

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На IV редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 16.03.2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Жељка В. Мравика, мастер физикохемичара, под насловом:

„Физикохемичка својства графен-оксида, 12-волфрамофосфорне киселине и њихових композита озрачених јонским сноповима средњих и високих енергија“.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са XXII ванредне седнице од 29.09.2020. 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 29.10.2020. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидата Жељка В. Мравика написана је на српском језику, на 114 страна А4 формата куцаног текста (фонт Times New Roman величине 12 pt и прореда 1). Дисертација је припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација се састоји из 7 поглавља: **Увод** (14 страна), **Циљ истраживања** (1 страна), **Експериментални део** (5 страна), **Резултати и дискусија** (65 страна), **Закључци** (2 стране) и **Литература** (10 страна). Поред наведеног, дисертација садржи и **Насловну страну на српском језику** (1 страна), **Насловну страну на енглеском језику** (1 страна), **Списак ментора и чланова комисије** (1 страна), **Захвалницу** (1 страна), **Сажетак на српском језику** (1 страна), **Сажетак на енглеском језику** (1 страна), **Садржај** (2 стране), **Биографију са библиографијом кандидата** (5 страна) и **Прилоге прописане правилима Универзитета о подношењу докторске дисертације на одобравање** (4 стране).

У дисертацији је приказано 72 слике (9 у Уводу, 2 у Експерименталном делу и 61 у Резултатима и дискусији) и 4 табеле (све у Резултатима и дискусији) од којих 63 слике и 4 табеле приказују истраживање кандидата.

У поглављу **Увод** је дат кратак преглед коришћених материјала, метода модификације и спроведеног истраживања. Потом је описан значај графен-оксида (ГО) као дводимензионалног угљеничног наноматеријала у савременим научним истраживањима. Наглашен је значај променљиве површинске хемије у примени ГО и начини модификације ГО. Приказани су различити модели структуре ГО, њена комплексност и начини на које увођење дефеката утиче на ГО. Наглашена је примена ГО у електрохемичким суперкондензаторима са описом начина рада и примене. Као начин модификације материјала издвојено је озрачивање јонским сноповима где су дискутовани општи ефекти које јонски снопови уводе у материјал и очекиване промене код ГО. Такође, дат је преглед својстава полиоксометалата и хетерополикиселина са нагласком на њиховој структури, реверзибилним оксидоредукционим реакцијама, могућностима модификације и примени у синтези композита.

У поглављу **Циљ истраживања** описани су претходни резултати помоћу којих је постављен основ истраживања у докторској дисертацији. Као основни делови дисертације издвојени су озрачивање 12-волфрамофосфорне киселине (ВФК), ГО и ГО/ВФК композита јонским сноповима различитог типа, флуенса и енергија.

У поглављу **Експериментални део** описане су методе модификације и карактеризације коришћених узорак. Наведени су експериментални услови озрачивања јонским сноповима. Описани су поступци синтезе ГО, ВФК и њихових композита. Приказани су и начини карактеризације узорак методама инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (ATR-FTIR), Раманске спектроскопије, фотоелектронске спектроскопије са X зрацима (XPS), ултраљубичасте/видљиве спектроскопије са дифузионом рефлексијом (UV-VIS DRS), рендгенске дифракције (XRD), профилографије, мерења угла квашења, скенирајуће електронске микроскопије (SEM), микроскопије атомских сила (AFM), цикличне волтаметрије, галваностатског пуњења и пражњења и електрохемијске импедансне спектроскопије у чврстом стању (EIS). Описан је и начин спровођења прорачуна коришћењем софтверског пакета SRIM (Stopping and Range of Ions in Matter) и iTS (Inelastic thermal spike).

