

# УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

## НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Лазара Ракочевића, мастер физикохемичара

На V редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 09. 02. 2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мастер физикохемичара Лазара Ракочевића под насловом:

**„Електрокатализа реакције издвајања водоника на биметалним наноструктурама PdAu, PtAu и PdPt на угљеничним подлогама“**

Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са IV редовне седнице одржане 10. 12. 2021. год. (број одлуке 1948/2). На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 23. 12. 2021. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације (број одлуке 61206-5043/2-21). На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставно-научном већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### **A. Приказ садржаја дисертације**

Докторска дисертација Лазара Ракочевића написана је на 112 страна куцаног текста према Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду и садржи следећа поглавља: **Увод** (3 стране), **Циљ рада** (1 страна), **Теоријски део** (40 страна), **Експериментални део** (5 страна), **Резултати и дискусија** (45 страна), **Закључак** (2 стране), **Литература** (167 навода, 11 страна). Дисертација садржи и насловне странице на српском и енглеском језику (2 стране), страницу са информацијама о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), странице са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (2 стране), садржај (3 стране). Кандидат је уз текст дисертације приложио Биографију и изјаве прописане од стране Универзитета. Дисертација садржи укупно 56 слика и 5 табела, од којих су 43 слике и 5 табела оригинални резултат истраживања кандидата, 2 слике су урађене на основу доступне научне литературе и 11 слика је преузето из доступне научне литературе.

У поглављу **Увод** (1 слика) дат је осврт на значај истраживања ове тезе и садржи једно потпоглавље. У потпоглављу **Циљ истраживања** дефинисани су основни научни циљеви дисертације.

Поглавље **Теоријски део** састоји се од шест делова (18 слика). Први део **Водонична енергија** садржи теоријски увод о самом водонику и његовој употреби као енергенту, садржи два потпоглавља. У потпоглављу **Водоник** описан је сам елемент водоника, његове особине и његов потенцијал за коришћење као извор енергије. Потпоглавље **Горивне ћелије** садржи принцип рада горивних ћелија, њихову поделу и особине. Други део **Електрохемијске реакције** садржи дефиницију и теоријски увод у електрохемијске реакције и садржи три потпоглавља. Потпоглавље **Спор ступањ електрохемијске реакције** дефинише могуће ступњеве у електрохемијској реакцији и њихов утицај на укупну брзину реакције. У потпоглављу **Батлер-Фолмерова једначина** приказано је извођење ове једначине која одређује брзину реакције када је спор ступањ размена електрона, што је случај у системима испитиваним у овој тези. Потпоглавље **Тафелова једначина** даје поступак трансформисања Батлер-Фолмерове у Тафелову једначину и приказ Тафелових дијаграма и њихов значај. Трећи део **Реакција издвајања водоника** односи се на саму реакцију издвајања водоника која је предмет ове тезе и садржи четири потпоглавља. Потпоглавље **Механизам реакције издвајања водоника** приказује могуће ступњеве у реакцији и механизам реакције који зависи од присутних ступњева. Потпоглавље **Реакција Фолмера као спор ступањ** даје извођење битних једначина у случају када је Фолмеров ступањ спор. Потпоглавље **Реакција Тафела као спор ступањ** даје извођење битних једначина у случају када је Тафелов ступањ спор. Потпоглавље **Реакција Хејровског као спор ступањ** даје извођење битних једначина у случају када је ступањ Хејровског спор. Четврти део **Електрокатализа** дефинише појам електрокатализе и од чега електрокатализа зависи, садржи једно потпоглавље. Потпоглавље **Електрокатализа реакције издвајања водоника** даје приказ вулканских кривих, као и објашњење геометријских и електронских ефеката који узрокују катализу или инхибицију реакције издвајања водоника. Пети део **Електрокатализа на испитиваним подлогама** садржи преглед литературе за сличне системе и материјале који су испитивани у овој тези, садржи осам потпоглавља. Потпоглавље **Угљеничне подлоге GC и графен** садржи преглед литературе у којој је испитивана електрокатализа реакције водоника на чистом стакластом угљенику и чистом графену. Потпоглавље **Злато на угљеничним подлогама** садржи преглед литературе у којој је испитивана електрокатализа реакције издвајања водоника на чистом злату депонованом на неку угљеничну подлогу. Потпоглавље **Платина на угљеничним подлогама** садржи преглед литературе у којој је испитивана електрокатализа реакције издвајања водоника на чистој платини депонованој на неку угљеничну подлогу. Потпоглавље **Паладијум на угљеничним подлогама** садржи преглед литературе у којој је испитивана електрокатализа реакције издвајања водоника на чистом паладијуму депонованом на неку угљеничну подлогу. У потпоглављима **PdAu на стакластом угљенику**, **PdPt на стакластом угљенику**, **PdAu на графену** и **PtAu на**

**графену** дат је преглед литературе за ове системе пошто су они испитивани у оквиру ове тезе. Шести део **Коришћене експерименталне технике** описује експерименталне технике које су коришћене у изради ове тезе и садржи пет потпоглавља. У потпоглављу **Микроскопија атомских сила (AFM)** дат је детаљан опис инструмента и принципа рада AFM-а који је коришћен за добијање морфолошких особина површине припремљених електрода. У потпоглављу **Скенирајућа електронска микроскопија (SEM)** дат је детаљан опис инструмента и принципа рада SEM-а који је коришћен за добијање слике површине на великим увећањима и одређивање морфолошких особина површине. У потпоглављу **Фотоелектронска спектроскопије X-зрака (XPS)** дат је детаљан опис инструмента и принципа рада XPS-а који је коришћен за одређивање елементалног састава површине, хемијских веза у којима се елементи налазе и њиховог електронског окружења. У потпоглављу **Циклична и линеарна волтаметрија (CV, LV)** дат је детаљан опис инструмента и принципа рада линеарне и цикличне волтаметрије које су коришћени за електрохемијску карактеризацију електрода, као и за испитивање њихових електрокаталитичких особина и активности. У потпоглављу **Хроноамперометрија (CA)** дат је детаљан опис инструмента и принципа рада хроноамперометрије која је коришћена за испитивање стабилности добијених електрода.

Поглавље **Експериментални део** садржи експерименталне услове током мерења и састоји се из седам потпоглавља (1 слика). У потпоглављу **Синтеза графена** описан је поступак коришћен за синтезу графена. Потпоглавље **Припрема електрода** садржи детаљан процес начина припреме електрода коришћених у овој тези. Потпоглавља **Микроскопија атомских сила (AFM)**, **Скенирајућа електронска микроскопија (SEM)**, **Фотоелектронска спектроскопије рендгенских зрака (XPS)** и **Електрохемијска мерења** садрже експерименталне услове и типове инструмента коришћених током ових мерења. У потпоглављу **Коришћене хемикалије** наведене су све хемикалије коришћене у току рада и њихови произвођачи.

Поглавље **Резултати и дискусија** састоји се из четири дела (36 слика, 5 табела) у којима су приказани резултати проистекли из ове докторске дисертације. Резултати су детаљно објашњени и упоређени са литературним подацима. У првом делу **PdAu на стакластом угњенику** дати су резултати за први испитивани систем и састоји се од пет потпоглавља. У потпоглављу **AFM слике површина Au/GC и PdAu/GC електрода** приказани су и дискутовани AFM резултати који се односе на величину депонованих честица, њихову хрпавост и покривеност супстрата депозитом. У потпоглављу **XPS спектри Au/GC и PdAu/GC електрода** приказани су и дискутовани XPS резултати који се односе на елементални састав површине, присутне хемијске везе и оксидациона стања депозита. У потпоглављу **Циклична волтаметрија Au/GC и PdAu/GC електрода** приказани су и дискутовани резултати који се односе на електрохемијску карактеризацију електрода. У потпоглављу **Реакција издвајања водоника на Au/GC и PdAu/GC електродама** приказани су и дискутовани резултати који се односе на активност реакције издвајања

водоника, одговарајуће Тафелове дијаграме и механизам по којем се одвија реакција. У потпоглављу **Стабилност PdAu/GC електроде** приказани су и дискутовани резултати који се односе на стабилност електроде током дужег временског периода. У другом делу **PdPt на стакластом угњенику** дати су резултати за први испитивани систем и састоји се од пет потпоглавља. У потпоглављу **AFM слике површина Pt/GC и PdPt/GC електрода** приказани су и дискутовани AFM резултати који се односе на величину депонованих честица, њихову храпавост и покривеност супстрата депозитом. У потпоглављу **XPS спектри Pt/GC и PdPt/GC електрода** приказани су и дискутовани XPS резултати који се односе на елементални састав површине, присутне хемијске везе и оксидациона стања депозита. У потпоглављу **Циклична волтаметрија Pt/GC и PdPt/GC електрода** приказани су и дискутовани резултати који се односе на електрохемијску карактеризацију електрода. У потпоглављу **Реакција издвајања водоника на Pt/GC и PdPt/GC електродама** приказани су и дискутовани резултати који се односе на активност реакције издвајања водоника, одговарајуће Тафелове дијаграме и механизам по којем се одвија реакција. У потпоглављу **Стабилност PdPt/GC електроде** приказани су и дискутовани резултати који се односе на стабилност електроде током дужег временског периода. У трећем делу **PdAu на графену** дати су резултати за први испитивани систем и састоји се од пет потпоглавља. У потпоглављу **AFM слике површина Au/rGO и PdAu/rGO електрода** приказани су и дискутовани AFM резултати који се односе на величину депонованих честица, њихову храпавост и покривеност супстрата депозитом. У потпоглављу **XPS спектри Au/rGO и PdAu/rGO електрода** приказани су и дискутовани XPS резултати који се односе на елементални састав површине, присутне хемијске везе и оксидациона стања депозита. У потпоглављу **Циклична волтаметрија PdAu/rGO електроде** приказани су и дискутовани резултати који се односе на електрохемијску карактеризацију електрода. У потпоглављу **Реакција издвајање водоника на Au/rGO и PdAu/rGO електродама** приказани су и дискутовани резултати који се односе на активност реакције издвајања водоника, одговарајуће Тафелове дијаграме и механизам по којем се одвија реакција. У потпоглављу **Стабилност PdAu/rGO електроде** приказани су и дискутовани резултати који се односе на стабилност електроде током дужег временског периода. У четвртном делу **PtAu на графену** дати су резултати за први испитивани систем и састоји се од пет потпоглавља. У потпоглављу **SEM/EDS карактеризација Au/rGO и PtAu/rGO електрода** приказани су и дискутовани SEM резултати који се односе на морфологију површине и расподелу величина депонованих честица. У потпоглављу **XPS спектри Au/rGO и PtAu/rGO електрода** приказани су и дискутовани XPS резултати који се односе на елементални састав површине, присутне хемијске везе и оксидациона стања депозита. У потпоглављу **Циклична волтаметрија Au/rGO и PtAu/rGO електрода** приказани су и дискутовани резултати који се односе на електрохемијску карактеризацију електрода. У потпоглављу **Реакција издвајања водоника на rGO, Au/rGO и PtAu/rGO** приказани су и дискутовани резултати који се односе на активност реакције издвајања водоника, одговарајуће Тафелове дијаграме и механизам по којем се одвија реакција. У

потпоглављу **Стабилност PtAu/rGO** електроде приказани су и дискутовани резултати који се односе на стабилност електроде током дужег временског периода.

У поглављу **Закључак** су сумирани закључци до којих се дошло на основу резултата приказаних у оквиру ове докторске дисертације.

У поглављу **Литература** су наведене цитиране референце по редоследу њиховог појављивања.

## **Б. Опис резултата дисертације**

У првом систему, PdAu наноструктуре су припремљене електрохемијском депозицијом злата на стакласти угљеник, а затим додавањем паладијума спонтаном депозицијом. AFM слике су показале да је за ову электроду, покривеност GC-а са депонованим Au честицама износи око 65%, док је укупна покривеност са PdAu депозитом (након додавања Pd) око 70%. XPS спектри овако припремљених PdAu наноструктура су показали да се депоновано злато налази у металном стању, Au<sup>0</sup>, док је Pd делимично оксидован и налази се делом у металном стању, Pd<sup>0</sup>, и делом у оксидованом стању, PdO<sub>x</sub>, неспецифичне стехиометрије. Атомски проценти злата и паладијум су мали, и износе 1,0% Au и 1,2% Pd. Карактеризација помоћу цикличне волтаметрије је показала да је покривеност GC-а са честицама Au око 68%, што се слаже са вредностима добијеним са AFM слика, док је покривеност само са Pd 48%. Активност 10 мин Au/GC за HER превазилази активност чистог Au(111), а активност 30 мин PdAu/GC је већа од активности чисте биметалне Pd/Au(111) електроде. Почетни потенцијал који је близак 0,0 V, низак Тафелов нагиб од -60 mV/dec, и добра стабилност 30минPd/10минAu/GC електроде, значе да је она добар кандидат као катализатор за HER.

Код другог система, PdPt наноструктуре су припремљене електрохемијском депозицијом платине на стакласти угљеник, а затим додавањем паладијума спонтаном депозицијом. AFM слике су показале да је за ову электроду, покривеност GC-а са депонованим Pt честицама око 89% , док је укупна покривеност са PdPt депозитом (након додавања Pd) око 91%. XPS спектри овако припремљених PdAu наноструктура су показали да се депонована платина налазу у металном стању, Pt<sup>0</sup>, и оксидованом PtO стању, док је депоновани Pd углавном у оксидованом PdO стању. Атомски проценти платине и паладијума су 4,8% Pt и 0,8% Pd. Почетни потенцијал за издвајање водоника је -0,050 V за Pt/rGO электроду и -0,062 V за PdPt/rGO электроду. Тафелов нагиб има вредности од -30 mV/dec за Pt/rGO электроду, и исту вредност за PdPt/rGO электроду. Додатак Pd не побољшава активност електроде, чак даје и благу инхибицију. Добијена активност може да се упореди са комерцијалним Pt/C електродама, те овакав систем не показује потенцијал као катализатор за HER, који би довео до неког побољшања у односу на већ постојеће катализаторе.

За трећи систем, PdAu/rGO електрода је припремљена узастопном спонтаном депозицијом Au, а затим Pd на подлогу од графена. AFM слике су показале да је величина Au честица између 20 и 50 nm, док је величина PdAu честица од 30 до 70 nm. Честице се налазе углавном на ивицама листова графена. XPS резултати за графен су показали да је у питању редуковани графен оксид. Са детаљних XPS спектра, види се да је депоновано злато у металном, Au<sup>0</sup>, облику, док се Pd налази у металном, Pd<sup>0</sup>, и оксидном PdO стању. Атомски проценти добијени помоћу XPS-а су 0,2% Au, и 1,1% Pd. Током дужег периода издвајања водоника, PdAu наночестице се највероватније преуређују, услед чега долази до “активације електроде“. Овај процес активације проузрокује пораст активности на почетку, након чега долази до њене стабилизације. Почетни потенцијал PdAu/rGO од -0,01 V, низак Тафелов нагиб од -46 mV/dec, и добра стабилност чине овај систем погодним за употребу као катализатор за HER.

У четвртој систему, PtAu/rGO електрода је припремљена узастопном спонтаном депозицијом Au, а затим Pt на подлогу од графена. SEM слике показују насумично распоређене, неуниформне PtAu наночестице, које се налазе углавном на ивицама rGO листова. EDS и XPS анализе потврђују веома ниске атомске проценте депонованог злата од 0,6% и платине од 0,3%. Почетни потенцијал за HER на PtAu/rGO је -0,005 V, а Тафелов нагиб износи -38 mV/dec. Велика активност, мали удео племенитих метала и добра стабилност PtAu/rGO електроде, чини је погодним катализатором за HER.

## **В. Упоредна анализа резултата са налазима из литературе**

Иако су метали из платинске групе, пре свега платина и паладијум, најбољи катализатори за реакцију издвајања водоника, због мале распрострањености у природи и високе цене, они се првенствено користе за фундаментална истраживања, а мање у пракси. Због тога су најновија истраживања усмерена на смањење количине ових метала у катализатору, тако што се на погодну подлогу наносе само различите наночестице ових метала, а да активност ових катализатора остане иста или још боља. За добијање практичнијих катализатора све је више истраживања високо проводних, јефтених материјала који би служили као подлога за наночестице или легуре скупљих племенитих метала. Материјали на бази угљеника имају пуно предности, укључујући њихову приступачност, ниску цену и стабилност у киселим и алкалним срединама. За HER катализу од предности је још и њихова висока активна површина, висока проводљивост електрона и погодност за депозицију и раст мањих металних наночестица. Активност различитих угљеничних материјала пре свега стакластог угљеника (GC), и графена је већ испитана, и пронађено је да они могу бити погодни као подлога за депоновање наночестица племенитих метала и да услед синергије са депонованим металима дају још бољу катализу.

Злато депоновано у нанокластерима на подлогу од GC-а показује знатну активност за HER која је практично једнака активност чистог Au(111) [1]. Након циклизирања тако припремљене електроде долази до активације, тј. до још већег повећања активности која

након тога превазилази активност Au(111) [2]. У скорије време, нанопорозна острва Au/GC у киселој средини су показала изузетну активност готово једнаку са чистом Pt [3].

Услед позитивног синергетског ефекта на катализу HER, систем који се састоји од PdAu биметалних наночестица на угљеничној подлози је такође привукао пажњу задњих година. Активност PdAu наночестица углавном зависи од броја активних места са слабијом адсорпцијом водоника. Имајући ово у виду, тренутна истраживања су усмерена на дизајн различитих PdAu наноструктура која се састоје од погодних места за адсорпцију водоника, користећи различите физичке, хемијске и електрохемијске методе. Сферне наночестице PdAu легура на угљеничној подлози, просечне величине од 2–5 nm синтетисаних из њихових металних жица користећи плазма спатеринг [4] показале су добру електрохемијску стабилност. Биметални PdAu/C/GC катализатори припремљени електродепозицијом Pd на претходно припремљену Au/C/GC подлогу добијену катјонском адсорпцијом злата, показале су зависност активности издвајања водоника од покривености површине паладијумом [5]. Атомски прецизни Pd<sub>x</sub>Au<sub>y</sub> нанокластери добијени допирањем Pd на нанокластере злата, показали су зависност HER активности од атомске фракције присутних метала [6].

Такође, испитивање електрокатализе различитих PtAu наночестица на подлози од угљеничних материјала је честа у литератури. Неки од таквих система су: „core-shell“ наночестице Au@Pt NP<sub>s</sub>/rGO синтетисане једноставном воденом методом [7], AuPt/rGO, катализатори добијени помоћу слојевитог раста Pt монослојева на Au наночестице користећи електрохемијске методе [8], AuPt@Pt нанокристали добијени додавањем Au и Pt соли у rGO суспензију [9], и AuPt нанодендритске легуре на rGO [10] синтетисане редукацијом помоћу јонске течности.

[1] Y. Mukouyama, Y. Fukuda, H. Okada, M. Saito, T. Nishimura, Fabrication of uniformly sized gold nanoparticles on glassy carbon by simple electrochemical method, *Journal of the Electrochemical Society*, 166 (2019), D669-D675. <https://doi.org/10.1149/2.1231913jes>

[2] Y. Wang, Y. Sun, H. Liao, S. Sun, S. Li, J.W. Ager III, Z.J. Xua, Activation effect of electrochemical cycling on gold nanoparticles towards the hydrogen evolution reaction in sulfuric acid, *Electrochim Acta*, 209 (2016), 440-447. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.095>

[3] L.P. Hernandez-Saravia, A. Sukeri, M. Bertotti, Fabrication of nanoporous gold-islands via hydrogen bubble template: an efficient electrocatalyst for oxygen reduction and hydrogen evolution reactions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (2019), 5001-5009. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.186>

[4] X. Hua, J. Shi, J. Zhang, W. Tang, H. Zhu, X. Shen, N. Saito, One-step facile synthesis of carbon-supported PdAu nanoparticles and their electrochemical property and stability, *Journal of Alloys and Compounds*, 619 (2015), 452-457. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.09.051>

- [5] F.A. Al-Odail, A. Anastasopoulos, B.E. Hayden, The hydrogen evolution reaction and hydrogen oxidation reaction on thin film PdAu alloy surfaces, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 12 (2010), 11398-11406. <https://doi.org/10.1039/B924656H>
- [6] W. Choi, G. Hu, K. Kwak, M. Kim, D. Jiang, J.-P. Choi, D. Lee, Effects of metal-doping on hydrogen evolution reaction catalyzed by MAu<sub>24</sub> and M<sub>2</sub>Au<sub>36</sub> nanoclusters (M = Pt, Pd), *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10 (2018), 44645-44653. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b16178>
- [7] Y.-C. Shi, S.-S. Chen, J.-J. Feng, X.-X. Lin, W. Wang, A.J. Wang, Dicationic ionic liquid mediated fabrication of Au@Pt nanoparticles supported on reduced graphene oxide with highly catalytic activity for oxygen reduction and hydrogen evolution. *Applied Surface Science*, 441 (2018), 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.240>
- [8] Y. Shi, T.T. Zhai, Y. Zhou, W.-X. Xu, D.-R. Yang, F.-B. Wang, X.-H. Xia, Atomic level tailoring of the electrocatalytic activity of Au-Pt core-shell nanoparticles with controllable Pt layers toward hydrogen evolution reaction, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 819 (2018), 442–446. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.12.006>
- [9] F.-Q. Shao, X.-X. Lin, J.-J. Feng, J. Yuan, J.-R. Chen, A.-J. Wang, Simple fabrication of core-shell AuPt@Pt nanocrystals supported on reduced graphene oxide for ethylene glycol oxidation and hydrogen evolution reactions, *Electrochimica Acta*, 219 (2016), 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.09.158>
- [10] J.-J. Feng, L.-X. Chen, X. Ma, J. Yuan, J.-R. Chen, A.-J. Wang, Q.-Q. Xu, Bimetallic AuPt alloy nanodendrites/reduced graphene oxide: One-pot ionic liquid-assisted synthesis and excellent electrocatalysis towards hydrogen evolution and methanol oxidation reactions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (2017), 1120–1129. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.066>

## Г. Научни радови и саопштења објављени из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидата Лазара Ракочевића до сада је објављен један рад у врхунском међународном часопису (M21), два рада у истакнутом међународном часопису (M22) и три саопштења на међународним скуповима штампана у изводу (M34).

Рад у врхунском часопису (M21):

1. **Lazar Rakočević**, Svetlana Štrbac, Irina Srejić, Hydrogen evolution on Au/GC and PdAu/GC nanostructures in acid solution: AFM, XPS, and electrochemical study, *International Journal of Hydrogen Energy*, (2021), 46(13), 9052–9063. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.001>

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):



1. **Lazar Rakočević**, Ivana Stojković-Simatović, Aleksandar Maksić, Vladimir Rajić, Svetlana Štrbac, Irina Srejić, PtAu Nanoparticles Supported by Reduced Graphene Oxide as Highly Active Catalyst for Hydrogen Evolution, *Catalysts*, (2022), 12(1), 43. <https://doi.org/10.3390/catal12010043>
2. **Lazar Rakočević**, Irina Srejić, Aleksandar Maksić, Jelena Golubović, Svetlana Štrbac. Hydrogen Evolution on Reduced Graphene Oxide-Supported PdAu Nanoparticles, *Catalysts*, (2021), 11(4), 481. <https://doi.org/10.3390/catal11040481>

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34):

1. **Lazar Rakočević**, Ivana Stojković-Simatović, Aleksandar Maksić, Vladimir Rajić, Svetlana Štrbac, Irina Srejić, Hydrogen evolution on graphene supported PtAu nanoparticles, Nineteenth Young Researchers Conference Materials Science and Engineering, Beograd, 2021.
2. **Lazar Rakočević**, Irina Srejić, Aleksandra Maksić, Vladimir Rajić, Mirjana Novaković, Svetlana Štrbac, Characterizing Graphene Supported PtAu and PdAu Nanoparticles with SEM, TEM and XPS for use as Catalysts for Hydrogen Evolution Reaction, Conference on Electron Microscopy of Nanostructures ELMINA2022, Beograd, 2022.
3. **Lazar Rakočević**, Irina Srejić, Aleksandar Maksić, Jelena Golubović, Svetlana Štrbac, Graphene supported PdAu nanoparticles as catalyst for hydrogen evolution reaction, 23rd Annual Conference on Material Science YUCOMAT 2022, Herceg Novi, 2022.

## Д. Провера оригиналности докторске дисертације

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Електрокатализа реакције издвајања водоника на биметалним наноструктурама PdAu, PtAu и PdPt на угљеничним подлогама“ аутора **Лазара Ракочевића**, констатујемо да утврђено подударање текста износи **7%**. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури и изјава прописаних од стране Универзитета, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## Б. Закључак комисије

На основу резултата презентованих у докторској дисертацији Комисија је закључила да су резултати кандидата Лазара Ракочевића, мастер физикохемичара, оригинални и представљају значајан научни допринос у области физичке хемије материјала и електрохемије. Из резултата дисертације кандидата проистекла су три научна рада, један у врхунском часопису (M21) и два у истакнутом међународном часопису (M22) и три саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидат 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 предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад Лазара Ракочевића под насловом: „Електрокатализа реакције издвајања водоника на биметалним наноструктурама PdAu, PtAu и PdPt на угљеничним подлогама“ прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физикохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

Комисија:

---

Др Игор Пашти, редовни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

---

Др Биљана Шљукић Паунковић, редовни професор Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду

---

Др Александар Максић, научни сарадник Института за Нуклеарне Науке Винча Универзитета у Београду