

**НАСТАВНО–НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

На IX редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију одржаној 13.06.2019. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Јовића, дипломираног физикохемичара и студента докторских студија Факултета за физичку хемију, под насловом: „Електродни материјали на бази композита зеолита са хетерополи киселинама и карбонизованим полианилином за електрохемијску детекцију фенола у воденим растворима”.

Израда докторске дисертације кандидата Александра Јовића под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију на XI редовној седници одржаној 01.09.2016. године. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је, на својој XXIX седници одржаној 15.09.2016. године, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације.

На основу прегледа и анализе докторске дисертације кандидата, комисија подноси Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Александра Јовића садржи следећа поглавља: Резиме и Апстракт на српском и енглеском језику, Теоријски увод са прегледом литературе (21 страна), Циљ тезе (2 стране), Експериментални део (9 страна), Резултати и дискусија (57 страна), Закључак (4 стране) и Литература (21 страна, укупно 217 цитираних референци), што чини укупно 114 страна. Такође, теза садржи и Прилоге на 7 страна.

Текст садржи 17 табела и 54 слике, од којих 11 табела и 41 слика приказују властите резултате кандидата.

У поглављу **Циљ тезе је** дат кратак приказ значаја и актуелности проблематике истраживања карактеристика нових електродних материјали на бази композита зеолита са хетерополи киселином $H_3PW_{12}O_{40}$ (HPW) и карбонизованим полианилином (PANI) за електрохемијску детекцију фенола.

Теоријски део садржи описе структура и особина материјала који су коришћени у синтези композита са циљем постизања високе електроаналитичке активности за детекцију фенолних једињења. Прво су приказане кристалне структуре мрежних силиката и коришћених типова зеолита типа FAU и BEA и њихове основне особине. Затим је дат приказ полианилина, проводног полимера π -електронске конфигурације - описане су методе његове синтезе и његове особине. Дат је и приказ структуре хетерополикиселина, полиоксометалата са посебним акцентом на 12-волфрамфосфорну киселину (HPW), која је коришћена за синтезу електрохемијски активних материјала у овој тези. Приказане су основне структурне карактеристике анјонских облика *Keggin*-ове структуре, који су одговорни за реактивност ових једињења.

Дат је приказ материјала у којима су зеолити, полианилини и хетерополи киселине коришћени за синтезу различитих композита. Кратко је приказан механизам електрооксидација фенола који даје основ његове електрохемијске детекције методом цикличне волтаметрије.

Експериментални део садржи детаљни опис припреме узорака композитних материјала, описе експерименталних метода које су коришћене за карактеризацију синтетисаних узорака, као и опис цикличне волтаметрије која је коришћена за детекцију фенолних једињења на припремљеним композитним електродама.

У поглављу **Резултати и дискусија** су приказани и дискутовани добијени резултати. Описани су поступци припреме и дате карактеристике узорака добијених композита зеолита FAU (типа X и Y) са карбонизованим полианилином (PANI), и композитних материјала зеолита типа BEA са хетерополи киселином $H_3PW_{12}O_{40}$ (HPW) и карбонизованим полианилином. Приказани су и дискутовани резултати дифракције X-зрака на праху, ФТИЦ спектра, Раманских спектра, затим термалних метода ТГ/ДТГ, морфолошких и микроскопских испитивања (SEM и TEM) и адсорпционих особина. Осим тога дати су и дискутовани резултати истраживања композита BEA зеолита са HPW у раствору добијени мерењем зета потенцијала и адсорпционих мерења молекула никосулфурана.

У овом поглављу су приказани и анализирани резултати добијени испитивањем електроаналитичке активности добијених композитних материјала цикличном волтаметријом у опсегу потенцијала у ком се јављају карактеристични максимуми струје услед оксидације фенола, нитрофенола и аминофенола, у неутралним, алкалним и киселим воденим растворима. Детаљно су анализиране промене у електроаналитичкој активности композита у зависности од начина њихове припреме и њихових структурних карактеристика.

У поглављу **Закључак** су сумирани сви резултати докторске дисертације. Синтетисани нови композитни материјали FAU и BEA зеолита са хетерополи киселином и карбонизованим полианилином погодни за електрохемијску детекцију фенолних једињења: фенола, *p*-нитрофенола и аминофенола и њихових смеша у киселим воденим растворима.

Б. Приказ постигнутих резултата

Показано је да су синтетисани материјали на бази композита зеолита FAU и BEA зеолита са хетерополи киселином $H_3PW_{12}O_{40}$ (HPW) и карбонизованим полианилином (PANI) погодни електродни материјали за електрохемијску детекцију фенола, нитрофенола и аминофенола.

Композитни материјали су синтетисани са два типа зеолита: FAU (X и Y) и BEA, који су јонски проводници, и карбонизованим наноструктурним полианилином, као електронским проводником. BPW композити су синтетисани у поступку импрегнације из водених суспензија BEA зеолита са хексахидратом 12-волфрамфосфорне киселине (HPW).

Дифракција X-зрака на праху и ФТИЦ спектри X (Si/Al=1,2) и Y (Si/Al=1,2) зеолита и њихових јоноизмењених форми катјонима Mn^{2+} и Cu^{2+} , показују да нема значајне промене у структури зеолита услед јонске измене. Кристална структура Y зеолита боље је очувана због већег Si/Al односа. Смањени интензитети појединих CuX рефлексија и недостатак карактеристичних трака у ИЦ спектрима указује на мали губитак кристаличности овог зеолита. Резултати скенирајуће електронска микроскопије зеолита FAU и јоноизмењених облика потврђују да замена Na^+ јона са Mn^{2+} и Cu^{2+} није утицала на морфолошке карактеристике основног X и Y зеолита, већ је само

резултирало у честицама мањих величина код MnX и CuX. Такође, СЕМ показује да су морфолошке карактеристике компоненти задржане и у композитном материјалу.

Електроаналитичка мерења у неутралним и базним срединама показују да све композитне FAU-PANI електроде показују повећање струје у растворима фенола, али се само у случају NaX-PANI и MnX-PANI композита на цикличним волтамограмима у неутралним растворима јављају карактеристични максимуми. Континуалним циклирањем утврђено је да композитне електроде NaX-PANI и MnX-PANI немају потребну стабилност и да се након малог броја циклуса пасивизирају.

У киселој средини синтетисане композитне FAU-PANI електроде показују побољшане електрохемијске особине како у поређењу са компонентама композита (FAU зеолити и PANI) тако и са немодификованом електродом од стакластог угљеника и електродним материјалима датим у литератури. Највећу струју оксидационог пика је дао MnX-PANI композит, а најнижу границу детекције NaX-PANI ($1,75 \mu\text{M}$). Граница детекције нитрофенола NaX-PANI, композитне електроде је нижа у поређењу са границом детекције коју даје чиста PANI електрода $94,5 \mu\text{M}$ и низа електрохемијских сензора датих у литератури. У поређењу са електродним материјалима који имају већу осетљивост од NaX-PANI композит показује већу стабилност јер се електрода не пасивизира ни после 10 узастопних циклуса. Цикличним волтамограмима на NaX-PANI електроди показују карактеристичне пикове који потичу од оксидације *p*-нитрофенола, аминокфенола и фенола, а резултати показују да се ова композитна електрода може применити и за симултано одређивање фенолних једињења у киселој средини.

Синтетисани су BWP композити протонске форме зеолита BEA (HBEA) са различитим уделом HPW (20, 40 и 50 масених % при импрегнацији). Показано је да структурне и електрохемијске карактеристике композита BWP зависе како од удела HPW, тако и од начина припреме (сушења, ултразвучног третмана и калцинације) узорака.

Дифракција X-зрака на праху и ФТИЦ спектри синтетисаних композита BWP показују је да HPW молекули доводе до промена кристалне решетке BEA зеолита. Уочено је смањење интензитета и релативно ширење карактеристичних дифракционих рефлексија, као и померање максимума карактеристичних вибрационих трака, што указује на јаку интеракцију BEA зеолита са HPW. Рамански спектри чврстих синтетисаних композита, показују да интеракција сложеног молекула HPW са зеолитском структуром значајно зависи од начина синтетисања композита. ТГ/ДТА криве снимљене за BEA зеолит и калцинисане композите показују померање

температуре максимума ниско температурског пика (са 123 °C за ВЕА зеолит на 147 °C за композит ВРW20С). Већи удео НРW у композиту доводи до појаве егзотермних пикова ВРW40С (571 °C и 910 °C) и ВРW50С (559 °C и 913 °C), који се могу приписати фазним трансформацијама НРW. Међусобну интеракцију ВЕА зеолита и НРW у композиту потврђују и мерења електропроводљивости, при чему утврђено да електропроводљивост зависи од начина припреме материјала (најнижа је за калциниране узорке), али и да расте са порастом удела НРW (јер расте протонска проводљивост), па узорак ВРW50U има за читав ред величине већу проводљивост од осталих узорака.

Испитивање текстуралних својстава ВРW композитних материјала показала су да додаток НРW мења укупну површину, као и да начин припреме ВРW композита утиче на специфичну површину мезопора. Резултати испитивање ВРW композита СЕМ анализом показују да се морфологија површине мења са повећањем удела НРW. Резултати XRD, ФТИЦ, Раманске спектроскопије, ТГ/ДТГ и СЕМ анализа јасно показују да НРW остварује значајну интеракцију са зеолитом ВЕА у синтетисаним узорцима. НРW се налази доминантно на површини зеолита а не у зеолитским каналима што је потврђено испитивањем каталитичке активности синтетисаних композита у тест реакцији дехидратације етанола. Сви синтетисани узорци и ВЕА зеолит имају висок степен конверзије што је доказ да су канали ВЕА зеолита испуњени етанолом, а не НРW-ом, и да је повећање степена конверзије за око 5-8 % у присуству НРW-а допринос НРW који убрзава каталитичку реакцију на површини. Синтетисани композити су додатно карактерисани у воденим растворима. Показано је да особине композита ВРW у растворима зависе од састава и начина синтезе материјала, што је потврђено раманским спектрима суспензија и мерењем њиховог зета потенцијала. Негативност површине расте у присуству НРW-а што је последица доприноса аниона НРW-а на површини зеолита. Резултати адсорпције никосулфорона, који се због свог кинетичког дијаметра адсорбује само на површини зеолита указују да енергетска хетерогеност површине зависи како од удела НРW, тако и од начина припреме узорака. Ови резултати такође потврђују да се НРW молекула везује за површину зеолита типа ВЕА.

Електрохемијски одговор синтетисаних ВРW узорака у воденим растворима фенола и нитрофенола испитиване су на композитним електродама ВРW-PANI, у којима је PANI чинио 75 масених процената. У неутралној средини циклични волтамограми на ВРW-PANI композитним електродама не показују одговарајуће пикове услед оксидације фенола и *p*-нитрофенола. У јако алкалној средини на рН = 13

се појављују карактеристични максимуми, али се електроде већ након неколико циклуса пасивизирају.