У делу дисертације под називом **Резултати и дискусија** приказани су добијени резултати и њихова веза са досадашњим истраживањима. На почетку је приказана дискусија и аргументи о одабиру супстрата и дебљини танких филмова ВФК у циљу озрачивања јонским сноповима угљеника енергије 10 keV. У наставку су приказани резултати испитивања FTIR и Раманске спектроскопије, електронске структуре, хемијских промена и електрохемијских својстава филма ВФК дебљине 120 nm озраченог јонским сноповима угљеника енергије 10 keV. Корелација структуре ВФК са параметрима јонских снопова различитих енергија извршена је методама FTIR и Раманске спектроскопије где је ВФК модификована применом јонских снопова различитих врста и енергија. Степен структурне модификације повезан је у наставку са параметрима SRIM прорачуна. У следећем делу дисертације приказани су резултати озрачивања ГО јонским сноповима водоника енергије 15 keV где је на почетку испитана површинска хемија почетних узорак ГО и извршено приписивање XPS пикова и FTIR трака одговарајућим функционалним групама. У случају озрачених узорак, промена површинске хемије повезана је са флуенсом јонских снопова. Раманска спектроскопија је у наставку искоришћена за описивање утицаја јонских снопова водоника енергије 15 keV на структуру ГО. Ефекти озрачивања јонским сноповима су детаљније објашњени помоћу iTS и SRIM прорачуна. У овом делу су такође испитана електрична својства озраченог ГО као и његова примена у електрохемијским суперкондензаторима. Резултати испитивања физикохемијских својстава ГО модификованог у оквиру целе запремине узорка коришћењем јонских снопова ксенона енергије 150 MeV приказани су у наставку дисертације. У оквиру овога је испитана површинска хемија, структура, морфологија као и капацитет складиштења наелектрисања ових узорак. Следеће поглавље приказује резултате испитивања својстава композита ГО и ВФК. У првом делу су приказани резултати анализе структуре, морфологије, електричних и електрохемијских својстава почетних композита ГО/ВФК. Такође су приказани и резултати испитивања електрохемијских својстава ГО/ВФК композита озрачених јонским сноповима азота енергије 75 keV. У последњем делу поглавља дати су резултати физикохемијских својстава ГО/ВФК композита озрачених јонским сноповима ксенона енергије 150 MeV.

У поглављу **Закључци** дати су најважнији резултати дисертације и сумирани су закључци који су проистекли из добијених резултата.

Поглавље **Литература** представља преглед научних радова, књига и других извора према редоследу појављивања у тексту који су коришћени при изради докторске дисертације.

2. Кратак преглед остварених резултата

У овој дисертацији озрачивање јонским сноповима средњих и високих енергија искоришћено је за модификацију физичкохемијских својстава ГО, ВФК и њихових композита ради испитивања утицаја изазваних промена на примену ових материјала у електрохемијским суперкондензаторима.

У ту сврху спроведена су озрачивања јонским сноповима појединачних компонената и њихових композита са различитим уделима конституената. При томе је у овој дисертацији по први пут извршена модификација хетерополикиселина јонским сноповима. Сразмерно типу и дебљини узорака коришћени су снопови јона различитих врста и енергија (од 10 keV C⁺ до 710 MeV Bi).

У првом делу рада је испитан утицај јонских снопова угљеника енергије 10 keV на ВФК дебљине 120 nm нанете на Si/Pt супстрат. Спектроскопске методе су утврдиле структурне промене Кегинових анјона које су зависне од примењеног флуенса. При најнижем флуенсу, само је симетрија Кегинових анјона била нарушена док су већи флуенси изазвали значајне структурне промене. При средњим флуенсима, ВФК је трансформисана у структуре сличне онима постигнутим термичким третманом на 600 °C уз повећано кидање веза у односу на термички третиран узорак. Највећи флуенс је изазвао повећану интерконекцију мреже WO₆ октаедара и PO₄ тетраедара. Промене морфологије које укључују повећање величине зрна и њихово стапање при највећем флуенсу такође су примећене. Ове промене су праћене променама електронске структуре и хемијског стања (степенa редукције) при чему је утврђено увођење већег броја терминалних W=O_d веза. Структурне промене су повезане са електрохемијским својствима материјала где је показано да је мањи удео структурне модификације повољан за процесе литијације/делитијације. Узорци са већим бројем терминалних веза показали су бољу каталитичку активност ка реакцији издвајања водоника при чему је утврђено да кидање W-O-W веза изазива повећан број активних места.

У наставку је спроведена анализа утицаја јонских снопова различитог типа, енергије и флуенса на индивидуалне везе у Кегиновом анјону као и на круту мрежу Кегиновог анјона као целине. У циљу раздвајања утицаја подлоге и међусобне интеракције Кегинових анјона анализирани су узорци различитих дебљина: 120 nm као узорак код којег се очекује повећан утицај подлоге, што је и доказано путем UV-VIS DRS анализе, и 20 μm као узорак који је показао запремински (bulk) карактер. Рамански спектри почетних филмова ВФК дебљине 20 μm и 120 nm открили су разлике у симетрији Кегинових анјона које потичу од интеракција у bulk форми и при интеракцији са подлогом. Структурне промене праћене путем Раманске спектроскопије показале су директну везу са укупним бројем измештаја по атому (енг. displacement per atom – DPA) добијеним коришћењем SRIM прорачуна. Сразмерно DPA вредностима структура прелази из благо модификоване преко парцијално рекомбинованих мрежа волфрамата и фосфата (градивних јединица Кегиновог анјона) до структура налик волфрам-фосфатним бронзама добијеним за високе DPA вредности.

Утицај озрачивања јонским снопом на степен модификације површинске хемије, структуре и електричних својстава графен-оксида испитан је озрачивањем самостојећих папира ГО јонским сноповима водоника енергије од 15 keV при чему је флуенс вариран до максималне вредности од 2×10^{17} јона/cm² у циљу постизања различитог степена модификације. Спектроскопске методе су показале да долази до делимичне редукције ГО са повећањем флуенса при чему су слојеви ближи површини подложнији редукцији. Утврђено је да се површинске групе базалне равни ГО, алкокси и епокси, најлакше и у највећој мери редукују јонским сноповима водоника. Раманска спектроскопија дала је информацију о увођењу дефеката у структуру која је изнад 1×10^{16} јона/cm² врло значајна. На основу iTS прорачуна се могло закључити да електронске интеракције, због загревања решетке ГО до ~190 °C, могу допринети у одређеној мери десорпцији алкокси и епокси група, а да остатку структурних и промена површинске хемије на озраченом ГО вероватно доприносе нуклеарни губици. Испитана физичкохемијска својства повезана су са електричним својствима на

основу Никвистових дијаграма добијених EIS методом у чврстом стању. Промене отпорности материјала повезане су са структурним променама где је показано да је при мањем броју дефеката утицај десорпције функционалних група доминантан уз повећану проводљивост материјала. Повећање флуенса утицало је на sp^2 регионе, последично нарушавајући проводљивост материјала. Испитивање ГО озраченог јонским сноповима средњих енергија у суперкондензаторима показало је да почетни и озрачени узорци имају врло ниске вредности капацитивности које потичу од лоше проводљивости као и мале дубине продирања јонских снопова.

Приликом озрачивања ГО јонским сноповима ксенона енергија 150 MeV остварена је модификација целокупне запремине материјала. Анализа површинске хемије показала је постепену редукацију ГО са повећањем флуенса при чему је примећена селективна редукација различитих функционалних група. Озрачивање јонским сноповима ксенона енергије 150 MeV довело је до повећања хидрофилности узорка и смањеног растојања између слојева. Раманска спектроскопија је показала постепене структурне промене које укључују увођење дефеката као и појаву sp структура при већим флуенсима. Испитивање морфологије озраченог ГО показало је таласасту структуру у коју су уведене шупљине настале проласком јона. Побољшање капацитивности озраченог ГО је утврђено галваностатским циклирањем уз раст вредности од 0,8 до 40 F/g од почетног до озраченог узорка. Ипак, поређењем са термички третираним ГО, примећен је значајан омски отпор код озрачених узорака услед појаве јонских трагова.

Код почетних ГО/ВФК композита додаток ВФК не утиче у великој мери на стварање дефеката услед чега нема ни промена проводљивости. Мања импеданса узорка ГО/ВФК композита са 13% ВФК повезана је са делимичном редукацијом материјала услед интеракције са ВФК. Редукација ГО је примећена и у озраченим композитима где је анализом површинске хемије ГО утврђено је да су потребни већи флуенси за постизање истих степена модификације. Електрохемијска мерења показала су побољшана својства озрачених композита у односу на озрачен ГО при већим флуенсима озрачивања, што је повезано са израженијим повезивањем озрачене ВФК са ГО и са осталим ањјонима.

Резултати дисертације дају темељан увид у утицај озрачивања јонским сноповима на физичкохемијска својства ГО, ВФК и њихових композита. При томе сложеност система, у смислу могућих интеракција између компонената, и нетермодинамичка природа ефеката који прате процес озрачивања јонским сноповима, дају простор процени различитих доприноса, међу којима посебно треба имати у виду промену електронских својстава материјала.

3. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Јесноставан начин синтезе, који обухвата опсежну оксидацију јефтиног графитног прекурсора, умерено велика специфична површина и могућност лаког дисперговања и ексфолијације у воденим растворима главна су одлика овог дводимензионалног материјала насталог формирањем ковалентних веза између атома угљеника и кисеоника на графенском монослоју [1]. Овакав тип структуре има занимљиву површинску хемију која директно утиче на физичкохемијска својства, односно примену ГО [2]. Хидрофилност графен-оксида која потиче од површинских кисеоничних група олакшава његово хемијско процесирање. Истовремено, површинске кисеоничне групе, посебно оне на базалној равни, неповољно утичу на електрична својства материјала. Наиме, кисеоничне групе нарушавају π електронску коњугацију ароматичних прстенова присутних у графенским слојевима, при чему се електрична проводљивост материјала драстично нарушава. Контролисана редукација ГО доводи до боље проводљивости и транспарентности материјала. Стога је поступак редукације саставни део припреме овог материјала за употребу у електрохемијским изворима енергије и уопште у електроници [3]. Површинске кисеоничне групе као и дефекти и ивице представљају погодна места за повезивање оксидних материјала за примену у складиштењу

наелектрисања. Редокс активни нанокластери полиоксометалата (ПОМ) и најизраженије хетерополикиселина (ХПК) показали су се као погодна једињења за синтетисање композита са ГО и редукованим ГО при чему се користе и Фарадејски процеси ПОМ као и електрохемијски двослој ГО [4]. Удео ХПК у ГО/ВФК нанокompозиту представљен је у литератури као кључни фактор за подешавање интеракције између конституената при чему повезивање у нанокompозит мења физичкохемијска својства оба конституента [5]. У овој дисертацији синтетисани су композити ГО/ВФК са различитим уделима конституената. Код почетних ГО/ВФК композита додаток ВФК не утиче у великој мери на стварање дефеката услед чега нема ни промена проводљивости. Мања импеданса узорка ГО/ВФК композита са 13% ВФК повезана је са делимичном редуkcијом материјала услед интеракције са ВФК.

Озрачивање материјала јонским сноповима представља добро развијену технику код које се убрзани јонски снопови користе за структурну модификацију материјала, мењање његове морфологије и осталих физичкохемијских својстава [6]. Модификација јонским сноповима ослања се на варирање параметара јонског снопа (енергија, флуенс, тип јона, густина струје) како би се постигли жељени ефекти. Раније је а показано је да јони угљеника 80 MeV изазивају структурне промене на ГО при чему је примећен повећан број дефеката са растом флуенса [7]. Коришћени су и 100 keV H^+ , 350 keV N^+ и 200 keV Ar^+ јонски снопови за модификацију ГО при чему је примећена редуkcија материјала и повећање дефеката [8]. Показано је да јони аргона изазивају промене које су најпогодније за примену у суперкондензаторима што је објашњено највећим утицајем електронских губитака енергије у односу на остале јонске снопове. У овој дисертацији спроведена је темељна анализа утицаја озрачивања јонским сноповима водоника енергије 15 keV на површинску хемију, структуру и електрична својства ГО при чему је различит степен модификације постигнут варирањем флуенса. Утврђено је да се јонским сноповима може постићи селективна редуkcија површинских група ГО и постепено увођење дефеката при чему је равнотежа између редуkcије и броја дефеката круцијална за постизање погодних електричних својстава материјала. У дисертацији је такође приказан позитиван утицај јонских снопова ксенона енергија 150 MeV на капацитет складиштења наелектрисања у електрохемијским суперкондензаторима што је повезано са променама морфологије, површинске хемије и структуре.

Својства ПОМ, првенствено редокс стања, зависе од њихове структуре. Делимична структурна модификација ХПК (промене симетрије без раскидања веза) могућа је путем интеракције Кегиновог ањона са различитим супстратима. Високо-дисперговане ХПК на графенским слојевима функционализованим алкил и кисеоничним групама показале су симетријске промене зависне од удела ХПК у композиту [9]. У овој дисертацији јасно су утврђене структурне промене које настају при интеракцији Кегиновог ањона са подлогом и при међусобној интеракцији у bulk форми. У литератури је такође позната и структурна промена ХПК ка оксидима мешовитих валенци – бронзама, што се обично постиже термичким третманом ХПК на повишеним температурама. Стварање дехидратисаног и депротонованог Кегиновог ањона при термичком третману ГО-ВФК нанокompозита на 500 °C у аргону доприноси бољој интеракцији између дефеката ГО насталих термичким третманом и ВФК што је резултовало значајно бољој способности електрохемијског складиштења наелектрисања [10]. У овој дисертацији је први пут озрачивање јонским сноповима искоришћено за модификацију својстава ХПК. Структурне промене су повезане са електрохемијским својствима материјала где је показано да је мањи удео структурне модификације повољан за процесе литијације/делитијације. Узорци са већим бројем терминалних веза показали су бољу каталитичку активност ка реакцији издвајања водоника при чему је утврђено да кидање W-O-W веза изазива повећан број активних места. Озрачивањем ВФК јонским сноповима различитих врста и енергија утврђено је да сразмерно ДРА вредностима структура прелази из благо модификоване преко парцијално рекомбинованих до структура налик волфрам-фосфатним бронзама добијеним за високе ДРА вредности.

У овој дисертацији су јонски сноповови искоришћени и за модификацију својстава ГО/ВФК композита. Електрохемијска мерења показала су побољшана својства озрачених композита у односу на озрачен ГО при већим флуенсима озрачивања, што је повезано са повећаним повезивањем озрачене ВФК са ГО и са осталим ањонима ВФК након озрачивања већим флуенсима при чему су капацитивности сразмерни литературним подацима за ГО и ГО/ВФК композите термички третиране на температурама до 200 °C [2, 10]. У дисертацији је приказан потенцијал озрачивања јонским сноповима за постизање погодних својстава ГО и ГО/ВФК композита за примену у електрохемијским суперкондензаторима при чему резултати могу служити као основ будућим истраживањима.

Референце:

- [1] P.P. Brisebois, M. Sijaj, Harvesting graphene oxide – years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation, *Journal of Materials Chemistry C*, 8 (2020) 1517-1547. <http://dx.doi.org/10.1039/C9TC03251G>
- [2] Z. Jovanovic, D. Bajuk-Bogdanović, S. Jovanović, Ž. Mravik, J. Kovač, I. Holclajtner-Antunović, M. Vujković, The role of surface chemistry in the charge storage properties of graphene oxide, *Electrochimica Acta*, 258 (2017) 1228-1243. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.11.178>
- [3] R.K. Singh, R. Kumar, D.P. Singh, Graphene oxide: strategies for synthesis, reduction and frontier applications, *RSC Advances*, 6 (2016) 64993-65011. <http://dx.doi.org/10.1039/C6RA07626B>
- [4] D.P. Dubal, N.R. Chodankar, A. Vinu, D.-H. Kim, P. Gomez-Romero, Asymmetric Supercapacitors Based on Reduced Graphene Oxide with Different Polyoxometalates as Positive and Negative Electrodes, *ChemSusChem*, 10 (2017) 2742-2750. <https://doi.org/10.1002/cssc.201700792>
- [5] Z. Jovanović, Ž. Mravik, D. Bajuk-Bogdanović, S. Jovanović, S. Marković, M. Vujković, J. Kovač, D. Vengust, S. Uskoković-Marković, I. Holclajtner-Antunović, Self-limiting interactions in 2D–0D system: A case study of graphene oxide and 12-tungstophosphoric acid nanocomposite, *Carbon*, 156 (2020) 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.09.072>
- [6] X. Xiang, Z. He, J. Rao, Z. Fan, X. Wang, Y. Chen, Applications of Ion Beam Irradiation in Multifunctional Oxide Thin Films: A Review, *ACS Applied Electronic Materials*, 3 (2021) 1031-1042. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.0c01071>
- [7] C. Tyagi, S.A. Khan, S. Ojha, D.K. Avasthi, A. Tripathi, Effect of carbon ion-beam irradiation on graphene oxide film, *Vacuum*, 154 (2018) 259-263. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.05.003>
- [8] K. Hareesh, B. Shateesh, J.F. Williams, K. Asokan, D.M. Phase, K. Priya Madhuri, S.K. Haram, S.D. Dhole, Enhanced supercapacitance behaviour of low energy ion beam reduced graphene oxide, *Materials Research Express*, 4 (2017) 065018. <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/aa7313>
- [9] J.-P. Tessonnier, S. Goubert-Renaudin, S. Alia, Y. Yan, M.A. Barteau, Structure, Stability, and Electronic Interactions of Polyoxometalates on Functionalized Graphene Sheets, *Langmuir*, 29 (2013) 393-402. <https://doi.org/10.1021/la303408j>
- [10] Z. Jovanović, I. Holclajtner-Antunović, D. Bajuk-Bogdanović, S. Jovanović, Ž. Mravik, M. Vujković, Effect of thermal treatment on the charge storage properties of graphene oxide/12-tungstophosphoric acid nanocomposite, *Electrochem. Commun.*, 83 (2017) 36-40. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2017.08.017>

4. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Кандидат је коаутор три научна рада објављена у међународним часописима, једног научног рада објављеног у истакнутом националном часопису и једанаест саопштења са међународног научног скупа штампаног у изводу који су публиковани из резултата дисертације:

Радови у међународном часопису изузетних вредности (M21a):

- Z. Jovanović, M. Gloginjić, **Ž. Mravik**, A. Olejniczak, D. Bajuk-Bogdanović, S. Jovanović, I. Pašti, V. Skuratov, *Mechanistic insights into ion-beam induced reduction of graphene oxide: An experimental and theoretical study*, Radiation Physics and Chemistry 199 (2022) 110355. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110355>
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Mraković, L. Vukosavljević, I. Trajić, J. Kovač, D. Peruško, N. Gavrilov, Z. Jovanović, *Structural and electrochemical properties of carbon ion beam irradiated 12-tungstophosphoric acid*, Radiation Physics and Chemistry 183 (2021) 109422. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109422>

Радови у врхунском међународном часопису (M21):

- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, S. Jovanović, J. Rmuš, A. Olejniczak, A. Mraković, J. Lazarević, S. Uskoković-Marković, N. Lazarević, V. Skuratov, Z. Jovanović, *Modification of Keggin anion structure with ion beams—A new spectroscopic insights into the effects of keV- and MeV-ion beam irradiation on 12-tungstophosphoric acid*, Journal of Raman Spectroscopy 53 (2022) 1974-1984. <https://doi.org/10.1002/jrs.6423>

Радови у истакнутом националном часопису (M52):

- **Ž. Mravik**, Z. Jovanović, *Analiza površinskih funkcionalnih grupa termički redukovanog grafen oksida metodom temperaturski programirane desorpcije*, Tehnika 73 (2018), 186-191. <https://doi.org/10.5937/tehnika1802186M>

Саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу (M34):

- **Ž. Mravik**, M. Gloginjić, J. Rmuš, M. Pejčić, D. Bajuk-Bogdanović, M. V. Nikolić, N. Gavrilov, V. Skuratov, Z. Jovanović, *Conductivity and electrochemical charge storage capacity of thermally treated and ion-beam irradiated graphene oxide/12-tungstophosphoric acid nanocomposites*, The XXVI International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists (AYSS-2022), 24-28 October 2022, Dubna, Russia.
- **Ž. Mravik**, M. Gloginjić, J. Rmuš, M. Pejčić, D. Bajuk-Bogdanović, M. V. Nikolić, N. Gavrilov, Z. Jovanović, *Electrochemical charge storage properties of thermally treated and ion-beam irradiated graphene oxide/12-tungstophosphoric acid nanocomposites*, Twenty-third annual conference YUCOMAT 2022 & Twelfth world round table conference on sintering XII WRTCS, Herceg Novi, Montenegro, 2022, Program and the Book of Abstracts, Page 136.
- **Ž. Mravik**, M. Pejčić, D. Bajuk-Bogdanović, J. Rmuš, M. Jelić, M. Grujičić, M. V. Nikolić, N. Gavrilov, Z. Jovanović, *Thermally Treated and Ion Beam Irradiated Graphene Oxide for Supercapacitor Application*, COIN2022 - Contemporary Batteries and Supercapacitors - International Symposium Belgrade 2022, Program and the Book of Abstracts, Page 39.
- **Ž. Mravik**, M. Gloginjić, D. Bajuk-Bogdanović, M. V. Nikolić, A. Olejniczak, N. Gavrilov, Z. Jovanović, *Surface, structural and electric properties of ion beam irradiated graphene oxide papers*, Nineteenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, Belgrade, Serbia, 2021, Program and the Book of Abstracts, Page 38.
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Olejniczak, M. Pejčić, J. Lazarević, N. Lazarević, Z. Jovanović, *Ion beam irradiation of 12-tungstophosphoric acid – influence of energy of accelerated ions on structural properties*, 22nd annual conference Yucomat 2021, Herceg Novi, Montenegro, 30 August - 03 September, 2021, Programme and The Book of Abstracts, Page 110.

- M. Gloginjić, **Ž. Mravik**, Danica Bajuk-Bogdanović, Andrzej Olejniczak, Vladimir A. Skuratov, Igor Pašti, Zoran Jovanović, *Modification of surface oxygen groups of graphene oxide by ion beam irradiation for supercapacitor applications*, 4th International Meeting on Materials Science for Energy Related Applications, 4IMMSERA, September 22-23, 2021, Program and the Book of Abstracts, Page 3.
- M. Gloginjić, **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, M. Pejčić, A. Olejniczak, V. A. Skuratov, Z. Jovanović, *Surface chemistry of ion beam irradiated graphene oxide papers*, Solid-State Science & Research Meeting, 10 & 11 June 2021, Zagreb, Book of Abstracts, Page 38.
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Olejniczak, I. Trajić, Lj. Vukosavljević, N. Gavrilov, Z. Jovanović, *Ion beam irradiation of 12-tungstophosphoric acid –influence of energy of accelerated ions on structural and electrochemical properties*, The XXIV International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists (AYSS-2020), Dubna, Russia, 9-13 November 2020.
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Mraković, I. Trajić, Lj. Vukosavljević, D. Peruško, Z. Jovanović, *Utilizing ion beam irradiation for structural modification of 12-tungstophosphoric acid*, 21st annual conference Yucomat 2019, Herceg Novi, Montenegro, 2-6 September, 2019, Programme and The Book of Abstracts, Page 133.
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Mraković, Lj. Vukosavljević, Ivan Trajić, D. Peruško, Z. Jovanović, *Structural modification of 12-tungstophosphoric acid by ion beam irradiation*, The XXIII International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists (AYSS-2019), Dubna, Russia, 15-19 April 2019.
- **Ž. Mravik**, D. Bajuk-Bogdanović, A. Mraković, I. Trajić, Lj. Vukosavljević, D. Peruško, Z. Jovanović, *Physicochemical properties of ion beam irradiated 12-tungstophosphoric acid*, Eighteenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, December 4-6, 2019, Belgrade, Serbia, Program and the Book of Abstracts, Page 34.

5. Провера оригиналности докторске дисертације

Провера оригиналности докторске дисертације извршена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“ број 204 од 22.06.2018.). Помоћу програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата под називом „Физичкохемијска својства графен-оксида, 12-волфрамофосфорне киселине и њихових композита озрачених јонским сноповима средњих и високих енергија“ и установљено је да количина подударача текста (similarity index) износи **1%**. Наведени степен подударности последица је употребе цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, 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. поменутог Правилника. На основу свега изнетог, Комисија је утврдила да је докторска дисертација кандидата Жељка В. Мравика оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата Жељка В. Мравика представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужој научној области физичке хемије материјала и физичке хемије – електрохемије. Део резултата докторске дисертације кандидата публикован је у научним часописима: два рада у међународном часопису изузетних вредности (категирија M21a), један у врхунском међународном часопису (категирија M21) и један у истакнутом националном часопису (категирија M52). Додатно, из резултата докторске дисертације кандидата проистекло је и

једанаест саопштења са међународног научног скупа штампаних у изводу (категорија М34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидат испуњава све 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 Жељка В. Мравика под називом „Физичкохемијска својства графен-оксида, 12-волфрамофосфорне киселине и њихових композита озрачених јонским сноповима средњих и високих енергија“ и 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 кандидата доктор физичкохемијских наука.

У Београду, 03. 04. 2023. године

Чланови комисије:

др Игор Пашти, редовни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Даница Бајук-Богдановић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Соња Јовановић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију