 8]. Mnoga istraživanja pokazala su da morski sedimenti čine glavni rezervoar teških metala i generalno se smatraju osetljivim istraživačkim indikatorima za praćenje njihove prostorne (površinski sedimenti) i vremenske (jezgra sedimenata) distribucije. Geohemijske karakteristike sedimenata mogu se koristiti za utvrđivanje porekla kontaminacije morske sredine.

Toksičnost, biodostupnost i osobine metala u vodi i sedimentu zavise od oblika u kojem se nalazi dati metal [3]. Na rastvaranje/taloženje teških metala u morskoj vodi/površinskom sedimentu utiču brojni faktori, kao što su pH, temperatura, salinitet i organske materije. Bilo koji oblik teških metala (rastvoreni ili nerastvoreni) nakon niza procesa se talože zajedno sa koloidnim česticama na morskom dnu pri čemu postaju glavni depo teških metala i drugih hemijskih supstanci i mogu biti dugoročno akumulirani [9]. Jednom kontaminiran površinski sediment može postati izvor sekundarnog zagađenja, kada usled promene uslova u vodenom sistemu, jednom sorbovani polutanti bivaju desorbovani i vraćeni u vodenu fazu gde ponovo predstavljaju opasnost i zagađenje za živi svet morske sredine [3]. Sedimenti čine esencijalnu, dinamičku komponentu svih akvatičnih sistema koji zbog snažno izražene tendencije vezivanja predstavljaju rezervoar akumuliranih, toksičnih i perzistentnih jedinjenja prirodnog i antropogenog porekla [3, 10].

Radioaktivnost prisutna u morskoj vodi, kao i sedimentima, uglavnom je posledica prisustva radioaktivnih elemenata u Zemljinoj kori. Radionuklidi kao što su ^{238}U , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K široko su rasprostranjeni u životnoj sredini kao rezultat njihove prirodne prisutnosti u Zemljinoj kori ili u atmosferi [11]. Međutim, u nedavnim studijama, pojavili su se drugi, veštački radionuklidi kao rezultat ljudskih aktivnosti, kao što je ^{137}Cs [12]. U primorskom okruženju, luke su naročito podložne antropogenim uticajima i obično predstavljaju oblasti od interesa za ispitivanje kontaminacije radionuklidima [11].

Koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida uglavnom zavise od geoloških uslova sedimentnih formacija svakog regiona u svetu [13], odnosno, aktivnost radionuklida prisutnih u zemljištu i sedimentima, kao i ostalih elemenata, uglavnom zavisi od vrste stena iz kojih potiču. Nekoliko parametara može uticati na distribuciju radionuklida i drugih elemenata, poput mineralogije, sadržaja organskih materija i geohemijskog sastava, koji igraju važnu ulogu u adsorpciji elemenata u sedimentima [13]. To znači da varijacije koncentracija izotopa i ostalih metala u sedimentima variraju u skladu sa brzinom taloženja čestica, prirodom i veličinom čestica, kao i prisustvom ili odsustvom organskih materija [14].

Glavni predmet ovog istraživanja uključuje primenu fizičkih, hemijskih i statističkih metoda pri određivanju koncentracije elemenata, oksida, organske materije i karbonata, kao i radionuklida u uzorcima površinskog sedimenta, na osnovu kojih će se definisati njihova prostorna i vremenska distribucija i izvršiti procena potencijalnog ekološkog rizika, u cilju određivanja kvaliteta sedimenata iz zaliva Boke Kotorske u 2019. godini, kao i poredbeni analiza dobijenih rezultata u periodu od 2005. do 2019. godine. Poseban deo ove disertacije biće usmeren na uzorkovanje, metode pripreme uzoraka, zatim, na metode instrumentalnog određivanja koncentracija elemenata, oksida i radionuklida u ispitivanim uzorcima, kao i na obradu i interpretaciju rezultata.

U tom cilju primeniće se sledeće metode nedestruktivne hemijske analize:

- Metoda elementarne analize, energetski disperzivna rendgenska fluorescentna spektrometrija (ED-XRF) koja omogućava određivanje hemijskog sastava, odnosno, karakterizaciju ispitivanih sedimenata iz zaliva Boke Kotorske. Merenjem će se izvršiti simultano određivanje sadržaja velikog broja elemenata i oksida: Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 , Cr , Co , Ni , Cu , Zn , As , Se , Hg , Pb , Sn , Sb , Ba , Sr , Br , Rb , Zr , Cd , Mo , Cs , Y , V , Ga , La , U , Th , Nb , S , Cl . Ova tehnika omogućava kvalitativnu i kvantitativnu hemijsku analizu velikog broja elemenata (od Na do U) u kratkom vremenskom periodu [15, 16]. S obzirom da se istovremeno može odrediti veliki broj elemenata u širokom opsegu merenja, ova metoda se vrlo često koristi u oblasti istraživanja životne sredine [15]. Za razliku od metoda koje zahtevaju pripremanje, odnosno, razaranje i digestiju uzoraka, kojima se može dobiti samo sadržaj elemenata koji je rastvoren u kiselini tokom pripreme, ED-XRF metoda se pokazala pogodnom za detekciju ukupne koncentracije elemenata, kao i oksida prisutnih u uzorcima sedimenata bez razaranja uzoraka [17].
- Metoda visokorezolucione gama spektrometrije omogućava kvalitativnu i kvantitativnu analizu gama spektra pomoću poluprovodničkog HPGe detektora pri određivanju radionuklida u uzorku. Jedna je od najčešće korišćenih tehnika za određivanje aktivnosti radionuklida u uzorcima iz životne sredine, kao i za karakterizaciju sedimenta, gline, stena, minerala i dr. Merenje radioaktivnosti uzoraka sedimenta biće izvedeno nakon sušenja i postizanja odgovarajućeg stepena granulacije uzoraka u marineli posudama odgovarajuće zapremine.

U ovoj disertaciji, pored sadržaja brojnih elemenata, oksida, kao i organskog i karbonatnog sastava površinskog sedimenta iz Bokokotorskog zaliva, biće izvršeno i određivanje koncentracije prirodnih (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb i ^{238}U) i antropogenih (^{137}Cs) radionuklida u sedimentima uzorkovanih na različitim lokacijama Bokokotorskog zaliva u 2019. godini, kao i poređenje rezultata u periodu od

2005. do 2019. godine. Ove informacije za cilj će imati da pomognu u određivanju izvora i distribucije radionuklida u zalivu, praćenju aktivnosti u poslednjih petnaest godina, kao i u proceni potencijalnog rizika na morski ekosistem i javno zdravlje. Postoji malo dokumentovanih studija u vezi sa primenom merenja gama zračenja u cilju određivanja koncentracija prirodnih radionuklida u sedimentima u području Bokokotorskog zaliva.

S obzirom na sposobnosti akumulacije i vezivanja velikih količina toksičnih elemenata i radionuklida, sedimenti predstavljaju sredstvo za prenos radionuklida u vodenu sredinu [13] i mogu biti pouzdani pokazatelji uticaja zagađenja [12]. U ovom radu, prirodni i antropogeni radionuklidi u zalivu Boke Kotorske biće korišćeni kao „trejseri“ za istraživanje i praćenje puteva i mehanizama njihovog kretanja, kao i za označavanje i procenu potencijalnog uticaja na morski sistem [18]. Ovo je važan parametar ne samo za procenu kvaliteta ispitivane morske sredine, već i za proučavanje dinamike sedimenta i podvodnu geomorfologiju [11].

Aktivnosti čoveka imaju značajne negativne efekte na stanje ekosistema i na održivost ovog prirodnog resursa, stoga su kontrola i upravljanje primorskim i morskim zagađenjem neophodni za očuvanje morske sredine zaliva. Da bi se bolje razumeo kvalitet sedimenata unutar zaliva i izvršila procena stepena kontaminacije teškim metalima, analizom sedimenata biće omogućeno određivanje različitih indeksa zagađenja, kao dijagnostičkog alata za monitoring, kontrolu i procenu ekološkog rizika ekosistema ovog morskog zaliva [19]. Jedan od njih je faktor obogaćenja (EF), koji predstavlja sredstvo za razlikovanje antropogenih od prirodnih izvora kontaminacije teškim metalima [20]. Primena faktora obogaćenja (EF), indeksa geoakumulacije (I_{geo}) i indeksa opterećenja sedimenata (PLI), pružiće informacije o proceni stepena kontaminacije teškim metalima u površinskom sedimentu, kako bi odredili kojim lokacijama treba posvetiti posebnu pažnju [21, 22]. Indeks rizika (RI) prevashodno je namenjen izražavanju mogućeg ekološkog rizika od zagađenja usled povećanih koncentracija toksičnih supstanci [22] na svakoj lokaciji uzorkovanja pojedinačno.

Koncentracije teških metala, kao što su As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni i Zn i posmatraće se u kontekstu ekološkog rizika za morske organizme, tako što će se poređenja vršiti prema smernicama za kvalitet sedimenata (SQGs, eng. Sediment Quality Guidelines), a po predlogu Američke agencije za zaštitu životne sredine (USEPA) [23]. Dva seta smernica (SQGs) biće primenjena u ovom ispitivanju da bi se procenio ekotoksikološki uticaj navedenih teških metala u sedimentu na živi svet zaliva: (a) nizak raspon efekata (ERL, effects range-low) / srednji raspon efekata (ERM, effect range-median) i (b) nivoi praga efekta (TEL, Threshold Effects Levels) / verovatan nivo efekta (PEL, Probable Effects Levels) vrednosti, tj. doprinosu rizika svakog pojedinačnog elementa na stepen kontaminacije površinskog sedimenta, kao i na mogući ekotoksikološki uticaj na biotu Bokokotorskog zaliva. Takođe, indeks prosečnog ERM kvocijenta (ili MERMQ, mean ERM quotient) koristiće se za redukciju velikog broja polutanata u jedinstvenu vrednost [19].

Takođe, indeks jačine kontaminacije (CSI, Contamination Severity index) i indeks rizika toksičnosti (TRI, Toxic Risk Index) korišćeni su za procenu kontaminacije sedimenata teškim metalima. Struktura CSI indeksa zasniva se na ERL i ERM vrednostima kao granicama toksičnosti i štetnih efekata na biotu, dok su za težinu (W_i) svakog teškog metala korišćeni podaci, odnosno, rezultati dobijeni analizom glavnih komponenti (PCA)/faktorske analize (FA) kao faktora specifičnog za lokaciju. Primenom ove metode, poreklo teških metala tumači se u svakoj oblasti ispitivanja, pa je ova tehnika korisna kao faktor specifičan za lokaciju koji se primenjuje u predloženom indeksu [19]. Indeks rizika toksičnosti (TRI) se koristi kao nova validirana metoda za procenu ekotoksičnosti sistema imajući u vidu uticaj TEL i PEL i predstavlja sveobuhvatni indeks toksičnog rizika [24].

Za skup dobijenih rezultata za elemente i okside sa svih lokacija biće izvedena statistička analiza, kao što su analiza glavnih komponenta (PCA), klaster analiza (CA) i Pirsonov koficijent korelacije

(r) kako bi se dobila sveobuhvatna raspodela i izvor ispitivanih elemenata, kao i međusobna zavisnost ispitivanih elemenata/oksida. Klaster analiza biće korišćena za grupisanje podataka sistema u kategorije na osnovu njihovih sličnosti/razlika. Primenom statističkih metoda utvrdiće se sličnost/različnost kvaliteta ispitivanog površinskog sedimenta u odnosu na lokaciju, sezonu, godinu i u odnosu na hemijski sastav istog. Skup dobijenih rezultata merenja biće podvrgnut korelacijskoj analizi za razjašnjavanje odnosa teških metala i geohemijskih karakteristika.

Literatura:

- [1] Joksimović, D., Castelli, A., Mitrić, M., Martinović, R., Perošević, A., Stanković, S.: *Marine chemistry of the Boka Kotorska Bay*, In A. Joksimović et al. (Eds.), *The Boka Kotorska Bay Environment, The Handbook of Environmental Chemistry* (2016), pp. 89–115, Springer International Publishing Switzerland, Cham.
- [2] Baudo, R., Giesy, J.P., Muntau H.: *Sediments: chemistry and toxicity of in-place pollutants*, Lewis Publishers (1990) p. 405 (ISBN: 0873712528).
- [3] <http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2007/Sistem%20voda-sediment%20kao%20ekoloski%20izazov.pdf>.
- [4] Doktorska disertacija, mr Jelena Tričković: *Primena sorpcionih parametara odabranih hidrofobnih organskih polutanata na organskoj materiji sedimenta za procenu njihove dostupnosti u sistemima sediment-voda*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, 2009.god.
- [5] Noura, H.E., El-Sorogya, A.S., El-Wahab, M.A., Nouhd, E.S., Mohamadenc, M., Al-Kahtanye, K.: *Contamination and ecological risk assessment of heavy metals pollution from the Shalateen coastal sediments, Red Sea, Egypt*, *Marine Pollution Bulletin* (2019) 144:167–172.
- [6] Liu, Q., Jia, J., Li, S., Hu, J.: *Assessment of heavy metal pollution, distribution and quantitative source apportionment in surface sediments along a partially mixed estuary (Modaomen, China)*, *Chemosphere* (2019) 225:829–838
- [7] He, Z., Li, F., Dominech, S., Wen, X., Yang, S.: *Heavy metals of surface sediments in the Changjiang (Yangtze River) Estuary: distribution, speciation and environmental risks*, *J. Geochem. Explor.* (2019) 198:18–28.
- [8] Łuczyńska, J., Paszczyk, B., Łuczyński, M.J.: *Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health*, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* (2018) 153:60–67.
- [9] Guo, W., Liu, X., Liu, Z., Li, G.: *Pollution and Potential Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in the Sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin*, *Procedia Environmental Sciences* (2010) 2:729–736.
- [10] USEPA, - EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. 823-R-98-001, 1998.
- [11] Botwe, B.O., Schirone, A., Delbono, I., Barsanti, M., Delfanti, R., Kelderman, P., Nyarko, E., Lens, P.N.L.: *Radioactivity concentrations and their radiological significance in sediments of the Tema Harbour (Greater Accra, Ghana)*, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* (2017) 10:63-71.
- [12] El-Reefy, H.I., Sharshar, T., Elnimr, T., Badran, H.M.: *Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the marine environment of the Burullus Lake: II. Bottom sediments*, *Environmental Monitoring and Assessment* (2010) 169:273–284.
- [13] Baba-Ahmed, L., Benamar, M.E.A., Belamri, M., Azbouche, A., Benarous, S., Benkhalifa, A.: *Natural radioactivity levels in sediments in Algiers Bay using instrumental neutron activation analysis*, *Radiochimica Acta* Issue (2018) 106 (11): 939-948.
- [14] Battle, M.G., Tejero, J.M.N.: *Marine Sediments as Fundamental Repository of Radioactive Contaminants in Aquatic Ecosystems*, *Sedimentation Engineering* (2017), Open access peer-reviewed chapter.
- [15] Shackley, M.S.: *An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, Springer Science Business Media, LLC 2011, pp: 7-44.
- [16] *Elemental Analysis of Geological Materials Using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy (EDXRF)*, www.spectro.com.
- [17] Tung, J.W.T.: *Determination of metal components in marine sediments using energy-dispersive x-ray fluorescence (ED-XRF) spectrometry*, *Annali di Chimica*, 94 (2004) by Società Chimica Italiana.
- [18] Tsabaris, C., Evangeliou, N., Fillis-Tsirakis, E., Sotiropoulou, M., Patiris, D.L., Florou, H.: *Distribution of natural radioactivity in sediment cores from Amvrakikos Gulf (Western Greece) as a part of IAEA's*

campaign in the Adriatic and Ionian seas, Radiation Protection Dosimetry (2012), Vol. 150, No. 4, pp. 474–487.

- [19] Pejman, A., Bidhendi, G.N., Ardestania, M., Saeedib, M., Baghvand A.: *A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study*, Ecological Indicators (2015) 58:365-373.
- [20] Özkan, E.Y.: *A New Assessment of Heavy Metal Contaminations in an Eutrophicated Bay (Inner Izmir Bay, Turkey)*, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (2012) 12: 135-147.
- [21] Gržetić, I., Ghariani, R.H.A.: *Potential health risk assessment for soil heavy metal contamination in the central zone of Belgrade (Serbia)*, J.Serb.Chem.Soc. (2008) 73(8-9): 923-934.
- [22] Hakanson, L.: *An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach*, Water Research (1980) 14 (8): 975-1001.
- [23] Giesy, P.J., Hoke, R.A.: *Freshwater sediment quality criteria: Toxicity bioassessment in Sediment: Chemistry and toxicity of in-place pollutants*, Edited by: R. Baudo, J.P. Giesy, M. Muntao, Lewis Publisher, Ann Arbor, Boston, 1990, p. 391.
- [24] Zhang, M., He, P., Qiao G., Huang, J., Yuan, X., Li, Q., *Heavy metal contamination assessment of surface sediments of the Subei Shoal, China: Spatial distribution, source apportionment and ecological risk*, Chemosphere (2019) 223:211-222.

3. Polazne hipoteze

Kao sastavni deo biosfere, metali i prirodni radionuklidi predstavljaju prirodne geohemijske komponente Zemljine kore. Teški metali se pojavljuju u obliku elemenata u različitim koncentracijama sa različitim hemijskim karakteristikama, pri čemu većina njih predstavlja esencijalne elemente za biološke sisteme. Veliki doprinos ukupnoj dozi gama-zračenja u životnoj sredini potiče upravo od prirodnih radionuklida. S obzirom da ne postoji oštra granica između različitih vrsta efekata koje jonizujuće zračenje izaziva, važno je pratiti koncentracije aktivnosti radionuklida u životnoj sredini i analizirati njihove efekte na živi svet u skladu sa međunarodnim preporukama i smernicama.

Sa brzim razvojem industrije i poljoprivrede, zagađenje postaje važan faktor koji može ugroziti stanje priobalnih, a time i morskih ekosistema. Zagađenje teškim metalima privlači značajnu pažnju usled njihove toksičnosti, perzistentnosti i ne-biodegradibilne prirode, a glavni izvori zagađenja su industrijske i urbane aktivnosti, poljoprivreda, saobraćaj i geološki eluvijalni procesi (fizičko-hemijsko raspadanje stena). Mnoga istraživanja koja se odnose na prisustvo teških metala, kao važne klase polutanata u morskim sredinama, najčešće su usmerena na njihove direktne negativne efekte na morske organizme, a time i na čoveka. Ovi direktni efekti proizilaze iz opšte toksičnosti teških metala po različite biološke procese. Pored direktnih efekata, polutanti mogu imati i indirektan uticaj preko lanca ishrane u morskoj sredini. S obzirom da morski organizmi predstavljaju izvor hrane, veoma je bitno umanjiti sve veće negativne uticaje antropogene aktivnosti i sprovesti mere kontrole i zaštite za unapređenje kvaliteta morske sredine i primeniti naučnu metodologiju koja ovu problematiku posmatra u vidu jednog kompleksnog sistema što će i biti cilj ove disertacije.

Geohidrološke karakteristike Bokotorskog zaliva u kombinaciji sa stalnim uticajem meteoroloških prilika, naročito tokom zime (kišne sezone), igraju važnu ulogu u kvalitetu i karakteristikama površinskog sedimenta, kao i dinamike vode zaliva. Morske struje su odgovorne za transport znatnog dela zagađujućih materija u okviru ekosistema zaliva i za disperziju pritekla slatke vode iz okolnih rečnih slivova, kao i vrulja, prirodnih izvora slatke vode sa dna zaliva. Ovaj režim cirkulacije vode varira na sezonskom i godišnjem nivou. Bokotorski zaliv je polu-zatvoren zaliv koji se smatra glavnim izvorom slatke vode koja se uliva u južno Jadransko more. Čine ga četiri manja zaliva (Herceg Novi, Tivat, Risan, Kotor) koji se međusobno razlikuju u pogledu geoloških i hidroloških karakteristika koje imaju uticaj na sastav i kvalitet površinskog sedimenta zaliva. Kotorski i Risanski zalivi u okviru Boke Kotorske, generalno razmenjuju malo vode sa

otvorenim morem i imaju visoke vremenske vrednosti zadržavanja i razmene vode sa otvorenim morem i po tome se znatno razlikuju od drugih delova zaliva.

Klasičnom hemijskom analizom morske vode, ne može se doći do preciznih informacija o distribuciji metala, njihovoj bioraspoloživosti i mobilnosti, a time i mogućem zagađenju. S obzirom da je teško sakupiti validne uzorke vode koji mogu biti reprezent za analizu elemenata u tragovima, jer pokazuju malu vremensku i prostornu reprezentativnost, stoga se monitoring morske sredine, pored analize pojedinih živih organizama mora kao bioindikatora, zasniva i na analizi površinskog sedimenta.

Mnoga istraživanja pokazala su da morski sedimenti čine glavni rezervoar teških metala i generalno se smatraju osetljivim istraživačkim indikatorima za monitoring. Geohemijske karakteristike sedimenata mogu se koristiti za zaključivanje porekla kontaminacije morske sredine. Usled izraženih sorpcionih karakteristika čestičnih materija, morski sedimenti se ponašaju kao važan izvor metala u vodenoj sredini i pružaju korisne informacije u istraživanju o zagađenosti mora i kvalitetu morske sredine. Promene uslova u sistemima sediment-voda, često izazivaju promene fizičko-hemijskih karakteristika površinskog sedimenata, kao i kvaliteta vodenog stuba iznad sedimenta, pri čemu dolazi do desorpcije polutanata iz sedimenata i njihove mobilnosti, odnosno, transporta nazad u vodenu fazu i ispoljavanja štetnih efekata po ekosistem morske sredine.

U poslednjoj deceniji, sve intenzivnije se prati kvalitet, odnosno, ukupni sadržaj teških toksičnih metala u Jadranskom moru, pa tako i u Bokokotorskom zalivu. Budući da životna sredina nije zatvoren sistem, pojedini polutanti se mogu ponašati različito usled različitih hemijskih svojstava. Stoga, kada su u pitanju makro i mikro elementi, oksidi, toksični metali i radionuklidi, ispitivanje kvaliteta površinskog sedimenata sa morskog dna je važno za buduće studije u okviru monitoringa zaliva, usled translokacije, odnosno, migracije radionuklida u zalivu.

Pored jednogodišnjeg ispitivanja površinskog sedimenta u Bokokotorskom zalivu u 2019. godini, u ovo istraživanje biće uključeno i razmatranje kvaliteta površinskog sedimenta zaliva u periodu od 2005-2019. godine primenom ED-XRF spektrometrije za merenje sadržaja velikog broja elemenata i oksida, zatim, metode spektrometrije gama zračenja za detekciju, odnosno, merenje aktivnosti prirodnih i antropogenih radionuklida, čime će se utvrditi njihovo poreklo, prirodno i/ili antropogeno, varijacije u koncentracijama - vremenske i prostorne, stanje morske sredine u zalivu u poslednjih petnaest godina, kao i mogući toksični efekat sadržaja pojedinih elemenata na biodiverzitet morske sredine zaliva.

Na osnovu izvršenih analitičkih merenja i obrade podataka, dobijene informacije mogu biti ključne za poreklo i nivo toksičnih elemenata, kako u poslednjoj godini ispitivanja, tako i u navedenom periodu. Takođe, ove informacije su značajne za procenu rizika, odnosno, procenu ekoloških posledica za živi svet zaliva usled prisustva brojnih polutanata prisutnih u morskoj sredini ispitivanog područja.

4. Naučne metode istraživanja

Za ostvarivanje cilja ovog istraživanja, u radu će biti dat pregled i opis metoda vezanih za uzorkovanje, pripremu uzoraka: prosejavanje, sušenje, žarenje, ustinjavanje, homogenizacija i presovanje, kao i metode za kvantitativnu i kvalitativnu analizu i ispitivanje koncentracija elemenata, oksida, prirodnih i antropogenih radionuklida. U ovom delu, sledeće analitičke metode i tehnike će imati primenu:

- Granulometrijska (sitovna) analiza za određivanje strukture i veličine zrna sedimenta
- Gravimetrijske metode analize za kvantitativno određivanje sastojaka na osnovu mase

- ED-XRF spektrometrija (energetski disperzivna fluorescentna rendgenska spektrometrija)
- HPGe Gama spektrometrija

Veoma često, tehnološke karakteristike i ponašanje materijala u pojedinim procesima u većoj meri zavise od sastava po veličini zrna, nego od fizičko-hemijskih osobina. Za tehnološke operacije razdvajanja čvrstog materijala merodavan je prečnik čestica. U cilju određivanja granulometrijskog sastava materijala koristiće se sitovna analiza (mehanička klasifikacija), s obzirom da se prosejavanje smatra najuniverzalnijim načinom klasifikacije materijala. Kao sita za granulometrijsku analizu koristiće se isključivo standardna sita kod kojih se veličina okaca menja prema određenom modulu i za koje je debljina žice tačno određena.

Gravimetrijskom metodom analize biće određivan sadržaj vlage, zatim, sadržaj organske materije i sadržaja karbonata, pri čemu će vrednosti dobijenih rezultata imati primenu prilikom XRF instrumentalne analize za korekciju efekta matriksa.

ED-XRF metoda će se primeniti za određivanje sadržaja oksida, makroelemenata, mikroelemenata i retkih elemenata u površinskim sedimentima u cilju utvrđivanja hemijskog sastava. Rezultati XRF analize obezbediće podatke za primenu i proračun različitih indeksa, čime će se izvršiti procena stepena kontaminacije morskih sedimenata.

Metoda HPGe gama spektrometrije biće korišćena za kvalitativno i kvantitativno određivanje aktivnosti radionuklida u ispitivanim uzorcima sedimenata. Većina radionuklida, prirodnih (NORM) i veštačkih (TENORM), mogu se detektovati i kvantitativno odrediti u ekstremno niskim koncentracijama primenom spektrometrije gama zračenja što ih čini odličnim „trejserima“ za mnoge procese u cilju zaštite životne sredine, kao i jedinstvenim alatima za datiranje.

Pored navedenih metoda, primeniće se hemometrijski pristup i matematičko-statistička obrada podataka sa ciljem da oblikuje rezultate merenja pomoću sledećih metoda:

- PCA (principal component analysis), analiza glavne komponente
- CA (cluster analysis), klasteraska analiza
- r (Pearson correlation coefficient), Pearsonov koeficijent korelacije

Analiza glavnih komponenti (PCA) će se koristiti u cilju smanjenja skupa podataka uz zadržavanje njegove varijabilnosti, kako bi se olakšalo predstavljanje podataka, sagledala struktura sistema i odnosi među korišćenim promenljivima. Klaster analiza (CA) je druga metoda koja će se primeniti u svrhu grupisanja podataka, baziranih na karakteristikama koje poseduju, pokazujući sličnost/različitost između klastera, odnosno, izvršiće se grupisanje oksida i elemenata u uzorku. Time će se utvrditi poreklo, sezonska i lokacijska varijabilnost i praćenje uticaja ispitivanih parametara.

5. Očekivani naučni doprinos

Rezultati i realizacija ove doktorske disertacije bi doprineli u sledećim stavkama:

- utvrđivanje koncentracije 28 elemenata, 10 oksida, četiri prirodnih i jednog antropogenog radionuklida u morskom površinskom sedimentu zaliva za period 2019. godine;
- utvrđivanje granulometrijskog sastava sedimenata zaliva, kao i sadržaja organske materije i karbonata u površinskom sedimentu;

- prostorna i vremenska distribucija ispitivanih elemenata, oksida i radionuklida u morskom sedimentu uzorkovanom na različitim lokacijama i dubinama unutar Bokokotorskog zaliva, kao i praćenje promena i trenda kontaminacije i sedimentacije tokom perioda od 2005. - 2019. godine;
- na osnovu koncentracije prirodnih radionuklida u sedimentu u različitim delovima zaliva biće utvrđena mapa prirodne radioaktivnosti u Bokokotorskom zalivu, kao i brzina sedimentacije;
- pokušaj radiohronološke rekonstrukcije sedimenata deponovanih u poslednjih 100-150 godina;
- utvrđivanje kvaliteta i procena stanja morskog ekosistema na osnovu hemijskog sastava ispitivanih uzoraka i korišćenjem smernica o kvalitetu sedimenata;
- definisanje antropogenih uticaja na ekotoksičnost površinskog sedimenta, ispitivanje stepena zagađenja teškim metalima i procena njihove biodostupnosti kao potencijalnog rizika za živi svet sredine zaliva, izraženo različitim indeksima kontaminacije (*EF*, *I_{geo}*, *PLI*, *RI*, *MERM*, *CSI*, *TRI*).
- identifikacija izvora i porekla kontaminacije toksičnim elementima, ispitivanje njihovih međusobnih odnosa i uticaja vezano za izvor i pojedinačne lokacije u zalivu, razmatraće se primenom multivarijacione statističke analize u 2019. godini i periodu od 2005-2019.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predmet rada ove doktorske disertacije zasniva se na ispitivanju površinskog sedimenta primenom pomenutih analitičkih tehnika u cilju određivanja kvaliteta sedimenta i njegovog hemijskog sastava, uključujući radionuklide kako bi se utvrdila osnovna mapa prirodne radioaktivnosti u Bokokotorskom zalivu. Na osnovu kvalitativne i kvantitativne analize sadržaja elemenata i oksida, u cilju procene kvaliteta sedimenata, pratiće se uticaj i potencijalni rizik na stanje morskog ekosistema zaliva.

Da bi se postigao predloženi plan istraživanja, najpre bi se izvršilo uzorkovanje površinskog sedimenta u zalivu (iz priobalnih zona i iz središnjih delova zaliva) i propisno pakovanje u cilju izbegavanja kontaminacije i zaštite integriteta uzoraka. Prilikom postupka uzorkovanja, mora se voditi računa da uzorak bude reprezentativan, a treba uzeti u obzir i faktore koji utiču na koncentraciju, kao npr. uticaj sezonskih i meteoroloških promena. Metode pripreme biće izvedene u skladu sa literaturom i zahtevima tehnika i metoda. Priprema uzorka predstavlja kritičan korak jer kvalitet pripreme utiče na pouzdanost rezultata. Kvalitet instrumentalnog merenja jednako je važan kao i kvalitet pripreme i posebna pažnja se mora ukazati na mogućnosti kontaminacije što može uticati na rezultat analize. Primenom ED-XRF metode i spektrometrije gama zračenja biće kvalitativno i kvantitativno određen veliki broj elemenata, oksida i radionuklida, neophodnih za analizu stanja morske sredine zaliva. Ujedno, biće izvršena poredbeno analiza sa rezultatima iz ranijih vremenskih perioda istraživanja u zalivu, kao i sa rezultatima vezanih za površinski sediment mediteranske obale. Time će se postići praćenje uticaja ispitivanih elemenata i radionuklida na njihovu biodostupnost vezanu za živi svet zaliva, kao i praćenje kvaliteta površinskog sedimenta primenjujući različite indekse zagađenja.

Nakon instrumentalne analize i određivanja elemenata u ispitivanim uzorcima sedimenata, svi eksperimentalno dobijeni podaci će se obraditi primenom multivarijantne statističke analize (analiza glavne komponente (PCA), klastera analiza (CA), Pisonov koeficijent korelacije (*r*)) i prikazati uz diskusiju. Utvrđivanje porekla i izvora teških metala kao i praćenje raspodele elemenata i

radionuklida unutar zaliva u odnosu na lokaciju, sezonu i godinu biće ispitivanim pomoću navedenih metoda.

Predviđa se da će u doktorskoj disertaciji biti obrađena sledeća poglavlja: *Uvod*, *Teorijski deo*, *Eksperimentalni deo*, *Rezultati i diskusija*, *Zaključak* i *Literatura*.

U okviru disertacije, predviđa se razrada sledećih poglavlja:

1. U poglavlju *Uvod* biće definisani ciljevi disertacije, predmet istraživanja, kratak osvrt na područje ispitivanja i problematiku prisustva teških metala i radionuklida, njihovo poreklo, izvori i oblici nalaženja morskim sedimentima, kao i odabiru i prednostima primenjenih metoda njihovog instrumentalnog određivanja.
2. *Teorijski deo* doktorske disertacije obuhvatiće analizu prethodnih istraživanja i literature koji se odnose na:
 - Opšte karakteristike ispitivanog područja, sistem morske sredine i sedimenta
 - Izvor i vrste zagađenja
 - Raspodele metala i procene dostupnosti u sedimentima
 - Ispitivanje uticaja promene fizičko-hemijskih uslova na mobilnost teških metala u sistemu vodeni stub-sedimenti
 - Uticaj sorpcije/desorpcije teških metala i njihova biodostupnost
 - Klasifikaciju i pregled kriterijuma kvaliteta sedimenta
 - Opis primene instrumentalnih metoda kao i faktora koji utiču na preciznost i uslove merenja.
3. U *Eksperimentalnom delu* biće navedene i opisane metode korišćene u eksperimentalnom radu:
 - Opis metode i područja uzorkovanja
 - Metode pripreme uzoraka za analizu prema odgovarajućim metodama (prosejavanje, sušenje, žarenje, mlevenje, homogenizacija, presovanje)
 - Opis analitičkih metoda analiza: ED-XRF spektrometrija, spektrometrija γ -zračenja
 - Metode multivarijantne statističke analize.
4. U okviru poglavlja *Rezultati i diskusija* biće dat detaljan prikaz svih dobijenih rezultata (eksperimentalnih i statističkih) uz diskusiju, koja će se odnositi na praćenje koncentracija, elementarnog sastava i radioaktivnosti ispitivanih morskih sedimenata iz Bokotorskog zaliva, čime će se omogućiti monitoring i utvrditi trend promena u morskoj sredini ispitivanog zaliva, kao i utvrđivanje mogućih izvora zagađenja. Na osnovu utvrđenih nivoa teških metala u sedimentima, biće određivan stepen zagađenja korišćenjem različitih indeksa kontaminacije, biodostupnost i ujedno procena potencijalnog rizika na morsku sredinu zaliva za 2019. godinu, kao i za period od 2005. do 2019. godine.
5. U poglavlju *Zaključak* biće istaknuti najvažniji rezultati disertacije na osnovu dobijenih rezultata i izvršenih analiza i biće dat prikaz osnovnih zaključaka istraživanja.
6. U poglavlju *Literatura* biće navedene reference citirane u ovoj disertaciji, kao i radove proistekle istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije.

7. Zaključak

Na osnovu iznetih podataka, članovi Komisije smatraju da je tema doktorske disertacije koju je predložila Milena Radomirović „Zagađenje površinskog sedimenta Bokotorskog zaliva teškim metalima i radionuklidima i procena rizika usled njihove biodostupnosti“ dobro utemeljena i naučno zasnovana. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da Mileni Radomirović, dipl.-master inženjeru tehnologije, odobri izradu doktorske disertacije pod navedenim nazivom i da za mentora imenuje dr Antonija Onjiu, vanrednog profesora Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemijsko inženjerstvo za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova.

U Beogradu, 17 jun 2020.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Antonije Onjia, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Slavka Stanković, redovni profesor u penziji
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Aleksandra Perić-Grujić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Boris Lončar, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Milica Vasić, naučni saradnik
Institut za ispitivanje materijala, Beograd