Утврђено је да су киселој средини BPW-PANI композитне електроде активне у детекцији фенола и *p*-нитрофенола, при чему њихов електрохемијски одговор зависе од састава и начине припреме композита. Све електроде, као и композитна електрода BEA-PANI, у испитиваном опсегу концентрација показују линеарну зависност јачина струје са концентрацијом. BPW50U-PANI композитна електрода показује највишу струју оксидације фенола, док је BPW20C-PANI дала највишу струју оксидације нитрофенола. Утврђено је да међу испитиваним BPW-PANI композитним електродама, BPW50U-PANI композитна електрода даје најнижу границу детекције за фенол и *p*-нитрофенол од 66,1 и 77,1 μM , респективно. BPW-PANI композитне електроде су стабилне те задржавају електрохемијску активност и након вишеструко поновљених циклуса. Цикличним волтамограма на BPW20C-PANI електроди показују карактеристичне пикове који потичу од оксидације *p*-нитрофенола и фенола, па се ова композитна електрода може применити за симултано одређивање фенолних једињења у киселој средини. Циклични волтаграма у растворима фенола и *p*-нитрофенола на електродама BEA-PANI композита који не садржи HPW, као и на композитним електродама BPW50U-PANI са 75, 50 и 25% PANI су показали да удео полианилина у саставу композитних електрода утиче на облик кривих и положаје оксидационих пикова у цикличним волтаграмима. Композитна електрода BPW50U-PANI (50%) даје 10 пута веће јачине струје пика током оксидације *p*-нитрофенола него електрода од чистог PANI (68 μA).

Цикличном волтаметријом у опсегу потенцијала у ком се јављају карактеристични максимуми струје оксидације: фенола, нитрофенола и аминафенола, у неутралним, алкалним и киселим воденим растворима утврђено је да композити на бази композита зеолита са хетерополи киселином $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ (HPW) и карбонизованим полианилином имају неопходну електраналитичку активност у киселој средини. Синтетисани композит FAU зеолита NaX-PANI има најбоље електрохемијске карактеристике, најнижу границу детекције *p*-нитрофенола од 1,75 μM и струју пика од 96 μA . Синтетисана композитна електрода BEA зеолита BPW50U-PANI има границу детекције од 66,1 μM за фенол и 77,1 μM за *p*-нитрофенол и струју пика 0,55 mA за фенол и 0,50 mA за *p*-нитрофенол.

В. Упоредна анализа резултата Кандидата са резултатима из литературе

Електроаналитички сензори за детекцију фенола и фенолних једињења се „намећу“ као добра алтернатива захваљујући њиховом брзом одговору и ниској цени производње. Са друге стране, јављају се два проблема приликом детекције и одређивања фенола електроаналитичким методама – пасивизација електроде услед адсорпције интермердијера реакције оксидације фенола и смањена осетљивост, тј. немогућност истовременог одређивања смеше фенола. Иако се у литератури могу наћи електроаналитички сензори на бази композита зеолит/полианилин, треба нагласити да су нови сензори на бази протонска форма ВЕА зеолита/хетерополи киселина $H_3PW_{12}O_{40}$ (HPW)/карбонизовани полианилин (PANI) први пут синтетисан и карактерисани у овој тези.

У циљу превазилажења споменутих проблема, предложена је употреба угљеничних материјала, тачније угљеничних нанотуба као електродног материјала за детекцију фенолних једињења [Govindhan, M., Lafleur, T., Adhikari, B. and Chen, A., **Electrochemical Sensor Based on Carbon Nanotubes for the Simultaneous Detection of Phenolic Pollutants. Electroanalysis, 27 (2015), 902-909**]. Предложени електродни материјал омогућава осетљиву симултану детекцију катехола, *p*-кресола и *p*-нитрофенола са границама детекције од 2,3; 3,7 и 7,7 nM и високом осетљивошћу од 135,08; 84,90 и 110,38 $\mu A/\mu M$, респективно. Електрохемијски сензор дизајниран у овој студији је, такође, показао високу стабилност и репродуктивност, као и брз одговор. Коришћење карбонизованог полианилина за припрему композитних електрода у оквиру ове докторске дисертације пружа могућност боље контроле морфолошких и текстуралних карактеристика, а које знатно утичу на електрохемијски одговор композитних електрода.

У циљу даљег побољшања карактеристика електрохемијских сензора за феноле, у литератури су предложене и електроде на бази наночестица метала (попут сребра и злата), најчешће нанешених на неки угљенични материјал као носач [Maji S Sreejith S Mandal A Dutta A Zhao Y, **Synthesis of Ag₂S quantum dots by a single-source precursor: an efficient electrode material for rapid detection of phenol, Analytical Methods, 6 (2014), 2059-2065**; Zhao G Gao Z Li H Liu S Chen L Zhang R Guo H, **Controlled assembly of Ag nanoparticles on the surface of phosphate pillar [6]arene functionalized single-walled carbon nanotube for enhanced catalysis and sensing performance, Electrochimica Acta, 318 (2019), 711-719** и Tang Y Huang R Liu C Yang

S Lu Z et. al., Electrochemical detection of 4-nitrophenol based on a glassy carbon electrode modified with a reduced graphene oxide/Au nanoparticle composite, Analytical Methods, 5 (2013), 5508-5514]. Наночестице сребра (са просечним дијаметром 3-4 nm) униформно су дисперговане на површину угљеничних нанотуба помоћу арена са фосфатном групом [**Zhao G Gao Z Li H Liu S Chen L Zhang R Guo H, Controlled assembly of Ag nanoparticles on the surface of phosphate pillar [6]arene functionalized single-walled carbon nanotube for enhanced catalysis and sensing performance, Electrochimica Acta, 318 (2019)].** Арен је пружао координационо окружење између Ag и $-\text{PO}_3^{2-}$ група, а успоставиле су се π - π интеракције између угљеничних нанотуба и бензеновог прстена у арени. У поређењу са комерцијалним катализаторима, композитни материјал је показао већу каталитичку активност за редукцију *p*-нитрофенола.

И електрохемијски сензори на бази наночестица злата (AuNPs) на редукованом графен оксиду (RGO) за детекцију фенолних једињења су предложени у литератури [**Tang Y Huang R Liu C Yang S Lu Z et. al., Electrochemical detection of 4-nitrophenol based on a glassy carbon electrode modified with a reduced graphene oxide/Au nanoparticle composite, Analytical Methods, 5 (2013), 5508-5514].** Нови сензорски систем, AuNP/RGO/GCE, изграђен је електродепозицијом RGO на површину електроде од стакластог угљеника (GCE), а затим депоновањем AuNPs на формираном RGO филму на GCE. Синергијски ефекат AuNP и RGO нано слојева као ко-модификатора веома олакшава процесе преноса електрона између електролита и GCE, и тако доводи до изузетно побољшане осетљивости на детекцију *p*-нитрофенола. Примењена су два начина детекције, диференцијална пулсна волтаметрија (DPV) и волтаметрија квадратног таласа (SWV). Добијен је широк опсег линеарни, 0,05–2,0 μM и 4,0–100 μM за DPV и 0,05–2,0 μM за SWV. Граница детекције за *p*-нитрофенол била је 0,01 μM и 0,02 μM за DPV и SWV, респективно. Иако се употребом ове електроде може постићи нижа границу детекције од оних са електродама припремљеним и испитаним у овој тези, оне су ипак упоредиве посебно имајући у виду да је у тези као метода детекције коришћена најједноставнија метода - циклична волтаметрија. Додатна предност композитних материјала анализираних у овој тези јесте њихова цена, која је знатно нижа од електрохемијских сензора на бази племенитих метала.

Нови електрохемијски сензор за *p*-нитрофенол на бази графен оксида успешно је произведен и перформансе овог сензора су драматично побољшане захваљујући одличној електричној проводљивости, снажној адсорптивној способности и великој

ефективној површини графен оксида [Li J Kuang D Feng Y Zhang F Xu Z et. al., **A graphene oxide-based electrochemical sensor for sensitive determination of 4-nitrophenol**, *Journal of Hazardous Materials*, 201-202 (2012), 250-259]. У 0,1 М ацетатном пуферу на рН = 4,8, јавља се добро дефинисан редукциони услед редукције *p*-нитрофенола на електроди од стакластог угљеника модификованој графен оксидом. Под оптималним условима, струја редукционог пика линеарно зависи од концентрације *p*-нитрофенол у опсегу од 0,1 до 120 μM . Поређења ради, линеарна зависност од концентрације нитрофенола која је добијена употребом композитних материјала на бази зеолит/хетерополикиселина/полианилин, који су дискутовани у овој тези, је у много ширем опсегу, до 1000 μM .

Литература предлаже и нови композит редукованог графен оксида и молекулски утиснутог полимера (RGO-MIP), који је припремљен употребом полимеризације слободним радикалима и коришћен за израду електрохемијског сензора за *p*-нитрофенол [Zeng Y Zhou Y Zhou T Shi G, **A novel composite of reduced graphene oxide and molecularly imprinted polymer for electrochemical sensing 4-NP nitrophenol**, *Electrochimica Acta*, 130 (2014), 504-511]. RGO је синтетисан непотпуном редукцијом графен оксида, а онда се молекули *p*-нитрофенола адсорбују на површини RGO због доброг афинитета заснованог на њиховом водонику и интеракцији π - π веза. Затим је селективна кополимеризација метакрилне киселине и етилен гликол диметакрилата даље изведена на површини RGO ради добијања RGO-MIP. RGO-MIP сензор имао је линеарни опсег за *p*-нитрофенол концентрације од 0,01 до 100,0 μM , са границом детекције од 0,005 μM .

Осим тога, у литератури се могу наћи и електрохемијски сензори на бази композита природних глина [Žunić M Milutinović-Nikolić A Stanković D Manojlović D Jović-Jovičić N et. al., **Electrooxidation of p-nitrophenol using a composite organo-smectite clay glassy carbon electrode**, *Applied Surface Science*, 313 (2014), 440-448]. Електрохемијска испитивања изведена су са танким филмом композитне електроде од хомогено депониране Na-обогаћене глине или једне од органомодификованих глина на електроди од стакластог угљеника. Серија бензилтриметиламонијевих глина (BTMA-MD) са различитим садржајем BTMA припремљена је коришћењем бентонитне глине. Композитне електроде са сваком модификованом глином посебно су тестиране за електрооксидацију *p*-нитрофенола у киселој средини. Оксидација *p*-нитрофенола догађа се при $\approx 1,2\text{ V}$, при коришћењу Ag/AgCl за све испитиване електроде, што је у сагласности са вредностима добијеним у овој тези, које се крећу од 1,20 V до 1,27 V у

зависности од типа коришћеног зеолита и удела хетерополикиселине у композиту. Резултати су показали да уградња ВТМА у смектит побољшава стабилност електрода према електрооксидацији *p*-нитрофенола у поређењу са GCE и композитном електродом GCE који садржи Na-обогаћену глину. Густина струје за оксидациони талас *p*-нитрофенола лагано се смањивала са порастом удела ВТМА. Са друге стране, стабилност електрода је значајно побољшана са повећањем удела ВТМА.

На основу прегледа литературе се може закључити је ова теза дала значајан допринос у синтези, карактеризацији и испитивању електроаналитичке активности нових композитних материјала за детекцију фенолних једињења и показала да су дати композити на бази зеолита (FAU и BEA) са хетерополи киселином $H_3PW_{12}O_{40}$ и карбонизованим полианилином погодни електродни материјали за електрохемијску детекцију фенола, *p*-нитрофенола и аминофенола.

Г. Научни радови из докторске дисертације

Делови тезе кандидата публиковани су у виду четири рада у међународним научним часописима и то једног рада категорије M21a, два рада категорије M21 и једног рада категорије M22, као и једног саопштења на конференцији међународног ранга M33.

Рад у међународном часопису изузетних вредности M21a

1. Aleksandar Jović, Jadranka Milikić, Danica Bajuk-Bogdanović, Maja Milojevic-Rakić, Bojana Nedić Vasiljević, Jugoslav Krstić, Nikola Cvjetičanin, Biljana Šljukić, *12-phosphotungstic Acid Supported on BEA Zeolite Composite with Carbonized Polyaniline for Electroanalytical Sensing of Phenols in Environmental Samples*, Journal of The Electrochemical Society, Vol. 165 (2018), No. 16, H1013-H1020

<https://doi.org/10.1149/2.0021816jes>

Рад у врхунском међународном часопису M21

1. Aleksandar Jović, Aleksandar Đorđević, Maria Čebela, Ivana Stojković Simatović, Radmila Hercigonja, Biljana Šljukić, *Composite zeolite/carbonized polyaniline electrodes for *p*-nitrophenol sensing*, Journal of Electroanalytical Chemistry, 778 (2016), pp 137-147

<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.08.025>

2. Bajuk-Bogdanovic Danica V, Jovic Aleksandar S, Nedic-Vasiljevic Bojana N, Milojevic-Rakic Maja, Kragovic Milan M, Krajisnik Danina R, Holclajtner Antunovic Ivanka D, Dondur Vera T *12-Tungstophosphoric acid/BEA zeolite composites - Characterization*

and application for pesticide removal, Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials, vol. 225, (2017), pp 60-67,

<https://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.08.011>

Рад у истакнутом међународном часопису М22

1. Aleksandar Jović, Danica Bajuk-Bogdanović, Bojana Nedić Vasiljević, Maja Milojević-Rakić, Danina Krajišnik, Vera Dondur, Aleksandru Popa, Snezana Uskoković-Marković, Ivanka Holclajtner-Antunović, *Synthesis and characterization of 12-phosphotungstic acid supported on BEA zeolite*, Materials Chemistry and Physics, 186 (2017), pp 430-437

<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.11.015>

Рад саопштен на међународном научном скупу штампан у целини М33

1. Vera Dondur, Aleksandar Jović, Maja Milojević-Rakić, Bojana Nedić Vasiljević, Danica Bajuk-Bogdanović, Alexandru Popa, Ivanka Holclajtner-Antunov, *Synthesis and characterisation of heteropoly acid/bea zeolite composites*, 13th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Društvo fizikohemičara Srbije, Beograd, Srbija, 2016, Proceedings of 11th international conference “Physical Chemistry 2016”, book III (978-86-82475-33-0), 577 – 580

Д. Закључак комисије

На основу изложеног Комисија закључује да резултати кандидата дипломираног физикохемичара **Александра Јовића** приказани у оквиру ове дисертације представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у области физичке хемије материјала и електрохемије, у развоју нових електродних материјала на бази композита зеолита са хетерополи киселинама и карбонизованим полианилином за електрохемијску детекцију фенолних једињења у воденим растворима. Резултати истраживања у оквиру докторске дисертације кандидата публиковани су у виду једног рада у међународном часопису изузетних вредности (М21а), два рада у врхунским међународним часописима (М21) и једном раду у истакнутом међународном часопису (М22), при чему је кандидат први аутор на три рада. Коришћењем програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације Александра Јовића и увидом у Извештај провере потврђена је оригиналност резултата кандидата.

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 свега изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да докторску дисертацију дипломираног физикохемичара Александра Јовића под насловом: **„Електродни материјали на бази композита зеолита са хетерополи киселинама и карбонизованим полианилином за електрохемијску детекцију фенола у воденим растворима“** прихвати и одобри јавну одбрану дисертације у циљу стицања научног степена доктора физичкохемијских наука.

Чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације:

Др Вера Дондур, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

Др Љиљана Дамјановић-Василић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

Др Биљана Шљукић Паунковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

Др Радмила Маринковић Недучин, професор емеритус
Универзитет у Новом Саду – Технолошки факултет

У Београду, 07.08.2019. године