

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ – ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета Универзитета у Београду, одржаној 10. 07. 2025. године, одлука бр. 518/7, одређени смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације мастер хемичара Александра Ђорђевића, студента докторских студија и истраживача сарадника у Институту за општу и физичку хемију, под насловом:

„Адсорпција деривата бензена из водених раствора на активном угљу добијеном од кокосове љуске и праћење заосталих деривата применом новосинтетисаних сензора нанокомпозитног графен-оксида“

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: 61206-3538/4-21). Комисија је докторску дисертацију прегледала и Наставно – научном већу подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидата Александра Ђорђевића је написана на 106 страна А4 формата (фонт Times New Roman; величина 12 pt; проред 1,0; маргине 2 cm) и садржи 79 слика и 14 табела. Рад обухвата следећа поглавља: Општи део (26 страна), Циљ рада (2 стране), Експериментални део (9 страна), Резултати и дискусија (57 стране), Закључак (3 стране) и Литература (9 страна, 188 цитата). Поред наведеног, дисертација садржи Захвалницу (1 страна), Сажетак на српском и енглеском језику (по 1 страна), Садржај (4 стране), Листу скраћеница (1 страна), 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 Општем делу докторске дисертације дата је свеобухватна анализа литературе релевантне за дефинисање предмета, циљева и научне заснованости истраживања.

Приказани су кључни подаци о физичким и хемијским својствима нитробензена (NB) и 1,3-динитробензена (DNB), при чему је посебан нагласак стављен на улогу нитро група у утицају на електронску структуру, растворљивост и реактивност ових једињења. Размотрени су извори контаминације, механизми транспорта и трансформације у животној средини. Посебна пажња посвећена је токсиколошком профилу ових једињења, са описом акутних и хроничних ефеката, укључујући метаболичке путеве, хематолошке, неуролошке и канцерогене последице, као и процени ризика по здравље људи, нарочито путем воде за пиће. У оквиру метода за уклањање нитроароматичних једињења из воде, издвојена је адсорпција као доминантан и практичан метод третмана вода. Описане су кључне предности примене активног угља добијеног из љуске кокоса (*Coconut Shell-Derived Activated Carbon*, CSDAC), који представља јефтин, обновљив и ефикасан адсорбент. Анализирани су модели адсорпционих изотерми (Лангмир, Фројндлих, Темкин, Дубинин–Радускевич, BET) и кинетички модели (псеудо-првог и псеудо-другог реда, Елович, модел међучестичне дифузије), који омогућавају квантификацију и разумевање механизма адсорпције, као и оптимизацију услова третмана. Такође су детаљно представљене технике применом којих је окарактерисан CSDAC, као и нанокompозити: скенирајућа електронска микроскопија са енергетски диспрегваном спектроскопијом (SEM/EDS), трансмисиона електронска микроскопија (TEM), рендгенска дифракциона анализа (XRD), Инфрацрвена спектроскопија са Фуриеовом трансформацијом (FTIR), BET, UV/VIS и фотоелектронска спектроскопија X – зрака (XPS), уз поређење резултата пре и након адсорпције. Електрохемијски део истраживања обухвата теоријску основу цикличне волтаметрије (CV) и електрохемијске импедансне спектроскопије (EIS), као и њихову примену у испитивању нанокompозитних материјала заснованих на редукваном графен оксиду (rGO) са биметалним (CuAg и CoAg). Објашњени су механизми редукције NB и DNB на површини модификованих електрода, параметри који утичу на електрохемијски одзив, као што су рН узорка воде, брзина промене потенцијала, интерференти и стабилност система, као и критеријуми за евалуацију осетљивости, поновљивости и селективности мерења. Свеобухватним приступом и дубинским приказом еколошких, токсиколошких и аналитичких аспеката проблематике, аутор је поставио јасне и чврсте научне основе за спровођење експерименталног дела истраживања.

У поглављу **Циљ рада**, су дефинисани основни циљеви истраживања, испитивање електроаналитичких својстава нових нанокompозита CuAg/rGO и CoAg/rGO, као материјала погодних за конструисање осетљивих и селективних електрохемијских

сензора за одређивање NB и DNB у воденим срединама, као и испитивање адсорпционе способности активног угља CSDAC за уклањање NB и DNB из водених раствора, уз оптимизацију параметара процеса: маса адсорбенса, концентрација адсорбата, време, температура, pH, као и испитивање кинетике и изотермијског понашања адсорпције.

Експериментални део докторске дисертације обухвата детаљан приказ поступака синтезе, карактеризације и примене испитиваних материјала, као и методологију адсорпционих и електрохемијских мерења. Истраживање је фокусирано на развој и испитивање нових нанокompозита CoAg/rGO и CuAg/rGO као детектора нитроароматичних једињења, као и на примену активног угља добијеног из љуске кокоса (CSDAC) за уклањање нитроароматичних загађујућих супстанци из воде. Синтеза нових нанокompозита изведена је редукцијом металних соли у присуству графен-оксида, чиме су добијени биметални наночестични системи депоновани на површини редукованог графен оксида. Употребљене хемикалије, реагенси и услови синтезе прецизно су наведени, укључујући поступак припреме суспензије, pH средине и температура реакције. Добијени наноматеријали подвргнути су свеобухватној физичко-хемијској карактеризацији применом савремених аналитичких техника: SEM/EDX и TEM за испитивање морфологије и величине честица, XRD ради утврђивања кристалне структуре, FTIR и XPS за идентификацију функционалних група и површинских интеракција, као и UV/VIS спектроскопије и BET анализе за одређивање оптичких својстава, специфичне површине и порозности материјала. Електрохемијска својства нанокompозита испитивана су применом цикличне волтаметрије и електрохемијске импедансне спектроскопије, уз припрему модификованих електрода, дефинисање електролита и опис радних услова. Акценат је стављен на карактерисање преноса наелектрисања, одзив на присуство испитиваних једињења и стабилност електрода у различитим условима. Истовремено, активни угаљ CSDAC добијен карбонизацијом и активацијом кокосове љуске подвргнут је испитивању основних физичко-хемијских параметара, укључујући садржај влаге и пепела, pH воденог екстракта и јодни број као индикатор порозности. Након карактеризације, изведена су испитивања адсорпције нитробензена и 1,3-динитробензена у контролисаним условима. Кинетичке студије спроведене су варирањем времена контакта, док су изотермске анализе обухватиле различите почетне концентрације адсорбата, при чему су подаци анализирани применом више модела адсорпције. Термодинамичка мерења изведена су при различитим температурама, што је омогућило израчунавање параметара као што су промена енталпије (ΔH), промена ентропије (ΔS) и промена Гибсове енергије (ΔG), а UV/VIS

спектроскопија је коришћена за квантификацију резидуалних концентрација у раствору. Истраживање је укључило и испитивања у реалним условима, при чему су адсорпција и електрохемијска детекција изведене у присуству интерферентних јона и на узорцима реалних вода – површинских, подземних и отпадних. Додатно су спроведене анализе стабилности електрода током поновљене употребе и процене поузданости добијених резултата, што је обезбедило верификацију применљивости развијених система у пракси.

У поглављу **Резултати и дискусија**, систематично су приказани резултати добијени током истраживања, уз критичко тумачење и поређење са доступним подацима из литературе. Посебна пажња посвећена је ефикасности предложених материјала у уклањању и детекцији нитроароматичних једињења из воде, при чему су испитивани и нови нанокомпозити и активни угаљ добијен из љуске кокоса. Резултати указују на висок потенцијал оба приступа у контексту заштите животне средине и развоја напредних аналитичких и ремедијационих метода. Нови нанокомпозити CoAg/rGO и CuAg/rGO детаљно су окарактерисани применом напредних инструмената, укључујући SEM и ТЕМ микроскопију, XRD анализу, FTIR и XPS спектроскопију, као и BET анализу специфичне површине. Потврђена је равномерна дистрибуција наночестица и постојање повољне морфологије за примену у електрохемијској анализи. Електрохемијске карактеризације (CV и EIS) показале су значајно смањен отпор преноса наелектрисања за CoAg/rGO у поређењу са CuAg/rGO и немодификованом електродом од стакластог угљеника, што указује на супериорну електрокаталитичку активност. Испитивања детекције NB и DNB показала су да CoAg/rGO обезбеђује ниже границе детекције, јасније сигнале и бољу поновљивост, чак и у присуству потенцијалних интерферената. Методе су примењене и на реалним узорцима воде из различитих извора, при чему су добијени резултати потврдили стабилност и поузданост развијених сензора. Поређењем са литературним подацима установљено је да ови нанокомпозити постижу једнаку или бољу осетљивост од већине раније пријављених електродних материјала, што указује на њихов значајан потенцијал за праћење токсичних загађивача у животној средини. Што се тиче адсорпционог приступа, приказани су резултати добијени применом активног угља CSDAC, синтетисаног из природног отпадног материјала. Основна физичко-хемијска својства овог материјала, као што су садржај влаге и пепела, рН вредност воденог екстракта и јодни број, указују на висок квалитет и развијеност микропорозне структуре. Кинетичка испитивања су показала да адсорпција NB и DNB следи модел псеудо-другог реда, што упућује на хемијску природу везивања, док су изотермске анализе, уз најбоље подударење са Лангмировим моделом, указале на постојање ограниченог броја

специфичних адсорпционих места. Добијене вредности термодинамичких параметара (ΔH , ΔS , ΔG) сугеришу да се процес одвија спонтано и егзотермно. Упоредивањем добијених адсорпционих капацитета са подацима из литературе потврђена је висока ефикасност CSDAC у уклањању NB и DNB из воде, што овај материјал чини економичним, еколошки прихватљивим и потенцијално применљивим у реалним системима за пречишћавање отпадних вода.

У **Закључку**, су сумирани најзначајнији резултати који потврђују да испитивани приступи имају значајан потенцијал у детекцији, праћењу и уклањању нитроароматичних загађујућих супстанци у води.

У делу **Литература** наведене су 188 библиографске јединице из области истраживања које су разматране при писању тезе.

Б. Кратак опис постигнутих резултата

У оквиру ове докторске дисертације остварени су значајни резултати у области хемије животне средине, усмерени на уклањање и електрохемијско праћење нитроароматичних загађивача у воденој средини. Истраживање је обухватило два комплементарна приступа – адсорпцију на биоактивном угљу добијеном од љуске кокоса (CSDAC) и електрохемијску детекцију применом биметалних наноконтропозита CuAg/rGO и CoAg/rGO.

Први део истраживања обухватао је синтезу и карактеризацију биметалних наноконтропозита CuAg/rGO и CoAg/rGO, који су успешно примењени као електродни материјали за електрохемијску детекцију NB и DNB. Карактеризација је изведена применом више техника (SEM, TEM, XRD, FTIR, UV/VIS), а електрохемијске перформансе су испитиване методом цикличне волтаметрије и електрохемијске импедансне спектроскопије. Електрода модификована CoAg/rGO наноконтропозитом показала је најбоље резултате, са границама детекције од 6,36 μM за NB и 2,47 μM за DNB у опсегу концентрација од 5–50 μM . У случају CuAg/rGO, граница детекције за NB није била дефинисана, док је за DNB износила 2,21 μM . Обе електроде су показале стабилност, добру поновљивост сигнала и отпорност на сметње, укључујући присуство SO_4^{2-} и фенола. Ефикасност је потврђена и у реалним узорцима воде.

У другом делу истраживања, приказана је ефикасна адсорпција NB и DNB на CSDAC-у. Резултати кинетичких и изотермских испитивања указали су на висок адсорпциони капацитет и повољну термодинамику процеса. Процес је био брз

(достизање равнотеже за мање од 10 минута), спонтан, ендотерман и најбоље описан моделом псеудо-другог реда и Лангмировом изотермом, што указује на хемијску природу адсорпције. CSDAC је показао високу микропорозност, специфичну површину и јодни број преко 1200 mg g⁻¹, чиме је потврђен његов потенцијал за уклањање малих органских молекула. Ефикасност адсорпције била је већа за DNB ($q_{\max} = 42,75 \text{ mg g}^{-1}$) него за NB ($q_{\max} = 12,88 \text{ mg g}^{-1}$), а оптимални услови укључивали су благо алкални рН, већу температуру и виши масени однос адсорбента. Испитивања су указала су на применљивост материјала, али и потребу за даљим истраживањима у домену селективности и регенерације.

Комбиновањем ова два приступа – адсорпције за уклањање и електрохемијске анализе за мониторинг – добијен је свеобухватан методолошки оквир за ефикасно управљање нитроароматичним загађивачима. Остварени резултати представљају важан допринос развоју иновативних, приступачних и одрживих метода за заштиту и контролу квалитета воде, у складу са принципима зелене хемије и циркуларне економије.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Контаминација воде ароматичним органским једињењима представља један од најозбиљнијих еколошких изазова савременог доба, будући да ова једињења испољавају високу токсичност, хемијску стабилност и отпорност на разградњу у животној средини, као и способност да изазову озбиљне здравствене последице [1]. Међу њима се посебно издвајају деривати бензена, попут нитробензена (NB) и 1,3-динитробензена (DNB), који се широко примењују у хемијској индустрији, али истовремено поседују значајан канцерогени и мутаген потенцијал [2–4]. У циљу смањења ризика по здравље људи и екосистеме, Америчка агенција за заштиту животне средине (EPA) је 2014. године ревидирала препоручене границе концентрације NB у пијаћој води, снижавајући их са 17 µg/L на 10 µg/L [5,6], чиме је додатно наглашена потреба за развојем осетљивих, поузданих и економичних метода за идентификацију и уклањање ових загађивача.

У оквиру ове дисертације примењен је двоструки приступ решавању проблема загађења воде NB и DNB – развојем електрохемијских сензора заснованих на нанокмпозитима CoAg/rGO и CuAg/rGO, као и применом активног угља добијеног од кокосове љуске (CSDAC) као јефтиног и локално доступног адсорбента. Електрохемијска испитивања показала су да обе развијене електроде омогућавају поуздану детекцију NB и DNB у неутралним условима. Циклична волтаметрија

потврдила је појаву добро дефинисаних редукционих пикова, при чему је електрода CoAg/rGO показала супериорне перформансе у одређивању NB у односу на CuAg/rGO, док су за DNB обе електроде дале стабилне и упоредиве сигнале [2,3]. Остварене границе детекције за NB и DNB износиле су 6,36 μM и 2,47 μM , редом, за CoAg/rGO, док је CuAg/rGO електрода показала LOD за DNB од 2,21 μM , што је упоредиво са подацима из литературе [7–10] и указује на научну релевантност и применљивост предложених сензора.

Посебан значај добијених резултата огледа се у њиховој примени на реалним узорцима воде, што је у постојећој литератури ретко систематски обрађено. Испитивања су обухватила речну и бунарску воду. Утврђено је да у анализираним реалним узорцима нису били присутни циљни загађивачи, те су у њих додате познате концентрације NB и DNB. Оба сензорска система показала су јасну и поуздану детекцију, што указује да развијени сензори, поред примене у лабораторијским условима, задовољавају критеријуме употребе у теренским и индустријским условима.

Поред детекције, у дисертацији је обрађен и аспект уклањања NB и DNB из воде адсорпцијом на CSDAC. Добијени капацитети адсорпције – 12,88 mg g^{-1} за NB и 42,75 mg g^{-1} за DNB – показују да овај биоадсорбент, и поред своје једноставне и нискобуцетне производње, поседује перформансе које су у складу са резултатима из литературе [4,5], потврђујући његову релевантност као еколошки прихватљивог и ефикасног материјала. Анализирани су и параметри кинетике, изотермског понашања и утицаја основних експерименталних услова (pH, температура, маса адсорбента, концентрација адсорбата), чиме је омогућена поуздана процена применљивости овог материјала. Резултати су показали добру репродуктивност и стабилност, што указује на значајан потенцијал примене CSDAC-а у системима за третман отпадних вода.

Научни допринос рада огледа се у првој примени CoAg/rGO и CuAg/rGO наноконтрозита за електрохемијску детекцију NB и DNB у реалним узорцима воде, у развоју ефикасног адсорпционог система заснованог на локално доступном материјалу, као и у свеобухватној карактеризацији синтетисаних материјала. Примењене методе у потпуности задовољавају критеријуме савремених сензорских платформи, будући да се одликују ниским границама детекције, добром стабилношћу сигнала и отпорношћу на интерференте као што су сулфати и феноли.

Јединствен допринос овог рада огледа се у чињеници да је активни угаљ добијен од кокосове љуске набављен од домаће компаније, што отвара могућности за развој функционалних материјала из локалних извора и подстицање домаће привреде.

Једноставност производње, одрживост сировине и добре адсорпционе перформансе позиционирају CSDAC као решење у складу са принципима зелене хемије, циркуларне економије и еколошки одговорног управљања ресурсима. Стога се ова дисертација може сматрати значајним доприносом у области развоја функционалних материјала за мониторинг и санацију загађених вода, са реалним потенцијалом за даљу примену у пракси.

Литература:

- [1] P. Kovacic, R. Somanathan, Nitroaromatic compounds: Environmental toxicity, carcinogenicity, mutagenicity, therapy and mechanism, *J of Applied Toxicology* 34 (2014) 810–824. <https://doi.org/10.1002/jat.2980>.
- [2] P. Rameshkumar, R. Ramaraj, Electroanalysis of nitrobenzene derivatives and nitrite ions using silver nanoparticles deposited silica spheres modified electrode, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 731 (2014) 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.08.010>.
- [3] Y. Qu, Y. Liu, T. Zhou, G. Shi, L. Jin, Electrochemical Sensor Prepared from Molecularly Imprinted Polymer for Recognition of 1,3-Dinitrobenzene (DNB), *Chin. J. Chem.* 27 (2009) 2043–2048. <https://doi.org/10.1002/cjoc.200990343>.
- [4] Z. Kecira, O. Benturki, A. Benturki, M. Daoud, P. Girods, High adsorption capacity of nitrobenzene from aqueous solution using activated carbons prepared from vegetable waste, *Env Prog and Sustain Energy* 39 (2020) e13463. <https://doi.org/10.1002/ep.13463>.
- [5] D. Wang, H. Shan, X. Sun, H. Zhang, Y. Wu, Removal of nitrobenzene from aqueous solution by adsorption onto carbonized sugarcane bagasse, *Adsorption Science & Technology* 36 (2018) 1366–1385. <https://doi.org/10.1177/0263617418771823>.
- [6] Y. Dai, D. Zhang, K. Zhang, Nitrobenzene-adsorption capacity of NaOH-modified spent coffee ground from aqueous solution, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 68 (2016) 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.042>.
- [7] E.M. Dief, N. Hoffmann, N. Darwish, Electrochemical Detection of Dinitrobenzene on Silicon Electrodes: Toward Explosives Sensors, *Surfaces* 5 (2022) 218–227. <https://doi.org/10.3390/surfaces5010015>.
- [8] M.M. Ruiz-Ramirez, C. Silva-Carrillo, J.J. Hinostroza-Mojarro, Y.Y. Rivera-Lugo, P. Valle-Trujillo, B. Trujillo-Navarrete, Electrochemical sensor for determination of

- nitrobenzene in aqueous solution based on nanostructures of TiO₂/GO, Fuel 283 (2021) 119326. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119326>.
- [9] Y. Sang, Y. Cui, Z. Li, W. Ye, H. Li, X.S. Zhao, P. Guo, Electrochemical reaction of nitrobenzene and its derivatives on glassy carbon electrode modified with MnFe₂O₄ colloid nanocrystal assemblies, Sensors and Actuators B: Chemical 234 (2016) 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.04.154>.
- [10] V.M. Kariuki, S.A. Fasih-Ahmad, F.J. Osonga, O.A. Sadik, An electrochemical sensor for nitrobenzene using π -conjugated polymer-embedded nanosilver, Analyst 141 (2016) 2259–2269. <https://doi.org/10.1039/C6AN00029K>.

Г. Објављени радови и саопштења који чине део докторске дисертације

Из резултата ове докторске дисертације проистекла су два научна рада од којих је један публикован у међународном часопису изузетних вредности (катеорија M21a), а други у истакнутом међународном часопису (катеорија M22). Поред тога, резултати су представљени кроз четири саопштења на међународним скуповима.

M21a – Рад у међународном часопису изузетних вредности

- 1) **A.M. Đorđević**, J. Milikić, S. Knežević, A. Jovanović, D. Relić, D. Stanković, B. Šljukić, Synthesis, characterization and application of bimetallic XAg/rGO (X = Co, Cu) nanocomposites for electrochemical detection of nitrobenzene, Microchemical Journal 213 (2025) 113826. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.113826>.

M22 – Рад у истакнутом међународном часопису

1. **A.M. Đorđević**, J. Milikić, V. Milanković, D.B. Bogdanović, K. Radinović, M.M. Kaninski, D. Relić, D. Stanković, B. Šljukić, Efficient Removal of Nitrobenzene and Its Compounds by Coconut Shell-Derived Activated Carbon, Processes 13(7) (2025) 2072. <https://doi.org/10.3390/pr13072072>

M33 – Саопштења са међународних скупова штампана у целини

- 1) **A.M. Đorđević**, J. Milikić, S. Knežević, D. Relić, B. Šljukić Paunković, Određivanje nitrobenzena pomoću kompozitnih CuAg/rGOiCoAg/rGO elektroda, Zbornik radova sa 50. konferencije o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda VODA 2021 (2021) 269-274. ISBN 978-86 916753-8-7

МЗ4 – Саопштења са међународних скупова штампана у изводу:

- 1) **A.M. Đorđević** , J. Milikić , A. Balčiūnaitė, B. Šljukić, Carbon from coconut shells for efficient removal of nitrobenzene from aqueous solution, 66th International Conference for students of Physics and Natural Sciences (2023) 100. ISBN 978-609-07-0883-5
<https://doi.org/10.15388/IOR2023>
- 2) **A.M. Đorđević** , J. Milikić , B. Šljukić, Toward cobalt silver electrochemical nanosensor for m dinitrobenzene, The 2nd Online ACE Seminar on Chemistry and the Environment led by Early-Career Scientists (Chem2Change – Environmental Chemistry towards Global Change) (2022) 25. ISBN 978-80-7560-406-4
- 3) **A.M. Đorđević** , J. Milikić , B. Šljukić, Detection of nitrobenzene derivates using silver copper electrode on reduced grapheme oxide in neutral media, 65th International Conference for students of Physics and Natural Sciences, "Open Readings 2022'' (2022) 175. ISBN 978 609-07-0722-7

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност докторске дисертације Александра Ђорђевића је проверена 6. августа 2025. године 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 подударања текста износи 7%. Овај степен подударности последица је навођења универзалних скраћеница, назива једињења, цитата, библиографских података коришћених у литератури, тзв. општих места и података у вези са темом ове дисертације, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је прихватљиво у складу са чланом 9. овог Правилника. Комисија сматра да је докторска дисертација Александра М. Ђорђевића у потпуности оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак

Комисија је мишљења да је дисертација резултат самосталног, темељног и оригиналног истраживачког рада, са препознатљивим научним доприносом у области хемије животне средине, аналитичке хемије и нанотехнологије.

У оквиру дисертације развијена су два комплементарна приступа у циљу решавања проблема контаминације воде токсичним нитроароматичним једињењима – адсорпциони третман на бази биоактивног угља и развој напредних електрохемијских сензора. Као адсорбент је коришћен активни угаљ добијен од љуске кокоса (CSDAC), чија је карактеризација показала високу специфичну површину, јодни број и микропорозност. Испитивања кинетике, изотерми и термодинамике адсорпције потврдила су ефикасно и брзо уклањање нитробензена (NB) и 1,3-динитробензена (DNB), уз повољне услове за примену у реалним воденим системима.

Други сегмент истраживања обухвата синтезу и свеобухватну карактеризацију нових биметалних нанокомпозита CuAg/rGO и CoAg/rGO, који су примењени као модификатори електрода за електрохемијску детекцију NB и DNB. Резултати волтаперометријских и EIS мерења показали су да CoAg/rGO електрода поседује супериорна електрокаталитичка својства, са нижим отпором преноса наелектрисања и нижим границама детекције за оба једињења (6,36 μM за NB и 2,47 μM за DNB). Оба сензора успешно су примењена на реалним узорцима воде и показала добру селективност, стабилност и поновљивост сигнала.

Посебну вредност дисертације представља интеграција адсорпционих и сензорских метода, чиме је кандидат обезбедио свеобухватан приступ који обједињује уклањање и мониторинг органских загађивача у води, у складу са принципима зелене хемије и циркуларне економије. Добијени резултати пружају основ за даљи развој примењивих технологија за заштиту животне средине и могу се интегрисати у системе за контролу квалитета воде у индустријским и теренским условима.

Резултати истраживања објављени су у два научна рада из области хемије животне средине и електрохемије, публикованим у истакнутим међународним часописима са SCI листе – један у категорији M21a, а други у категорији M22, при чему је кандидат први аутор. Такође, истраживање је представљено кроз четири саопштења на међународним научним скуповима, што додатно потврђује актуелност и видљивост добијених резултата.

Комисија сматра да се дисертација у потпуности уклапа у савремене трендове хемије животне средине, аналитичке хемије и примене наноматеријала, и да представља значајан допринос научној заједници.

На основу свега изложеног Комисија сматра да су испуњени сви услови за одбрану докторске дисертације и предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Хемијског факултета, да прихвати поднету докторску дисертацију Александра Ђорђевића, мастер хемичара под насловом **„Адсорпција деривата бензена из водених раствора на активном угљу добијеном од кокосове љуске и праћење заосталих деривата применом новосинтетисаних сензора нанокompозитног графен-оксида“** и одобри њену одбрану у поступку за стицање звања доктора хемијских наука.

У Београду,

Комисија:

1. Др Драган Манојловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет
2. Др Дубравка Релић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет
3. Др Далибор Станковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет
4. Др Милица Марчета Канински, научни саветник
Институт за општу и физичку хемију ад Београд
5. Др Јадранка Миликић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију