

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ - ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА**

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Тање Једнак Берић, мастер биохемичара

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржаној 09. 09. 2021. године, одређени смо у Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 581/4) кандидаткиње **Тање (Вељко) Једнак**, мастер биохемичара, под називом:

„Биоремедијација сложених рафинеријских супстрата насталих инцидентно или намерном деструкцијом инсталација: испитивања на модел супстрату”

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној дана 28. 10. 2021. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (евиденциони број 61206-4253/2-21). Комисија је докторску дисертацију прегледала и подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. ПРИКАЗ САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација Тање Једнак Берић написана је на 104 страна А4 формата (фонт Times New Roman; величина 12 pt, проред 1, маргине 2 cm) и садржи 29 слика и 19 табела. Рад обухвата следећа поглавља: Увод (1 страна), Преглед литературе (52 стране), Материјал и методе (11 страна), Резултати (13 страна), Дискусија (2 стране), Закључци (1

страна) и Литература (12 страна). Поред наведеног дисертација садржи Захвалницу, Сажетак на српском и енглеском језику (по 2 стране), Садржај (3 стране), Биографију кандидата (1 страна), Списак објављених и саопштених радова проистеклих из дисертације (1 страна), Изјаву о ауторству (1 страна), Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (1 страна) и Изјаву о коришћењу (2 стране).

У **УВОДУ** су образложени предмет и циљ истраживања ове докторске тезе, истакнут значај микроорганизама изолованих из загађеног земљишта, за поступке биоремедијације тешких метала у животној средини.

У **ПРЕГЛЕДУ ЛИТЕРАТУРЕ**, из углавном новијих научних радова, дат је преглед литературе која описује загађење животне средине од стране нафтне индустрије, као и кратки приказ прераде нафте са нагласком на процес хидродесулфуризације нафте.

Приказане су различите методе за третман отпада, а наглашена је метода биоремедијације, а у оквиру ње су наведене микробна биоремедијација, фиторемедијација и зооремедијација.

У наредном делу овог поглавља описане су врсте загађивача који доспевају у животну средину и њихов утицај на здравље човека.

У последњем делу овог поглавља је детаљно описана метода биоремедијације, код којих загађивача се она највише примењује, какви су токсични ефекти тешких метала на микробне ћелије, који микроорганизми учествују у процесима биоремедијације и шта је до сада познато у биоремедијацији станишта загађених тешким металима.

У **МАТЕРИЈАЛУ И МЕТОДАМА** је у првом делу испитиван инхибиторни ефекат катализатора за хидродесулфуризацију нафте који су у себи од метала садржали кобалт и молибден. Описан је конзорцијум микроорганизама који се користио у биоремедијацији. Детаљно су описане аналитичке методе за карактеризацију катализатора. У другом делу овог поглавља је описана биоремедијација сложеног рафинеријског супстрата. Наведено је како је припремљен модел супстрат, описан је дизајн експеримента, како се припрема биомаса зимогеног конзорцијума микроорганизама и узорци за анализу. Наведене и детаљно описане су микробиолошке методе, као и основне физичко-хемијске анализе, на који начин су се пратиле нафтне фракције. Посебан значај је дат методама за одређивање метала.

Поглавља **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА** су одвојена и у њима је кандидаткиња представила све резултате постигнуте у изради докторске дисертације. Представљени и

коментарисани су основни хемијски параметри и садржај метала у катализаторима, *XRD* спектри катализатора, као и резултати инхибиторног ефекта катализатора за хидродесулфуризацију на конзорцијум микроорганизама.

У другом делу су дати резултати основних микробиолошких, хемијских и физичкохемијских анализа, као и резултати одређивања кобалта и молибдена.

ЗАКЉУЧАК садржи преглед најважнијих резултата добијених током израде ове докторске дисертације.

У делу **ЛИТЕРАТУРА** налази се укупно 176 референци наведених по алфавитном реду.

Б. КРАТАК ОПИС ПОСТИГНУТИХ РЕЗУЛТАТА

У овој докторској дисертацији су приказани резултати добијени испитивањем биоремедијације сложених рафинеријских супстрата насталих инцидентно или намерном деструкцијом инсталација. Ова студија је спроведена на полу-пилот постројењу са већим садржајем свих компоненти него што се може наћи у инцидентним ситуацијама у рафинеријским постројењима. Истражен је потенцијал за биоремедијацију тешких метала пореклом из катализатора за хидродесулфуризацију. Ови катализатори су у облику куглица величине од 5 до 10 милиметара и хетерогено су распоређени у отпаду. У стварним условима, може се генерисати велика количина таквог отпада, која садржи различите супстанце, укључујући ове катализаторе.

Као супстрат, направљена је вештачка смеша загађивача од тешке фракције нафте, отпадног катализатора за хидродесулфуризацију нафте на бази кобалта и молибдена као извора токсичних метала, пиљевине и неопраног речног песка. Свака компонента је анализирана засебно, а затим су све компоненте помешане коришћењем индустријске мешалице. Након мешања, анализа је поново обављена. Због велике количине узорка, куглице катализатора за хидродесулфуризацију нису могле бити претворене у прах и остале су у свом оригиналном облику. Приликом одређивања маса свих компоненти, водило се рачуна да главни загађивачи буду изнад вредности за ремедијацију дефинисаних српским законима. Дакле, произведени вештачки супстрат спадао је у категорију опасног отпада.

Обзиром да је овако припремљен модел супстрат садржавао велику количину тешких метала било је неопходно прво одредити инхибиторни ефекат тешких метала на раст конзорцијума микроорганизама који учествује у биоремедијацији. Код свих испитиваних концентрација метала посматран је раст микроорганизама. Показало се да за микробиолошки конзорцијум, није примећен токсичан ефекат молибдена или кобалта при било којој испитиваној концентрацији метала, што је указивало да би конзорцијум могао бити ефикасан за биоремедијацију нафтних загађивача.

Студија је спроведена у поливинилхлоридним (ПВЦ) контејнерима са перфорираним дном. Контејнери су били заштићени од директне сунчеве светлости и атмосферских падавина тиме што су држани у затвореној хали. Студија је изведена коришћењем две варијанте супстрата: супстрат у који су додате хранљиве супстанце за биостимулацију (биоаугментација), као и биомаса зимогеног конзорцијума микроорганизама (биостимулација), а други, контролни супстрат је био без додавања хранљивих супстанци или биостимулације.

У овој студији, метали су одређивани на више начина: одређивање укупног садржаја метала, секвенцијалном екстракцијом метала ради одређивања дистрибуције и специјације метала унутар различитих геохемијских фракција узорка, процена биолошке доступности метала у узорцима је одређивана методом по *Mehlich*-у, а методом лужења је процењен потенцијал испирања метала из узорка.

Микробиолошком анализом је утврђено присуство следећих култура микроорганизама: *Rhodococcus* sp., *Achromobacter* sp., *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp., *Sphingomonas* sp. и *Stenotrophomonas* sp.

Мали број микроорганизама је указивао на ниску микробиолошку активност. У тест узорку, број микроорганизама који разлажу угљоводонике се током биоремедијације повећао

Садржај укупних угљоводоника нафте, супстанци растворних у хексану и укупних органских супстанци био је нижи у оба узорка на крају студије, али су ове разлике биле веће у биоаугметираном супстрату, што указује да је биоремедијација била ефикаснија у тест супстрату него у контроли. Смањење садржаја супстанци растворних у хексану, а које су показатељ укупног садржаја нафте и деривата, било је више од 5%, док је смањење садржаја укупних угљоводоника нафте било близу 22% током биоремедијације, за разлику од контролних узорака где су ове вредности биле око 2 и 2,5%.

На почетку истраживања, секвенцијална анализа је показала да су већина кобалта и молибдена била је у измењивим фракцијама, док је нешто мањи део кобалта био везан за карбонате. Најмање количине кобалта биле су везане за органску супстанцу, док је најмање молибдена било везано за Fe-Mn оксиде. Након 6 месеци биоремедијације, најзаступљеније форме кобалта и молибдена биле су резидуалне, док су најмање количине ових метала биле везане за Fe-Mn оксиде.

Приказани резултати, везани за биоремедијацију земљишта загађеног тешким металима, су наставак истраживања којима се кандидаткиња бавила током израде свог завршног и мастер рада на Хемијском факултету.

В. УПОРЕДНА АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА КАНДИДАТА СА РЕЗУЛТАТИМА ИЗ ЛИТЕРАТУРЕ

Чак и у малим количинама, тешки метали могу бити разлог за забринутост због свог штетног утицаја на екосистем. Због тога што се не разграђују у природи, акумулирају се у органима и ткивима живих организама, а кроз ланац исхране се додатно концентришу, што ствара озбиљну опасност по живи свет. Иако у веома ниским концентрацијама, као микронутријенти, тешки метали могу имати корисну улогу, загађена животна средина садржи и метале у траговима који могу бити веома токсични, како за људе, тако и за целокупну природу, узрокујући здравствене проблеме и смртност. (Abou- Alkasem et al., 2023)

Један од највећих извора загађења животне средине тешким металима су рафинерије нафте, што потврђује податак да петрохемијска индустрија годишње производи око 800.000 тона чврстог отпада, од којег значајан део чине коришћени катализатори. (Jednak Berić et al., 2024)

Тешки метали улазе у организам директним путем, као што је конзумирање загађене воде или удисање контаминиране прашине, или индиректно, преко исхране поврћем узгојеним на загађеном земљишту. Када доспеју у организам, они изазивају штетне ефекте, а први знаци тровања могу укључивати повраћање, дијареју, мучнину, бол у стомаку, главобољу и метални укус у устима. (Özkara and Akyıl, 2018)

Контаминација земљишта тешким металима узрокује промене у микробној

популацији, јер ћелије микроорганизама доспевају под стрес изазван присуством метала. У таквим условима потребно је више енергије за њихов опстанак, што доводи до смањења концентрације угљеника у земљишту. (Verma and Kuila, 2019) Биоремедијација која се ослања на микробну популацију сматра се економски изводљивом методом, пружајући обећавајуће резултате у уклањању органских загађивача, попут нафтних угљоводоника, као и тешких метала и њихових јона из загађене околине. (Zango et al., 2020) Биолошки третман токсичних хемикалија, уз пажљиво праћење и управљање микробиолошким процесима, започет у контролисаним лабораторијским условима, уз разумевање токсичних ефеката тешких метала на микробну популацију (бактерије и гљиве), омогућава ефикасну примену *in situ* биоремедијације. (Zango et al., 2020) Тешки метали улазе у микробне организме путем мембранских транспортних механизма, где се преводе у мање токсичне форме. Микроорганизми примењују процесе биосорпције, биотрансформације и биолужења како би преживели у срединама са повишеним концентрацијама метала. (Pande et al., 2022)

У овој докторској дисертацији, као извор тешких метала коришћени су отпадни катализатори из процеса хидродесулфуризације нафте. Сва три катализатора су претходно класификована као нередицибилан опасан отпад. Међутим, резултати добијени у истраживању указују да би се ови катализатори могли успешно рециклирати применом хидрометалуршког поступка, конкретно екстракцијом помоћу кључале воде. (Sun et al., 2022)

У другој серији експеримената испитиване су могућности биоремедијације сложених рафинеријских супстрата који су садржали тешке метале кобалт и молибден. Микробиолошка анализа је открила присуство микроорганизама који учествују у процесима биоремедијације, што указује на њихов потенцијал за разлагање и уклањање ових метала из контаминираног супстрата. (Lukić et al., 2024) Иако резултати показују ниску микробиолошку активност, приметан је пораст броја микроорганизама који разграђују угљоводонике у тестираном узорку.

Основне физичко-хемијске и хемијске анализе указују на то да током биоремедијације долази до смањења садржаја органских супстанци, у хексану растворних супстанци (*HES*) и укупних угљоводоника нафте (*TPH*), док се садржај хуминских киселина повећава. Хуминске киселине су органски молекули који су од суштинског значаја за побољшање својстава земљишта, подстицање раста биљака и повећање

агрономске продуктивности. Поред тога, оне служе као одличан индикатор успеха процеса биоремедијације. (Ampong et al., 2022)

Секвенцијална анализа метала показује да током биоремедијације долази до смањења изменљиве (*exchangeable*) фракције, фракције у којој се метали везују за карбонате и за *Fe–Mn* оксиде, осим у случају молибдена. У исто време, резидуална фракција се углавном повећава. Кобалт и молибден присутни у изменљивој фракцији су најлакше доступни и најмобилнији. (Giacalone et al., 2005)

Кобалт и молибден присутни у фракцији везаној за карбонате, у оквиру секвенцијалне анализе, су они метали који су везани за минералне карбонате или формирају комплексне спојеве са карбонатима у тлу или седиментима. (Giacalone et al., 2005)

Кобалт и молибден присутни у резидуалној фракцији у секвенцијалној анализи су најмање мобилни и тешко се екстрахују из земљишта или седимената. Ови метали су обично чврсто везани за минералну матрицу или постоје у облику стабилних минералних једињења. Њихово ослобађање могуће је само под екстремним хемијским условима, као што су јаки кисели раствори или термичка обрада. Због своје стабилности у резидуалној фракцији, ови метали су генерално мање доступни биолошким организмима, што подразумева мањи потенцијал за токсичност под нормалним условима. (Giacalone et al., 2005; Tessier et al., 1979)

Литература:

- Abo-Alkasem, M.I., Hassan, N.H., Abo Elsoud, M.M., 2023. Microbial bioremediation as a tool for the removal of heavy metals. *Bull. Natl. Res. Cent.* 47, 31. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01006-z>
- Ampong, K., Thilakarathna, M.S., Gorim, L.Y., 2022. Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. *Front. Agron.* 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Giacalone, A., Gianguzza, A., Orecchio, S., Piazzese, D., Dongarrà, G., Sciarrino, S., Varrica, D., 2005. Metals distribution in the organic and inorganic fractions of soil: a case study on soils from Sicily. *Chem. Speciat. Bioavailab.* 17, 83–93.

<https://doi.org/10.3184/095422905782774892>

- Jednak Berić, T., Vrvić, M.M., Lješević, M., Avdalović, J., Ilić, M., Crnković, D., Jovančićević, B., Miletić, S., 2024. Testing of the bioremediation on model substrates for complex refinery contaminants arising from accidental or deliberate facility damage. *Environ. Chem.* 21. <https://doi.org/10.1071/EN23111>
- Lukić, M., Avdalović, J., Gojgić-Cvijović, G., Žerađanin, A., Mrazovac Kurilić, S., Ilić, M., Miletić, S., Vrvić, M.M., Beškoski, V., 2024. Industrial-scale bioremediation of a hydrocarbon-contaminated aquifer's sediment at the location of a heating plant, Belgrade, Serbia. *Clean Technol. Environ. Policy* 26, 1785–1798. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02724-8>
- Özkara, A., Akyıl, D., 2018. Environmental Pollution and Pollutants on the Ecosystem: A Review. *Turkish J. Sci. Rev.* 11, 11–17.
- Pande, V., Pandey, S.C., Sati, D., Bhatt, P., Samant, M., 2022. Microbial Interventions in Bioremediation of Heavy Metal Contaminants in Agroecosystem. *Front. Microbiol.* 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.824084>
- Sun, R., Gao, Y., Yang, Y., 2022. Leaching of heavy metals from lead-zinc mine tailings and the subsequent migration and transformation characteristics in paddy soil. *Chemosphere* 291, 132792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132792>
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, 844–851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>
- Verma, S., Kuila, A., 2019. Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Environ. Technol. Innov.* 14, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100369>
- Zango, U.U., Yadav, M., Sharma, V., Sharma, J.K., Panwar, S., Dan, S., Sharma, A.K., 2020. Microbial Bioremediation of Heavy Metals: Emerging Trends and Recent Advances. *Res. J. Biotechnol.* 15, 164–178.

Г. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РАДОВИ КОЈИ ЧИНЕ ДЕО ДИСЕРТАЦИЈЕ

Тања Једнак Берић је до сада презентовала резултате свог научно-истраживачког рада у 4 рада са SCI листе од којих два чине део дисертације. Радови се налазе у следећим категоријама: рад у врхунском међународном часопису (категорија M21), два рада у истакнутом међународном часопису (категорија M22) и један рад у међународном часопису (категорија M23). Кандидаткиња је резултате проистекле из тезе презентовала и у виду 5 саопштења на скуповима од међународног и националног значаја.

Радови у часописима међународног значаја који чине дисертацију:

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **T. Jednak Berić**, M.M. Vrvic, M. Lješević, J. Avdalović, M. Ilić, D. Crnković, B. Jovančičević, S. Miletić; Testing of the bioremediation on model substrates for complex refinery contaminants arising from accidental or deliberate facility damage. Environmental Chemistry 21 (2024). <https://doi.org/10.1071/EN23111>
2. **T. Jednak Berić**, J. Avdalović, J. Milić, V. Teofilović, M.M. Vrvic, B. Jovančičević, S. Miletić; The influence on microorganisms of heavy metals from refiner's spent desulphurisation catalysts. Chemistry and Ecology 39 (2023) 202–213. <https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2158185>

Остали научни радови:

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

1. **T. Jednak**, J. Avdalović, S. Miletić, L. Slavković-Beškoski, D. Stanković, J. Milić, M. Ilić, V. Beškoski, G. Gojgić-Cvijović, M.M. Vrvic; Transformation and synthesis of humic substances during bioremediation of petroleum hydrocarbons. International Biodeterioration & Biodegradation 122 (2017) 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.04.009>

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

1. J. Milic, J. Avdalovic, T. Solevic-Knudsen, G. Gojgic-Cvijovic, **T. Jednak**, M. Vrvic; Initial microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly 22 (2016) 293–299. <https://doi.org/10.2298/CICEQ150606043M>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. S. Miletić, **T. Jednak**, J. Avdalović, V. Beškoski, M. Ilić, G. Gojgić-Cvijović, M.M.M. Vrvic; Bioremediation of complex pollutants from the oil industry containing cobalt and molybdenum catalysts. Solid State Phenomena 262 SSP (2017) 622–625. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.262.622>

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. **T. Jednak Berić**, M. Ilić, J. Avdalović, J. Milić, B. Jovančičević, M.M. Vrvic, S. Miletić; Microbiological degradation and transformation of complex refinery waste caused by violent destruction of installations, in: Electron. Abstr. B. FEMS Conf. Microbiol., Serbian Society of Microbiology, Belgrade, Serbia, 2022: pp. 734–735. <https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/5328>
2. **T. Jednak**, M.M. Vrvic, S. Miletić, J. Avdalović, M. Ilić, J. Milić, V. Beškoski; Investigation of Inhibitory Effect of Molybdenum and Cobalt in the Isolated Microorganism Consortia Which is Used in Bioremediation, in: Electron. Abstr. B. FEMS Online Conf. Microbiol., Serbian Society of Microbiology, 2020: p. 456. <https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/4962>
3. **T. Jednak**, J. Avdalović, S. Miletić, V. Beškoski, M. Ilić, G. Gojgić-Cvijović, M.M. Vrvic; Green chemistry and bioremediation: Investigation of metal influence from catalysts on microorganism consortia which is used in bioremediation, in: Program. B. Abstr. 1st EuCheMS Congr. Green Sustain. Chem., Hungarian Chemical Society, Budapest, Hungary, 2013: p. 91.

<https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/5341>

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (М64)

1. K. Joksimović, A. Žerađanin, M. Ilić, J. Avdalović, S. Miletić, **T. Jednak**, V. Beškoski; Primena sveobuhvatne dvodimenzionalne gasne hromatografije sa masenom spektrometrijom (GCxGC-MS) za rešavanje nerazložne složene smeše (Unresolved Complex Mixture-UCM) naftnih ugljovodonika u procesima bioremedijacije, in: Kn. Izvoda - 8. Simp. Hem. i Zaštita Životne Sred., Srpsko hemijsko društvo, Kruševac, Serbia, 2018: pp. 129–130. <https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/3560>.
2. Žerađanin, M. Lukić, M. Ilić, J. Avdalović, J. Milić, **T. Jednak**, V. Beškoski; Ispitivanje naftnih zagađujućih supstanci u uzorcima sedimenta na lokalitetu Toplane Novi Beograd, in: 8. Simp. Hem. i Zaštita Životne Sred. Sa Međunarodnim Učešćem Envirochem 2018, Srpsko hemijsko društvo, Kruševac, Serbia, 2018: pp. 135–136. <https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/3563>
3. J. Avdalović, L. Slavković-Beškoski, S. Miletić, **T. Jednak**, M. Ilić, G. Gojgić-Cvijović, V. Beškoski; Ispitivanje humifikacionih transformacija tokom bioremedijacije ugljovodonika na pilot postrojenju, in: Kn. Izvoda - 6. Simp. Hem. i Zaštita Životne Sred. (EnviroChem 2013), Srpsko hemijsko društvo, Vršac, Srbija, 2013: pp. 364–365. <https://cer.ihtm.bg.ac.rs/handle/123456789/5045>

Д. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Оригиналност докторске дисертације под називом „**Биоремедијација сложених рафинеријских супстрата насталих инцидентно или намерном деструкцијом инсталација: испитивања на модел супстрату**”, аутора **Тање Једнак Берић**, проверена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду,

бр. 204/22.06.2018). Помоћу програма “iThenticate” утврђено је да количина подударача текста износи 2%. Приказани степен подударности је последица цитата, личних имена, афилијација, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и навођења података о карактеризацији једињења и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, Комисија сматра да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. ЗАКЉУЧАК

На основу приказаних резултата, Комисија је закључила да је у поднетој докторској дисертацији под називом „ **Биоремедијација сложених рафинеријских супстрата насталих инцидентно или намерном деструкцијом инсталација: испитивања на модел супстрату**”, кандидаткиња, Тања Једнак Берић, мастер биохемичар, успешно одговорила на задате циљеве. У оквиру ове докторске тезе испитивана је могућност микробне биодеградације сложених супстрата који у себи осим загађивача органског порекла садрже и тешке метале. У првом делу експеримента било је неопходно испитати да ли сами катализатори показују инхибиторни (или чак токсични) ефекат на раст конзорцијума микроорганизама. Резултати истраживања описаног у овој тези недвосмислено показују да метали идентификовани у тестираним катализаторима, молибден и кобалт, нису штетни за конзорцијум микроорганизама. У другом делу тезе, где су испитиване могућности за биоремедијацијом тешких метала у сложеним рафинеријским супстратима, количина органских супстанци била је виша у супстрату пре биоремедијације. Нивои супстанци растворних у хексану и укупни угљоводоници нафте су опали у биоаугментираном супстрату након биоремедијације, што је резултат нивоа микробиолошке активности. Ова активност је довела до формирања хуминских киселина, чије су количине пропорционално порасле након биоремедијације. Секвенцијална екстракција кобалта и молибдена показала је да су се различите фракције ових метала промениле у биоаугментираном супстрату након биоремедијације у поређењу са

почетним супстратом. Ове промене у металима су вероватно зависиле од микробиолошке активности, а током процеса биоремедијације створене су стабилније фракције метала. Из свега наведеног може се закључити да током биоремедијације земљишта контаминираног тешким металима могу настати стабилне фракције ових метала, које су теже доступне биолошким организмима за асимилацију.

На основу свега наведеног, а у складу са Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду – Хемијског факултета, Комисија сматра да су испуњени сви услови за одбрану докторске дисертације и са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да поднету докторску дисертацију Тање Једнак Берић, под насловом „ **Биоремедијација сложених рафинеријских супстрата насталих инцидентно или намерном деструкцијом инсталација: испитивања на модел супстрату**”, прихвати и одобри њену одбрану за стицање академског звања доктора биохемијских наука.

У Београду, 30. 09. 2024. године

Чланови комисије:

др **Бранимир Јованчићевић**, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет

др **Срђан Милетић**, виши научни сарадник, ментор
Универзитет у Београду - Институт за хемију,
технологију и металургију - Институт од националног
значаја за Републику Србију

др **Горан Роглић**, редовни професор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет