

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ - ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Марине Б. Раденковић, мастер хемичара

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржаној 12.12.2024. године, одређени смо у Комисију за оцену докторске дисертације кандидаткиње Марине Б. Раденковић, мастер хемичара, под називом:

„Уклањање загађујућих супстанци из водених раствора применом биомасе и угљеничног материјала агроиндустријског отпада сунцокрета“

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној дана 24.03.2022. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (евиденциони број 61206-929/2-22).

Комисија је докторску дисертацију прегледала и подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Марине Раденковић написана је на 119 страна А4 формата (фонт *Times New Roman*; величина 12 pt, проред 1, маргине 2 cm) и садржи 82 слике и 13 табела. Рад обухвата следећа поглавља: *Увод* (3 стране), *Теоријски део* (34 стране) *Експериментални део* (13 страна), *Резултати и дискусија* (55 стране), *Закључци* (3 стране) и *Литература* (11 страна). Поред наведеног дисертација садржи *Захвалницу*, *Сажетак* на српском и енглеском језику, *Садржај*, *Биографију* кандидата, *Листу радова* проистеклих из дисертације, *Изјаву о ауторству*, *Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада* и *Изјаву о коришћењу*. Дисертација је по својој структури и садржају у потпуности у складу са стандардима прописаним од стране Универзитета у Београду.

Увод садржи предмет и основне циљеве истраживања ове докторске дисертације, истакнут је значај развијања еколошки прихватљивих материјала за адсорпцију загађујућих супстанци из воде.

Теоријски део је подељен на 7 целина. Целина „Загађење вода“ даје основна објашњења која се тичу опасности од загађења тешким металима и органским загађивачима који су предмет истраживања. Друга целина, „Адсорпција, процес адсорпције у третману вода: Адсорбенти: биомаса и угљенични материјали“ описује основе феномена адсорпције, адсорпционе равнотеже и кинетике, као и методе добијања угљеничних материјала. У целини „Методе карактеризације адсорбената“ описане су теоријске основе коришћених метода карактеризације. Целина „Експериментални дизајн“ представља осврт на методе статистичке оптимизације адсорпционог процеса. „Оптичко-емисиона спектрометрија“, „Електрохемијски сензори и волтаметријске методе детекције“ је целина која садржи теоријске основе коришћених метода за детекцију адсорбата. Додатно у овом делу, кандидат је дао и „Преглед литературе“ који се тиче предмета истраживања ове дисертације.

У **Експерименталном делу** описани су поступци припреме адсорбената сунцокретевог љуске и активираних угљеничних материјала, као и експерименти везани за оптимизацију процесних параметара, кинетичких и равнотежних испитивања. Описани су и услови снимања већ поменутих метода карактеризације које дају корисне информације о морфологији, структури, присуству функционалних група и порозности материјала, као и метода детекције адсорбата. Наведени су и услови при којима су извођени експерименти примене добијених материјала за реалне узорке отпадних вода.

У поглављу **Резултати и дискусија**, приказани су резултати остварени током израде ове докторске дисертације и ово поглавље подељено је на три целине. У првом делу разматрани су резултати биосорпције тешких метала из водених раствора коришћењем сунцокретевог љуске. Морфолошке и структурне особине површине сунцокретевог љуске описане су помоћу SEM-EDS и FTIR спектроскопије. Процес адсорпције анализираних тешких метала испитан је у шаржном систему, а процесни параметри који су мењани су време контакта, рН вредност раствора, почетна концентрација. Затим су добијени подаци моделовани кинетичким и равнотежним моделима адсорпције. На крају овог дела поглавља, биосорбент је тестиран за уклањање никла из реалног узорка отпадне воде и спајкованог узорка техничке воде, а вредности ефикасности уклањања добијене су спектроскопским методама, стандардном ICP-OES и алтернативном LIBS методом. Друга целина односи се на синтезу, карактеризацију, статистичку оптимизацију и примену активираних угљеничних материјала добијеног из агроиндустријског отпада сунцокрета за уклањање олова и бакра из водених раствора. Одређивање морфологије, порозности и присуства функционалних група испитано је методама SEM-EDS, BET, FTIR и XPS. Статистичка оптимизација спроведена је уз помоћ BBD (Бокс-Бенкеновог дизајна) и методологијом одзивне површине за процесне параметре као што су рН вредност, почетна концентрација, доза адсорбента и време контакта. Након оптимизације, произведени активирани угљенични материјал коришћен је за уклањање бакра из реалног узорка процедурне отпадне воде језера Робуле, а спроведени су и експерименти десорпције у једном циклусу. Трећа целина тиче се развоја електрохемијског сензора за детекцију метала након адсорпције активираним угљеничним материјалом 1:2. На самом почетку приказани су резултати одређивања морфологије и површинске функционалности

активираног угљеничног материјала, одређивање оптичких особина наночестица злата и одређивања површинске морфологије и елементног састава модификоване и немодификоване електроде. Затим су утврђена електрохемијска својства модификоване штампане угљеничне електроде цикличном волтаметријом и електрохемијском импедансном спектроскопијом, снимљени су и волтамограми при различитим брзинама скенирања. Услови адсорпције за рН вредности и време контакта оптимизовани су UV-Vis спектроскопијом а након адсорпције при оптималним условима, метал је квантификован диференцијалном пулсном волтаметријом.

У поглављу **Закључци** сумирани су и прокоментарисани резултати добијени у оквиру докторске дисертације.

Наведена **Литература** (158 цитата) обухвата радове, књиге и дисертације из области истраживања ове докторске дисертације.

Б. Кратак опис истраживања

Ова докторска дисертација приказује резултате истраживања који се односе на биосорпцију тешких метала коришћењем сунцокретевог љуске, олова и бакра применом хемијски активираног угљеничног материјала синтетисаног од агроиндустријског отпада сунцокрета у различитим масеним односима, као и на адсорпцију метала као органске загађујуће супстанце. Сунцокретава љуска третирана хлороводоничном киселином карактерисана је применом SEM-EDS микроскопије и FTIR спектроскопије како би се утврдила морфологија и структура површине адсорбента као и учешће појединих функционалних група у процесу адсорпције испитиваних метала. Утицај радних параметара адсорпције као што су рН вредност, почетна концентрација раствора и време контакта испитани су у шаржном систему. Оптимални услови адсорпције постигнути су након 15 минута контакта, на рН вредности од 6 или 7 у зависности од испитиваног метала. Добијена ефикасност уклањања анализираних тешких метала била је у опсегу од 80,0-98,7%. Резултати равнотежних експеримената боље се уклапају са Лангмировим изотермним моделом за све испитиване метале, осим за олово. Максимални капацитети адсорпције за Cu, Pb, Ni, Cd износе 4,17, 9,91, 2,43, 5,33 mg/g. Додатно, кинетичке студије указале су да се добијени резултати боље описују моделом псеудо-другог реда. Ефикасност уклањања никла из узорак отпадних вода одређена је уз помоћ ICP-OES и LIBS методе. Добијене вредности уклањања никла из реалних узорак LIBS методом износе 3100 ± 200 mg/kg и 1240 ± 100 mg/kg, док су вредности добијене референтном ICP-OES методом 2995 ± 20 mg/kg и 1130 ± 10 mg/kg. Разлика у добијеним вредностима коришћењем ове две методе је у границама несигурности мерења LIBS методе, што је чини ефикасном зеленом алтернативом за одређивање ефикасности уклањања метала. Такође, испитивана је и ефикасност адсорпције олова и бакра који су неретко присутни у отпадним водама рударске индустрије коришћењем активираног угљеничног материјала добијеног хемијском активацијом са КОН у масеном односу 1:3 од агроиндустријског отпада сунцокрета. Карактеристике коришћеног адсорбента као што су морфологија, елементарни састав,

текстурална својства и функционалност површине одређени су коришћењем SEM-EDS, BET, FTIR и XPS методе. Радни параметри као што су рН, време контакта, доза адсорбента, и почетна концентрација оптимизовани су коришћењем Бокс-Бенкеновог дизајна и методологије одзивне површине. Максимална ефикасност уклањања добијена је при рН 5 за време контакта од 180 минута и при почетној концентрацији од 50 mg/L за олово и 150 mg/L за бакар. Оптимална доза адсорбента се разликовала у зависности од елемента, за бакар је износила 200 mg, док је за олово 124 mg. Добијене равнотежне вредности анализирани су Лангмировим, Фројдлиховим и Дубинин-Радушкевичевим адсорпционим моделом. Добијени резултати адсорпције олова боље су описани Фројдлиховим моделом у односу на све друге примењене изотермне моделе. Максимални капацитети адсорпције за олово и бакар износили су 91,8 mg/g и 20,5 mg/g, редом. Резултати кинетичких студија указују да процес адсорпције олова прати кинетика псеудо-првог реда, док су за адсорпцију бакра сви примењени кинетички модели дали исту вредност коефицијента корелације ($R^2=0,99$). На основу свеобухватних претходних истраживања предвиђен је и механизам адсорпције бакра и олова на активираним угљеничним материјалу. На крају испитана је и ефикасност уклањања бакра из реалног узорка процедурне отпадне воде језера Робуле, а добијена ефикасност уклањања износила је $98,6 \pm 2,0\%$. Резултати десорпционих експеримената, указују да адсорбент има добар потенцијал за поновну употребу адсорпције бакра из узорка отпадних вода. Активирани угљенични материјал добијен хемијском активацијом са КОН у масеном односу 1:2 коришћен је за уклањање метола из водених раствора. Структура адсорбента окарактерисана је применом SEM-EDS и FTIR спектроскопије. За детекцију метола коришћена је модификована штампана угљенична електрода наночестицама злата. Модификована електрода показала је побољшану електрохемијску активност што је утврђено поређењем са немодификованом електродом помоћу цикличне волтаметрије и електрохемијском импедансном спектроскопијом. Затим је ова електрода коришћена за оптимизацију услова датекције метола, а добијена оптимална вредност за тестирани опсег рН вредности је рН 6. За оптимизацију услова адсорпције коришћена је UV-Vis спектроскопија, а добијене вредности за рН и време контакта су рН 8 и 120 минута, редом. Електрохемијска детекција метола извршена је диференцијалном пулсном волтаметријом, а електрохемијски сензор показао је широк опсег линеарности за вредности концентрација од 0,73-49,35 μM , док су добијене LOD и LOQ вредности износиле 0,06 μM и 0,2 μM , редом. Ефикасност уклањања метола након времена контакта од 1 минут износила је 82,9%, док након 180 минута 100%.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Адсорпција је једна од најефикаснијих и еколошки прихватљивијих метода за уклањање загађујућих супстанци из водених раствора те стога предмет је многих истраживања са циљем даљег развоја угљеничних материјала побољшаних карактеристика. Такође, истраживања везана за примену биосорбената на бази пољопривредног отпада као јефтине алтернативе указала су на обећавајућу ефикасност

уклањања загађујућих супстанци. Имајући у виду да годишња производња семена сунцокрета у нашој земљи износи 650.000-720.000 t, а скоро половина од ове масе представља отпад, агроиндустријски отпад сунцокрета представља идеални прекурсор за развој нових материјала за адсорпцију. Истраживачи из Србије (Станковић и сарадници) користили су сунцокретову љуску за уклањање бакра из синтетичких раствора и проценили да је 34,9 mg/g. Ова вредност је и нешто виша у односу на вредности које пријављују други аутори укључујући и ову дисертацију [1]. LIBS је аналитичка техника која омогућава мултиелементарну *in situ* анализу са задовољавајућим границама детекције и може се користити за праћење стања у животној средини. Према нашем сазнању само једна студија користила је LIBS систем опремљен Nd:YAG ласером за квантификацију адсорпције. Као адсорбент коришћене су самлевене рибље кости за уклањање бакра и кобалта из водених раствора. Добијени резултати су поређени са резултатима добијеним рендгенском флуоресцентном анализом XRF (енг. *X-ray fluorescence*) [2]. Процена ефикасности биосорпије применом спектроскопије плазме индуковане ТЕА CO₂ ласером, није до сада забележена у литератури и представља оригиналан научни допринос.

Иако се очекује да ови „зелени адсорбенти” буду инфериорнији у погледу адсорпционог капацитета у односу на конвекционалне адсорбенте попут активног угљеничног материјала, модификованог хитозана и сложених неорганских композитних материјала, однос потенцијала и трошкова њихове примене чини их конкурентним материјалима у поступку пречишћавања отпадних вода [3]. Активирани угљенични материјали су најчешће коришћени адсорбенти у постројењима за пречишћавање отпадних вода због сложености хемијске структуре површине, микропорозности и велике специфичне површине. Ови адсорбенти поседују низ разноликих функционалних група на површини, међу којима су фенолне, карбонилне, карбоксилне, хидроксилне, хинонске. Доказано је такође да перформансе активираних угљеничних материјала зависе од присуства функционалних група на површини као и расподеле величине пора, стога је одређивање њихових структурних својства од велике важности [4]. У литератури постоји неколико студија, које се баве синтезом биоугља сунцокретовог отпада и испитују његове адсорпционе способности за уклањање тешких метала. Салех и сарадници поредили су биоугаљ произведен од сунцокретове љуске (пиролизом на 450 °C при ограниченом присуству кисеоника) са биосорбентом сировог материјала и комерцијално доступних активираних угљеничних материјала за уклањање бакра из водених раствора [5]. Произведени биоугаљ је показао највећу ефикасност уклањања. Још једна научна студија бави се применом биоугља добијеног од стабљике сунцокрета (кабронизација на 600 °C у дужини трајања од 30 минута) за уклањање цинка и мангана из контаминираних вода индустрије алкалних батерија. Добијене су високе вредности максималног адсорпционог капацитета за цинк 138 mg/g и за манган 45,4 mg/g [6]. Мали број истраживања извештава о примени активираних угљеничних материјала добијеног од агроиндустријског отпада сунцокрета за уклањање тешких метала из отпадних вода. Једна од студија бави се синтезом активираних угљеничних материјала из сунцокретове љуске активацијом са H₃PO₄ на 600, 700 и 800 °C. Активирани угљенични материјал који је синтетизован на 800 °C у

временском интервалу od 2h показао се као најефикаснији адсорбент за уклањање бабра, са максималним адсорпционим капацитетом од 61,3 mg/g [7]. Поред тога што су резултати ове докторске дисертације упоредиви са резултатима у доступној литератури, активирани угљенични материјал тестиран је на реалном узорку процедурне отпадне воде језера Робуле где је постигнута ефикасност уклањања бабра од 98% и ефикасност регенерације од 83% са 0,1 M HNO₃ као ефлуентом.

Са друге стране велики број студија бави се волтаметријском детекцијом метола, од којих мноштво користи модификоване штампане угљеничне електроде. Једна од њих користи штампане угљеничне електроде модификоване одређеним нано и микросферним материјалима комбинованим са графеносидним нанолистима за ултраосетљиву детекцију метола [8]. Такође, наночестице злата су често коришћени наноматеријали за модификацију електрода, а једна од студија која се бави волтаметријском детекцијом метола користила је угљеничну молекуларну жицу модификовану наночестицама злата [9]. У оквиру истраживања ове докторске дисертације наночестице злата које су коришћене за развој електрохемијског сензора добијене су методом пулсне ласерске аблације у течности која представља методу за добијање хемијски чистих наночестица [10]. У складу са доступним истраживањима и претраженој литератури уклањање метола из водених раствора углавном је вршено процесима фотокаталитичке деградације док процес адсорпције метола угљеничним материјалима и накнадна електрохемијска детекција до сада нису били предмет испитивања ниједне научне публикације.

1. Srđan Stanković, Tatjana Šoštarić, Mladen Bugarčić, Aleksandra Janićijević, Katarina Pantović-Spajić, Zorica Lopičić (2019). Adsorption of Cu(II) ions from synthetic solution by sunflower seed husks. *Acta Periodica Technologica.*, 50, 268–277. doi: 10.2298/APT1950268S
2. Reham Rezk, Ahmed Galmed, Maha Abdelkreem, Nabil Abdel Ghany, Mohamed Abdel-Harith (2018). Detachment of Cu (II) and Co (II) ions from synthetic wastewater via adsorption on Lates niloticus fish bones using LIBS and XRF. *Journal of Advanced Research*, 14, 1-9. doi: 10.1016/j.jare.2018.05.002
3. George Kyzas, Margaritis Kostoglou (2014). Green Adsorbents for Wastewaters: A Critical Review. *Materials*, 7(1), 333-364. doi: 10.3390/ma7010333.
4. Wai Siong Chai, Jie Ying Cheun, P. Senthil Kumar, Muhammad Mubashir, Zahid Majeed, Fawzi Banat, Shih-Hsin Ho, Pau Loke Show (2021). A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126589. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126589.
5. Maher Saleh, Ahmed El-Refaey, Amal Mahmoud (2016). Effectiveness of Sunflower Seed Husk Biochar for Removing Copper Ions from Wastewater: a Comparative Study. *Soil & Water Research*, 11, 53–63. doi: 10.17221/274/2014-SWR.
6. Halyna Yankovych, Viktoriia Novoseltseva, Olena Kovalenko, Dominika Marcin Behunova, Maria Kanuchova, Miroslava Vaclavikova, Inna Melnyk (2021). New perception of Zn(II) and Mn(II) removal mechanism on sustainable sunflower biochar

- from alkaline batteries contaminated water. *Journal of Environmental Management*, 292, 112757. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112757.
7. Prapin Tupkanjana, Chantaraporn Phalakornkule (2007). Development of Activated Carbons from Sunflower Seed Husk for Metal Adsorption. *Journal of chemical engineering of Japan*, 40(3), 222-227. doi: 10.1252/jcej.40.222. doi: 10.1016/j.jiec.2021.11.005.
 8. Krishnan Venkatesh, Balamurugan Muthukutty, Shen-Ming Chen, Periyakaruppan Karuppasamy, Ahmed S. Haidyrah, Chelladurai Karuppiah, Chun-Chen Yang, Sayee Kannan Ramaraj (2022). Spinel CoMn₂O₄ nano-/micro-spheres embedded RGO nanosheets modified disposable electrode for the highly sensitive electrochemical detection of metal. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 106, 287-296. doi: 10.1016/j.jiec.2021.11.005.
 9. Xueliang Niu, Lijun Yan, Zuorui Wen, Xiaobao Li, Yanyan Niu, Yaping Lu, Wei Sun (2016). Voltammetric Determination of Metal on a Gold Nanoparticle Modified Carbon Molecular Wire Electrode. *Analytical Letters*, 50(2), 325–335. doi: 10.1080/00032719.2016.1177536.
 10. Miloš Ognjanović, Katarina Nikolić, Marina Radenković, Aleksandar Lolić, Dalibor Stanković, Sanja Živković (2022). Picosecond laser-assisted synthesis of silver nanoparticles with high practical application as electroanalytical sensor. *Surfaces and Interfaces*, 35, 102464. doi: 10.1016/j.surfin.2022.102464.

Г. Објављени радови и саопштења који чине део докторске дисертације

Као резултат ове дисертације проистекла су два научна рада, једно саопштење на међународном скупу штампано у изводу, и шест саопштења на скуповима националног значаја штампани у изводу:

Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Sabolc Pap, Ana Kalijadis, Miloš Momčilović, Nikša Krstulović, Sanja Živković (2024). Waste biomass derived highly-porous carbon material for toxic metal removal: Optimisation, mechanisms and environmental implications. *Chemosphere*, 347, 140684. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140684>

Рад у међународном часопису (M23):

1. **Marina Radenković**, Miloš Momčilović, Jelena Petrović, Ana Mraković, Dubravka Relić, Aleksandar Popović, Sanja Živković (2022). Removal of heavy metals from aqueous media by sunflower husk: A comparative study of biosorption efficiency by using ICP-OES and LIBS. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 87(7-8), 939-952. <https://doi.org/10.2298/JSC220105022R>

Саопштења на међународним скуповима штампани у изводу (M34):

1. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Miloš Momčilović, Sanja Živković, Dubravka Relić, Aleksandar Popović (2021). Comparative study of removal efficiency for Ni and Cd from industrial wastewater and aqueous solution by sunflower husk using ICP-OES and LIBS. *21st European Meeting on Environmental Chemistry*, Novi Sad, Serbia, November 30 – December 3, *Book of Abstracts*, p. 100, ISBN 978-86-7132-078-8.

Саопштења на скуповима националног значаја штампани у изводу (M64):

1. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Miloš Momčilović, Sanja Živković (2021). Suncokretova ljuska kao biosorbent za uklanjanje teških metala iz vodenih rastvora. *57th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Kragujevac, Serbia, June 18-19, *Book of Abstracts and Proceedings*, p. 68, ISBN 978-86-7132-077-1
2. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Miloš Momčilović, Sanja Živković, Dubravka Relić, Aleksandar Popović (2022). Procena efikasnosti uklanjanja teških metala iz vodenih rastvora i industrijske otpadne vode korišćenjem suncokretove ljuske kao biosorbenta. *58th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Belgrade, Serbia, June 9-10, *Book of Abstracts and Proceedings*, p. 164, ISBN 978-86-7132-079-5
3. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Miloš Momčilović, Sanja Živković (2022). Characterization and application of sunflower husk for removing heavy metals from aqueous solution and wastewater. *8th Conference of Young Chemists of Serbia*, Belgrade, Serbia, October 29, *Book of Abstracts*, p.127, ISBN 978-86-7132-080-1
4. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Sabolč Pap, Ana Kalijadis, Miloš Momčilović, Sanja Živković (2023). Statistička optimizacija adsorpcije bakra iz vodenih rastvora korišćenjem aktiviranog ugljeničnog materijala agroindustrijskog otpada suncokreta. *59th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Novi Sad, Serbia, June 1-2, *Book of Abstracts and Proceedings*, p. 118, ISBN 978-86-7132-081-8
5. **Marina Radenković**, Jelena Petrović, Sabolč Pap, Sanja Živković (2023). Highly microporous sunflower-derived activated carbon for lead and copper removal: Synthesis, characterization, and adsorption mechanism. *9th Conference of Young Chemists of Serbia*, Novi Sad, Serbia, November 4, *Book of Abstracts*, p. 84, ISBN 978-86-7132-084-9
6. **Marina Radenković**, Ana Lazić, Dalibor Stanković, Dubravka Relić, Sanja Živković (2024). Development and application of electrochemical sensor for metal detection in adsorption studies. *10th Conference of Young Chemists of Serbia*, Belgrade, Serbia, October 26, *Book of Abstracts* p. 101, ISBN 978-86-7132-087-0

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност докторске дисертације Марине Б. Раденковић је проверена 3. децембра 2024. године (заводни број 90/7) 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 подударња текста износи 12%. Највећа подударност од 1%, утврђена је са докторском дисертацијом „Radovanović, M. Иmobilizација алфа-амилазе на полианилину и магнетним честицама модификованим полианилином“, и то у навођењу назива као што су „Теоријски део“, Докторска дисертација“. Преостале подударности <1% су последица цитата, личних имена и звања, библиографских података у коришћеној литератури, назива и скраћеница једињења и инструменталних техника, то јест тзв. општих места и појмова, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове докторске дисертације, што је у складу са чланом 9. овог Правилника. Стога, Комисија сматра да је докторска дисертација Марине Б. Раденковић оригинална, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак

На основу свега изложеног може се закључити да је у поднетој дисертацији под насловом „*Уклањање загађујућих супстанци из водених раствора применом биомасе и угљеничног материјала агроиндустријског отпада сунцокрета*“ кандидаткиња, мастер хемичар Марина Б. Раденковић, успешно одговорила на све постављене задатке који се тичу припреме материјала за адсорпцију контаминаната и модификацију електрода као и развој еколошки прихватљивијих метода за детекцију и квантификацију анализата.

Комисија сматра да резултати објављени у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан научни допринос у области хемије животне средине јер је у оквиру својих истраживања по први пут применила LIBS методу на бази ТЕА СО₂ ласера за процену ефикасности уклањања тешких метала из реалних узорака отпадних вода. Додатно примењен је и иновативни приступ за развој електрохемијског сензора, заснованом на наночестицама добијеним ласерском аблацијом, за процену ефикасности уклањања метала, органске загађујуће супстанце.

Резултати истраживања проистекли из ове докторске дисертације објављени су у оквиру два научна рада, од чега један рад у врхунском међународном часопису (M21) и један рад у међународном часопису (M23), као и седам саопштења штампаних у изводу, од чега један на скупу међународног значаја (M34) и шест на скуповима националног значаја (M64).

На основу свега изложеног Комисија сматра да се ова дисертација уклапа у савремене трендове хемије животне средине, те на основу свега изложеног предлаже Наставно–научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да прихвати поднету докторску дисертацију **Марине Б. Раденковић** под насловом „Уклањање загађујућих супстанци из водених раствора применом биомасе и угљеничног материјала агроиндустријског отпада сунџокрета“ и одобри њену одбрану.

У Београду, 13.12.2024.

Комисија:

Др Александар Поповић,
редовни професор
Универзитет у Београду, Хемијски факултет

Др Далибор Станковић,
доцент
Универзитет у Београду, Хемијски факултет

Др Милош Момчиловић,
научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке
„Винча“

Др Јелена Петровић,
научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке
„Винча“

Др Саболч Пап,
виши научни сарадник
Универзитет висоравни и острва у Шкотској, Институт за
истраживање у области заштите животне средине