

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На Х редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 11.07.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње Кристине Н. Радиновић, мастер физикохемичара, под насловом:

„Електрохемијска детекција и одређивање јона As^{3+} у узорцима воде помоћу електрода на бази легура и нанокompозита злата“.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са VII редовне седнице од 15.06.2020. године одобрена је израда докторске дисертације под горе наведеним насловом. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 02.07.2020. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације.

Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидаткиње, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Кристине Н. Радиновић је написана на српском језику, на 91 страни А4 формата куцаног текста (фонт Times New Roman величине 12 pt и проред 1). Дисертација је припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација садржи следећа поглавља: **Преглед литературе** (18 страна), **Циљ рада** (1 страна), **Експериментални део** (7 страна), **Резултати и дискусија** (35 страна), **Закључак** (2 стране) и **Литература** (9 страна). Поред главног текста, дисертација садржи и **Насловну страну на српском језику** (1 страна), **Насловну страну на енглеском језику** (1 страна), **Страну са наведеним ментором и члановима комисије** (1 страна), **Захвалницу** (1 страна), **Сажетак на српском језику** (2 стране), **Сажетак на енглеском језику** (2 стране), **Листу симбола и скраћеница** (2 стране), **Садржај** (2 стране), **Биографију са библиографијом кандидаткиње** (3 стране) и **Прилоге прописане правилима Универзитета о подношењу докторске дисертације** (4 стране).

У дисертацији је приказано 54 слике (16 у Прегледу литературе и 38 у Резултатима и дискусији) и 5 табела (све у Резултатима и дискусији) од којих 38 слика и 5 табела приказују истраживања кандидаткиње.

Поглавље **Преглед литературе** је подељено на шест целина. Прво поглавље се односи на порекло, распрострањеност и значај арсена у животној средини од момента његовог открића, па до данас. У другом поглављу стављен је акценат на присуство арсена у воденим ресурсима, како у површинским тако и подземним водама, с обзиром да представља актуелни национални и светски проблем. У делу Утицај арсена на здравље људи објашњени су сви проблеми који настају и чему воде услед акутне и хроничне изложености арсену са тежиштем на неорганске облике арсена (As^{3+} и As^{5+}),

посебно As^{3+} форме која је 60-70 пута токсичнија од форме As^{5+} . Поглавље Методе карактеризације легура и нанокompозита злата фокусирано је на приказ коришћених метода за карактеризацију синтетисаних материјала, док се у следећем поглављу описују методе за детекцију As^{3+} јона. Шесто поглавље представља преглед електрода на бази злата које су коришћене за детекцију арсена применом електрохемијских метода.

У поглављу **Циљ рада** представљене су полазне хипотезе на основу којих су дати конкретни циљеви истраживања. Циљеви рада су били синтеза нових електроодних материјала на бази легура и нанокompозита злата, њихова физичко-хемијска карактеризација као и оптимизација свих експерименталних параметара (време депозиције, потенцијал депозиције, брзина поларизације) како би се ове електроде могле користити и за испитивање реалних узорака.

Поглавље **Експериментални део** обухвата детаљан опис синтезе свих електроодних материјала - Au-RE, CoAu, Co/rGo, Au/rGO и CoAu/rGO као и поступак њихове припреме као радне електроде за електрохемијска мерења. Приказани су и услови карактеризације узорака методама скенирајуће електронске микроскопије са енергетски дисперзивном спектроскопијом (SEM-EDX), трансмисионе електронске микроскопије (TEM), дифракцијом X-зрацима (XRD), фотоелектронском микроскопијом X-зрацима (XPS) и индуктивно спрегнутом плазмом са масеном спектрометријом (ICP-MS). Описан је и начин спровођења прорачуна помоћу програмског пакета Quantum espresso за DFT (теорија функционала густине) прорачуне. За електрохемијска мерења детаљно су приказани сви услови снимања као и начини оптимизације сваког експерименталног параметра, а као и начин одређивања границе детекције.

У делу дисертације под називом **Резултати и дискусија** приказани су и детаљно анализирани резултати ове докторске дисертације подељени у три целине сходно групи синтетисаних електроодних материјала, тако да се једна целина односи на резултате и дискусију електрода од легура злата са елементима ретких земаља, друга на електроде од бакарних плочица које су превучене златом и кобалтом док се трећа целина односи на резултате и дискусију електрокатализатора који су добијени наношењем наночестица злата и кобалта на редуковани графен оксид.

У поглављу **Закључак** изнети су најважнији резултати истраживања ове докторске дисертације из којих су проистекли закључци.

Поглавље **Литература** садржи преглед научних радова, књига и других извора према редоследу њиховог навођења у тексту.

2. Кратак преглед остварених резултата

У оквиру ове докторске дисертације испитана је електроаналитичка детекција и одређивање јона As^{3+} у воденим узорцима помоћу електрода на бази легура и нанокompозита злата у циљу добијања што јефтинијих, а једнако добрих, или бољих, материјала у односу на чисто злато применом једноставних и брзих електрохемијских мерења.

У ту сврху спроведена су детаљна испитивања синтетисаних материјала који су подељени у три групе. Прву групу материјала обухватале су легуре злата са елементима ретких земаља (самаријум (Au-Sm), диспрозијум (Au-Dy), холмијум (Au-Ho) и итријум (Au-Y)), другу су чиниле електроде од бакарних плочица које су превучене златом и кобалтом галваностатским таложењем (CoAu), док су трећу групу обухватили електрокатализатори добијени наношењем наночестица злата и кобалта на редуковани графен оксид (Co/rGo, Au/rGO и CoAu/rGO).

Први корак анализе сваке групе материјала подразумевао је њихову физичко-хемијску карактеризацију применом следећих техника: скенирајућа електронска микроскопија са енергетски дисперзивном спектроскопијом, трансмисиона електронска микроскопија, дифракција X-зрацима, фотоелектронска микроскопија X-зрацима и индуктивно спрегнута плазма са масеном спектрометријом. У наставку, у циљу постизања што ниже вредности границе детекције за сваки материјал, као и њихове примене у реалним узорцима, извршено је детаљно испитивање мерних параметара у основном електролиту (бикарбонатни пуфер $\text{pH} = 7 / 1 \text{ M HCl}$) који је садржао одређену концентрацију As^{3+} јона, применом анодне стрипинг волтаметрије. Оптимизација мерних параметара подразумевала је тестирање потенцијала депозиције (E_d) при вредностима $E_d = -0,9; -0,8; -0,7; -0,6; -0,5; -0,4$ и $-0,3 \text{ V}$, потом времена депозиције (t_d) при t_d од 30, 60, 120, 150, 180, 240, 300 и 360 s, и на крају брзине поларизације у опсегу од 10 до 100 mV s^{-1} . Оптимална брзина поларизације за сваку групу материјала одређена је с намером да се добије што већи интензитет струје тако да се избегне доминантност капацитивне струје. На основу добијених оптималних вредности експерименталних параметара, статистичком 3 сигма методом одређена је граница детекције на основу података добијених снимањем цикличних волтамограма.

Применом индуктивно спрегнуте плазме са масеном спектрометријом одређен је садржај метала у узорцима. Тако је у rGO узорцима садржај метала био следећи: 11,88 масених % Au у Au/rGO, 17,55 масених % Co у Co/rGo, док је у CoAu/rGO узорку било 33,29 масених % Co и само 6,67 масених % Au. Истом методом је добијена информација да се у CoAu електроди налази 96,41 масених % Co и само 1,10 масених % Au. Садржај злата у четири легуре са елементима ретких земаља је одређен енергетски дисперзивном спектроскопијом и износио је око 50 атомских %.

Све четири електроде са ретким земљама, Au-RE (Au-No, Au-Sm, Au-Y и Au-Dy) тестиране у бикарбонатном пуферу ($\text{pH} = 7$) методом анодне стрипинг волтаметрије, показале су униформна времена депоновања анализата, па је време депозиције од 180 s одабрано за даља истраживања јер је примећено да разлика у повећању интензитета струје пика, између дужих времена није значајна. Слично понашање, у истом пуферу ($\text{pH} = 7$), показала је група електрода са rGO (Co/rGo, Au/rGO и CoAu/rGO) због чега је исто време (180 s) одабрано за наредна ASV мерења. За разлику од неутралне средине, катализатори са rGO су показали нешто другачије понашање у 1 M HCl. Иако је интензитет струјног пика био у порасту са повећањем времена депоновања анализата, долазило је до оксидације површине електрода што је резултовало појавом додатних пикова. Због наведеног проблема, за киселу средину је одабрано време депозиције од 60 s при којем није долазило до оксидације површине самих електрокатализатора. Када је у питању трећа група електрода, CoAu, која је такође испитана у бикарбонатном пуферу ($\text{pH} = 7$), најбољи струјни одговор добијен је при времену депозиције од 60 s, које је и коришћено током наредних мерења. У случају параметара потенцијала депозиције, Au-RE електроде и Co/rGo електрода испитане у бикарбонатном пуферу ($\text{pH} = 7$) показале су највећи струјни одговор при потенцијалу депозиције од $-0,9 \text{ V}$, док су нешто мању негативну вредност E_d ($-0,7 \text{ V}$) показале CoAu и CoAu/rGO електрода тестиране у истом електролиту. Au/rGO електрода при истим условима, показала је највиши интензитет струје при E_d од $-0,3 \text{ V}$. Електроде са rGO испитане у киселој средини (1 M HCl) показале су оптималну вредност потенцијала депозиције при $-0,3 \text{ V}$ јер се само при овој вредности није дешавала оксидација површине електроде, која би довела до ометања појаве оксидације As^0 .

Испитан је и механизам електрооксидације арсена на коришћеним електродама и идентификован одлучујући ступањ.

Оптимизоване вредности параметара за сваку электроду искоришћене су у циљу одређивања границе детекције As^{3+} јона применом 3 сигма методе, при чему је утврђено да вредност границе детекције расте у следећем низу: $0,81\pm 0,01$ ppb (Au-No, област линеарности 2-12 ppb) < $1,09\pm 0,06$ ppb (Au/rGO, 6-14 ppb) < $1,48\pm 0,04$ ppb (Au-Dy, 2-18 ppb) < $1,6\pm 0,2$ (Au-Y, 2-20 ppb) < $1,9\pm 0,1$ ppb (Co/rGO, 10-20 ppb) < $2,2\pm 0,5$ ppb (CoAu, 2-20 ppb) < $2,3\pm 0,1$ ppb (Au-Sm, 4 – 20 ppb) < $4,5\pm 0,1$ ppb (CoAu/rGO, 10-18 ppb). Треба истаћи да су за све електроде, тестиране у бикарбонатном пуферу (pH = 7) применом анодне стрипинг волтаметрије, добијене ниже вредности границе детекције у односу на максималну дозвољену концентрацију арсена у води која је прописана од стране Светске здравствене организације (10 ppb). Због тога се све ове електроде могу сматрати подобним за потенцијалну примену у електрохемијским сензорима за As^{3+} јоне током свакодневних испитивања узорака вода.

Као могућност примене синтетисаних материјала у реалним узорцима, испитана је њихова активност у два речна узорка (узорка воде из реке Дрине у Лозници и узорка воде из реке Бегеј у Зрењанину), и два узорка из градског водовода (Београда и Зрењанина). С обзиром да се у реалним узорцима очекује присуство различитих јона који могу да ометају детекцију јона As^{3+} , испитана је и могућност детекције As^{3+} у присуству Cu^{2+} јона. Бакар је одабран као модел интерферента због потенцијала оксидације Cu^0 до Cu^{2+} , који је сличан тј. нешто позитивнији у односу на потенцијал оксидације As^0 до As^{3+} . Анализом цикловолтамограма снимљених у присуству исте концентрације Cu^{2+} и As^{3+} јона у бикарбонатном пуферу, донет је закључак да су сви синтетисани материјали показали могућност селективне детекције As^{3+} и Cu^{2+} јона што потврђује појава два оксидациона пика при испитивању сваке електроде. Au-RE електроде показале су пик од оксидације As на око $-0,32$ V, док се пик услед оксидације Cu појавио на око $-0,12$ V. Исту позицију оксидационог пика As показала је и CoAu електрода, с тим што се пик од оксидације бакра померио ка позитивнијој вредности потенцијала ($-0,04$ V). CoAu/rGO електрокатализатор показао је оксидационе пикове на позитивнијим вредностима потенцијала: пик услед оксидације As^0 на око 0 V, а пик услед оксидације Cu^0 на око $0,12$ V.

Електроаналитички одговор новосинтетисаних материјала у узорцима воде из реке Дрине и реке Бегеј, као и у узорцима воде из београдског и зрењанинског водовода, без претходног предтретмана, показао је следеће резултате: од свих Au-RE електрода, Au-Y електрода је показала јасно дефинисане пикове како у речним, тако и у узорцима из водовода. Наиме, сами узорци нису садржали арсен (што се види на основу снимљених базних линија), па је након снимања цикловолтамограма, под оптимизованим условима, додата одређена концентрација As^{3+} јона. CoAu/rGO електрода је такође показала добар електроаналитички одговор у сва четири реална узорка, за разлику од Au/rGO електроде која је показала благо развучен пик As^{3+} јона и то у узорку воде из београдског водовода, док Co/rGO електрода није била активна, што је потврђено одсуством анодног пика. Електроаналитички одговор у речним узорцима показала је и CoAu електрода, али са мање израженијим оксидационим пицом у односу на Au-Y и CoAu/rGO электроду.

На крају, успешност детекције и одређивања јона арсена у воденим узорцима, која се огледа у ниским вредностима границе детекције As^{3+} јона (граница детекције, LOD < 10 ppb) и у добром електроаналитичком одговору електрода у реалним узорцима (посебно Au-Y и CoAu/rGO), говори о томе да би се њиховом применом, сем добре активности материјала, постигла и знатно нижа цена електрода у односу на електроде од чистог злата. Због свега наведеног може се рећи да се електроде испитане у овој докторској дисертацији, Au-RE (првенствено Au-Y), CoAu/rGo и CoAu, могу користити

у електрохемијским сензорима за детекцију As^{3+} јона при свакодневним анализама узорака вода.

3. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе

Арсен је неесенцијални тешки метал широко распрострањен у Земљиној кори, који се сматра великим ризиком за људско здравље [1]. Јавља се у четири оксидациона стања: -3, 0, +3 и +5. Неорганске форме арсена, As^{3+} и As^{5+} , су претежно присутне у природним водама при чему је As^{3+} много пута токсичнија форма од As^{5+} [2]. Према Светској здравственој организацији максимална дозвољена количина арсена у води је 10 ppb [1]. Поред тога што је токсичан, арсен је један од најреактивнијих елемената који може реаговати са другим елементима градећи арсенате, сулфиде, оксиде и хидриде. Неорганске врсте арсена улазе у биолошке системе где могу изазвати низ здравствених проблема у виду канцерогених, мутагених, генотоксичних, респираторних и дермалних промена, али и болести репродуктивног система [2]. Сходно наведеном проблему, јавља се потреба за успостављањем најефикаснијег начина детекције As^{3+} и As^{5+} .

Стандардне технике које се користе за детекцију садржаја тешких метала су индуктивно спрегнута плазма са масеном спектрометријом, пламена атомска апсорпциона и електротермијска атомска апсорпциона спектрометрија, атомска флуоресцентна спектроскопија и течна хроматографија високих перформанси [3]. Међутим, ове методе имају и своје недостатке: погодне су само за лабораторијске услове, користе скупу опрему, анализа је дуготрајна и није погодна за рутинско праћење великог броја узорака. Поред тога, током анализе може доћи до оштећења и промене физичко-хемијских својстава узорака [4]. Стога се ове методе замењују електрохемијским које омогућавају релативно једноставно, директно одређивање јона метала. Електрохемијске методе имају и високу селективност за испитиване јоне метала, високу осетљивост и могућност прилично брзе анализе уз нижу цену [3].

Електроде на бази злата су се показале као добре за електроаналитичку детекцију јона арсена у води. Међутим, висока цена злата довела је до потражње за новим електроодним материјалима добрих електроаналитичких перформанси, али ниже цене у односу на електроде од чистог злата. На основу прегледане литературе може се закључити да постоји велики број електрода на бази злата тестиран за детекцију As^{3+} јона у узорцима воде. У ту сврху електрода стакластог угљеника (GCE) модификована златом ($\text{Au}_{\text{temp}}/\text{GCE}$) тестирана је у 0,5 М H_2SO_4 при чему је показала изузетно ниску вредност границе детекције од свега 0,49 ppb и веома високу осетљивост од 1,13 $\text{mA } \mu\text{M}^{-1}$ [5].

Биметалне $\text{Au}_{93}\text{Cu}_7$, $\text{Au}_{89}\text{Cu}_{11}$ и $\text{Au}_{79}\text{Cu}_{21}$ електроде које су синтетисане једноставном хидротермалном методом, показале су високу активност ка детекцији As^{3+} јона, већу чак и од електроде од наночестица злата (AuNPs), али и од комерцијалне Au електроде [6]. Од свих поменутих биметалних AuCu електрода, $\text{Au}_{89}\text{Cu}_{11}$ електрода је показала најнижу вредност границе детекције од 2,09 ppb. Такође, ова електрода је показала и високу осетљивост ($1,63 \mu\text{A ppb}^{-1} \text{cm}^{-2}$) са веома добрим перформансама у присуству интерферената приликом детекције испитиваног јона применом волтаметрије са правоугаоном променом потенцијала [6]. У поређењу ове електроде са CoAu електродом тестираном у овој дисертацији, може се видети да су добијене готово исте вредности границе детекције ($2,2 \pm 0,5$ ppb), што указује да је и електрода у оквиру ове студије као и $\text{Au}_{89}\text{Cu}_{11}$ показала боље резултате у односу на комерцијалну Au электроду. Исто тако, ниже вредности границе детекције у односу на Au электроду, али

и биметалну AuCu электроду, показале су легуре злата са елементима ретких земаља испитиване у овој докторској дисертацији (0,8 ppb, 1,48 ppb, 1,6 ppb и 2,3 ppb за Au-No, Au-Dy, Au-Y и Au-Sm, редом).

Електрода на бази Au на редукованом графен-оксиду (Au-RGO) испитивана је за детекцију As^{3+} јона у киселој средини (0,2 M HCl) при чему је синтетисани нанокомполит показао ниску вредност границе детекције (LOD = 0,1 ppb) [7]. Добијена вредност границе детекције је нижа у односу на Au/rGO электроду која је испитивана у овој докторској дисертацији. Међутим, Au/rGO електрода је у оквиру ове докторске дисертације испитивана у неутралној средини (бикарбонатном пуферу) што одговара води за пиће из водовода (pH вредност од 6,5 до 8,5).

Наночестице Au на нанолистивима угљеничног нитрида допираног сумпором на електроди од стакластог угљеника (AuNPs@SCNN/GCE) показале су се као одличан електродни материјал за детекцију јона арсена применом волтаметрије са правоугаоном променом потенцијала у опсегу линеарности 0,2 – 30 ppb, са границом детекције од 0,07 ppb [8]. Електрода стакластог угљеника модификована нанокомполитним AuNPs/CeO₂-ZrO₂ је показала боље перформансе за детекцију јона As^{3+} (LOD = 0,137 ppb) у односу на комерцијалну Au электроду (LOD = 1,453 ppb), али и у односу на электроду стакластог угљеника модификовану Au наночестицама чија је вредност границе детекције (LOD = 9,138 ppb) скоро достигла максималну дозвољену вредност арсена у води прописану од стране Светске здравствене организације [9]. AuNPs/CeO₂-ZrO₂ електрода сем бољег електроаналитичког одговара, има и нижу цену у односу на электроду од чистог злата. Такође треба споменути да је и CoAu/rGO електрода, испитана у овој дисертацији, показала нижу вредност границе детекције (4,5 ppb) у односу на электроду стакластог угљеника модификовану Au наночестицама.

Група научника је синтетисала наночестице кобалта на редукованом графен оксиду (Co-rGO) који је показао активност према детекцији As^{3+} јона у води из реке. Утврђено је да је у узорку воде, коришћењем Co-rGO сензора, концентрација арсена износила $9,35 \pm 0,25$ ppb [10]. Исти тип електрокатализатора је синтетисан у оквиру ове докторске дисертације и показао је нижу вредност границе детекције, LOD = 1,9 ppb за област линеарности 10-20 ppb. Други значајан допринос у односу на литературу је примена анодне стрипинг волтаметрије у неутралној средини (бикарбонатном пуферу).

Референце:

- [1] P. Carrera, P.J. Espinoza-Montero, L. Fernández, H. Romero, J. Alvarado, Electrochemical determination of arsenic in natural waters using carbon fiber ultramicroelectrodes modified with gold nanoparticles, *Talanta*. 166 (2017) 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.01.056>.
- [2] S. Kumar, G. Bhanjana, N. Dilbaghi, R. Kumar, A. Umar, Fabrication and characterization of highly sensitive and selective arsenic sensor based on ultra-thin graphene oxide nanosheets, *Sensors Actuators, B Chem.* 227 (2016) 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.11.101>.
- [3] K. Pungjunun, S. Chaiyo, I. Jantrahong, S. Nantaphol, W. Siangproh, O. Chailapakul, Anodic stripping voltammetric determination of total arsenic using a gold nanoparticle-modified boron-doped diamond electrode on a paper-based device, *Microchim. Acta*. 185 (2018) 324. <https://doi.org/10.1007/s00604-018-2821-7>.
- [4] Z.G. Liu, X.J. Huang, Voltammetric determination of inorganic arsenic, *TrAC - Trends Anal. Chem.* 60 (2014) 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.04.014>.
- [5] L. Chao, X. Xiong, J. Liu, A. Xu, T. Huang, F. He, Q. Xie, Preparation of a porous Au electrode with a sacrificed Prussian blue analogue template for anodic stripping

voltammetric analysis of trace arsenic(III), *Sensors Actuators, B Chem.* 253 (2017) 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.06.150>.

[6] M. Yang, Z. Guo, L.N. Li, Y.Y. Huang, J.H. Liu, Q. Zhou, X. Chen, X.J. Huang, Electrochemical determination of arsenic(III) with ultra-high anti-interference performance using Au-Cu bimetallic nanoparticles, *Sensors Actuators, B Chem.* 231 (2016) 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.009>.

[7] W.W. Li, F.Y. Kong, J.Y. Wang, Z.D. Chen, H.L. Fang, W. Wang, Facile one-pot and rapid synthesis of surfactant-free Au-reduced graphene oxide nanocomposite for trace arsenic (III) detection, *Electrochim. Acta.* 157 (2015) 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.12.150>.

[8] S. Ebrahimi, A. Afkhami, T. Madrakian, Z. Amouzegar, Self-supporting porous S-doped graphitic carbon nitride as a multifunctional support of Au catalyst: Application to highly sensitive and selective determination of arsenic (III) in a wide range of pH, *Electrochim. Acta.* 437 (2023) 141496. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141496>.

[9] M. Yang, P.H. Li, W.H. Xu, Y. Wei, L.N. Li, Y.Y. Huang, Y.F. Sun, X. Chen, J.H. Liu, X.J. Huang, Reliable electrochemical sensing arsenic(III) in nearly groundwater pH based on efficient adsorption and excellent electrocatalytic ability of AuNPs/CeO₂-ZrO₂ nanocomposite, *Sensors Actuators, B Chem.* 255 (2018) 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.204>.

[10] A. Jimana, M.G. Peleyeju, L. Tshwenya, K. Pillay, O.A. Arotiba, Voltammetric analysis of As(III) at a cobalt nanoparticles/reduced graphene oxide modified exfoliated graphite electrode, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 10127–10140. <https://doi.org/10.20964/2018.11.09>.

Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације Кристине Н. Радиновић проистекле су следеће публикације: један рад у врхунском међународном часопису М21, један рад у истакнутом међународном часопису М22 и једно саопштење са међународног скупа штампаног у изводу М34, на којима је кандидаткиња први аутор.

Рад у врхунском међународном часопису М21:

1. **Kristina Radinović**, Jadranka Milikić, Diogo M. F. Santos, Adriana Saccone, Serena De Negri, Biljana Šljukić, *Electroanalytical Sensing of Trace Amounts of As(III) in Water Resources by Gold–Rare Earth Alloys*, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 872, (2020), 114232. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114232>

Рад у истакнутом међународном часопису М22:

1. **Kristina Radinović**, Jadranka Milikić, Aldona Balčiūnaitė, Zita Sukackienė, Marko Bošković, Loreta Tamašauskaitė-Tamašiūnaitė and Biljana Šljukić, *Low Au-content CoAu electrodes for environmental applications*, *RSC Advances*, 12 (2022), 26134. <https://doi.org/10.1039/D2RA04828K>

Саопштење са међународног научног скупа штампан у изводу М34:

1. **Kristina Radinović**, Jadranka Milikić, Aldona Balčiūnaitė, Zita Sukackienė, Loreta Tamašauskaitė-Tamašiūnaitė and Biljana Šljukić, *Arsenic detection by cobalt gold electrodes in aqueous media*, 64th International conference for students of physics and natural science, Open readings 2021, 16-19 March, Vilnius, Lithuania.

4. Провера оригиналности докторске дисертације

Према процедуралној корекцији бр. 612-2380/1-23, од 28. јуна 2023. године, провера оригиналности ће се извршити након обнављања лиценце за софтвер iThenticate, а пре слања тезе и овог извештаја на коначно одобрење надлежној комисији Универзитета у Београду.

5. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидаткиње Кристине Н. Радиновић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужој научној области физичке хемије – контрола и заштита животне средине, физичке хемије материјала и физичке хемије – електрохемије. Део резултата докторске дисертације кандидаткиње публикован је у оквиру једног рада у врхунском међународном часопису (категорије М21), једног рада у истакнутом међународном часопису (категорије М22) и једног саопштење са међународног скупа штампаног у изводу М34. У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидаткиња испуњава услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује дисертацију мастер физикохемичара Кристине Н. Радиновић под називом „**Електрохемијска детекција и одређивање јона As^{3+} у узорцима воде помоћу електрода на бази легура и нанокмпозита злата**“, те предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати ову оцену Комисије, чиме би били испуњени сви услови за одобрење јавне одбране докторске дисертације и стицање звања кандидаткиње доктор физикохемијских наука.

У Београду, 03.08.2023. године

Чланови комисије:

др Гордана Ђирић-Марјановић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Ивана Стојковић Симатовић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Немања Гаврилов, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Јадранка Миликић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Далибор Станковић, доцент,
Универзитет у Београду – Хемијски факултет