

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На XI редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 10. 09. 2021. године именовани смо за чланове **Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Јане Мишуровић, мастер физикохемичара, под насловом „Синтеза полианилина и других поли(ариламина) применом наночестица Fe_3O_4 као катализатора“**. Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са IV редовне седнице од 18. 01. 2019. године. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 31. 01. 2019. године донело одлуку о давању сагласности на предложену тему докторске дисертације. На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Јане Мишуровић написана је на 145 страна куцаног текста према Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду и садржи следеће делове: насловне странице на српском и енглеском језику (2 стране), страницу са информацијама о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), странице са резимеом и подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (2 стране), садржај (3 стране) и текст докторске дисертације који је подељен на поглавља (**Увод** (2 стране), **Преглед литературе** (33 стране), **Циљ истраживања** (2 стране), **Експериментални део** (9 страна), **Резултати и дискусија** (61 страна), **Закључак** (3 стране) и **Литература** (273 навода, 20 страна) и **Прилози** (списак Објављених научних радова и саопштења из докторске дисертације (1 страна)), а затим Биографију (1 страна) и изјаве прописане од стране Универзитета (4 стране). Дисертација садржи укупно 81 слику и 13 табела, од којих 51 слика и 13 табела приказују резултате истраживања кандидата.

У делу **Увод** приказан је кратак увод у проблематику, описан значај и примене проводних полимера, посебно полианилина (PANI). Такође, дат је кратак осврт на новије правце еколошки прихватљивих синтеза проводних полимера.

Преглед литературе подељен је на пет целина. У првој целини описане су наночестице магнетита (Fe_3O_4) са аспекта њихове примене као биомиметског катализатора. Приказана је кинетика и механизам реакција катализованих са наночестицама Fe_3O_4 , њихове предности, методе синтезе и примена у реакцијама полимеризације. У другој целини описани су структура и својстава полианилина и дат је преглед литературе нових,

еколошки побољшаних праваца за његову синтезу. Трећа и четврта целина обухватају опис структуре, својстава и преглед синтеза поли(*para*-аминодифениламина) и полиакрифлавина, док је у петом делу дат преглед примене парарозанилин хидрохлорида, фуксина базног и сафранина О као мономера у реакцијама полимеризације.

У делу **Циљ истраживања** дефинисани су циљеви рада. Главни циљ ове докторске дисертације је синтеза електропроводног полимера полианилина и других поли(ариламина) новим поступком хемијске оксидативне полимеризације уз примену наночестица магнетита (Fe_3O_4) као катализатора. Такође, као циљ је наведена детаљна карактеризација синтетисаних полимера, применом различитих физичкохемијских метода, са намером да се проучи њихова молекулска структура, морфологија, електрична проводљивост, редокс активност, као и парамагнетна својства.

У **Експерименталном делу** су набројане хемикалије коришћене при раду и детаљно описане експерименталне процедуре синтезе наночестица Fe_3O_4 и изведених полимеризација анилина (из раствора чистог мономера анилина и из раствора мономера анилина у присуству неколико ариламина), *para*-аминодифениламина (*p*-ADPA) и акрифлавина (AF). Такође, описани су коришћени уређаји и методе физичкохемијске карактеризације синтетисаних материјала.

Поглавље **Резултати и дискусија** састоји се из седам делова у којима су детаљно приказани и дискутовани резултати добијени у овој дисертацији. У првом делу описан је ток синтезе наночестица Fe_3O_4 и њихова карактеризација методама рендгенске дифракције на праху (XRPD) и скенирајуће електронске микроскопије (SEM). Осталих шест делова односи се на полимеризације неколико ариламина, чији је ток праћен визуелном променом боје реакционе смеше и UV-Vis-NIR спектроскопијом. Конкретније, у другом и трећем делу приказане су полимеризације анилина у присуству наночестица Fe_3O_4 уз два типа оксиданса (чист водоник-пероксид (H_2O_2) и H_2O_2 са амонијум пероксидисулфатом (APS) у траговима). Четврти део укључује полимеризације анилина у присуству мале количине неколико различитих ариламина, док су у петом делу приказани резултати полимеризација анилина у присуству различитих количина *p*-ADPA. Шести и седми део овог поглавља обухватају резултате полимеризација *p*-ADPA и AF. У оквиру свих делова који се односе на реакције полимеризације приказани су резултати физичкохемијске карактеризације синтетисаних продуката техникама инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR) и раманске спектроскопије, а измерена је и њихова електрична проводљивост. У трећем и шестом поглављу дата је детаљнија анализа свих синтетисаних продуката која укључује и EPR спектроскопију, XRPD и SEM. У другом, трећем и шестом поглављу приказана је и редокс активност појединих полимерних продуката.

У делу **Закључак** сумирани су сви закључци изведени на основу резултата приказаних у докторској дисертацији.

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

Б. Опис резултата дисертације

У овој дисертацији испитиване су могућности примене наночестица Fe_3O_4 као катализатора у реакцијама хемијске оксидативне полимеризације ариламина. Прва тематска целина се односи на синтезу и карактеризацију наночестица Fe_3O_4 копреципитацијом из Fe^{2+} и Fe^{3+} -соли. XRPD и SEM анализом показано је да су добијене униформне, висококристалне наночестице Fe_3O_4 са величином кристалита око 16 nm.

Друга тематска целина односи се на полимеризације анилина до PANI у присуству синтетисаних наночестица Fe_3O_4 као катализатора и H_2O_2 као оксиданса који је еколошки прихватљив, јер његовом редукцијом настаје вода. Како би се одредила оптимална концентрација оксиданса испитивани су системи са 4 различита молска односа $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{анилин}] = 10, 5, 2,5$ и $1,25$. Такође, упоредо су припремљене две серије узорака које су садржавале различите количине катализатора (1,7 и 17 mg у 120 ml реакционе смеше), како би се испитао утицај количине наночестица Fe_3O_4 на реакцију полимеризације и својства коначних производа. Све реакције су трајале 7 дана, а промене у системима су испраћене визуелном променом боје и UV-Vis-NIR спектроскопијом. Примећено је да се реакције брже одигравају у присуству веће количине катализатора, а да осим тога количина катализатора у систему није од пресудног значаја за својства продуката. Наночестице Fe_3O_4 нису уклањане из коначних производа реакције у којима је њихово присуство потврђено методама XRPD и EPR, па се може рећи да су на овај начин синтетисани PANI/ Fe_3O_4 композити са врло малим уделом Fe_3O_4 у односу на PANI. У оквиру ове целине анализирана је молекулска структура обе серије изолованих прашкастих производа, методама FTIR и раманске спектроскопије, и измерена је њихова електрична проводљивост. Приказани резултати указали су да је смањењем односа $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{анилин}]$ са 10 на 1,25 постигнуто изразито побољшање проводљивости производа од 10^{-6} до 10^{-2} S m^{-1} . FTIR и рамански спектри су, у сагласности са вредностима електричне проводљивости, показали да производи реакција са мањим концентрацијама оксиданса садрже структурне јединице карактеристичне за проводни облик PANI, емералдин со (ES), док су узорци синтетисани при већим концентрацијама оксиданса показали вибрације карактеристичне за разгранате сегменте и преоксидованост ланца.

У трећем делу испитиване су могућности убрзања реакције оксидације анилина модификацијом развијеног поступка, кроз додатак мале количине APS (25 пута мања концентрација у поређењу са класичним реакцијама хемијске оксидативне полимеризације анилина са APS) у раствор претходно одређене оптималне концентрације оксиданта H_2O_2 . На овај начин постигнута је ефикаснија иницијација реакције оксидације анилина захваљујући јаким оксидационим својствима APS, што је примећено променама боје реакционе смеше, али и променама у UV-Vis-NIR спектрима. Закључено је, да при примењеним реакционим условима, оксидацију анилина започиње APS, а да се реакција даље наставља оксидацијом формираних олигоанилина са H_2O_2 , при чему као катализатор служе наночестице Fe_3O_4 . Реакција се изводи у јако киселој средини где је могуће и делимично растварање наночестица Fe_3O_4 и присуство $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ јона у раствору. Све ово

доводи до веома сложеног каталитичког система. Овде су такође припремљене две серије узорака, са различитим количинама наночестица магнетита, а испитиван је и утицај времена полимеризације (1, 3 и 7 дана) на својства коначних производа. Ради поређења изведена је и реакција без наночестица Fe_3O_4 у којој није дошло до формирања полимерних производа. У оквиру ове целине урађена је детаљна карактеризација синтетисаних PANI/ Fe_3O_4 материјала методама FTIR, раманске и EPR спектроскопије, XRPD и SEM, а измерена је и њихова електрична проводљивост. Резултати FTIR и раманске спектроскопије потврдили су да су сви добијени производи у форми PANI-ES. Мерења електричне проводљивости указала су да додатак APS није значајно утицао на повећање проводљивости узорака. Највећа измерена проводљивост у овој серији је $1,5 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$. Морфолија свих продуката је углавном грануларна, уз одређени проценат микросфера правилног облика, чији пречник расте са временом полимеризације са $2 \mu\text{m}$ на $5 \mu\text{m}$. EPR спектри садрже јак позадински сигнал који потиче од наночестица Fe_3O_4 и сигнал карактеристичан за присуство неспарених електрона у поларонској форми PANI. Вредности спинске густине израчунате из EPR спектра нису у сагласности са електричним проводљивостима узорака, јер са продужетком времена полимеризације расте електрична проводљивост, али опада спинска густина продуката. Овакво понашање је објашњено чињеницом да на електричну проводљивост PANI не утиче само концентрација носилаца наелектрисања (радикал катјони – поларони), већ и покретљивост и дистрибуција/организација поларона. Дискутовано је да постоји могућност да се боља делокализација поларона и њихова побољшана покретљивост успостављају са продужењем времена полимеризације, због побољшаног протоновања ланца и допирања контра-јонима, продужене конформације ланца и повећане моларне масе, док долази до смањења концентрације поларона услед различитих ефеката, као што је делимична интерконверзија поларона у биполароне који немају спин и утицај наночестица Fe_3O_4 . XRPD анализа узорака изолованих након 3 дана показала је присуство рефлексија магнетита у полимерним узорцима, што указује на то да наночестице Fe_3O_4 нису претрпеле трансформацију током реакције полимеризације коју катализују. Широки дифузни максимум (аморфни хало) на којем су суперпонирани веома оштри пикови, који потичу од полимерног дела узорка, указују на висок степен кристаличности добијеног PANI. Циклична волтаметрија узорка PANI/ Fe_3O_4 који је имао највећу проводљивост указала је на добру стабилност и редокс активност (карактеристичне редокс прелазе код PANI) овог материјала у опсегу потенцијала од $-0,2 \text{ V}$ до $0,8 \text{ V}$ у односу на zasiћену каломелову электроду (ZKE).

У четвртном делу резултата и дискусије испитано је дејство додатка $1 \text{ mol}\%$ неколико ариламина (p-ADPA, AF, фуксина базног, парарозанилин хидрохлорида и сафранина O) на ток и производе реакције оксидације анилина (при условима дефинисаним у трећем поглављу са $1,7 \text{ mg}$ катализатора и временом полимеризације 7 дана). Реакције су праћене UV-Vis-NIR спектроскопијом која је потврдила да p-ADPA има најизраженији утицај на брзину реакције (доводи до њеног значајног убрзања), док остали примењени ариламици нису битно утицали на брзину полимеризације. Мерењем електричних проводљивости продуката ових реакција, и упоређивањем са референтним узорком синтетисаним без додатка ариламина ($7,3 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$), примећено је да једино фуксин базни позитивно

утиче на пораст проводљивости узорка, и то за ред величине ($1,0 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$), док сви остали арилами не утичу на повећање проводљивости. Када је реч о масама издвојених продуката, додаток свих ариламина одразио се на пораст приноса узорка, а чак дупло веће вредности у односу на референтни систем остварене су у присуству *p*-ADPA и парарозанилин хидрохлорида. На основу FTIR и раманских спектра потврђено је да присуство примењених ариламина у концентрацији 1 mol% нема пресудан утицај на структуру синтетисаних производа.

У петој тематској целини детаљно је испитан утицај концентрације *p*-ADPA, количине катализатора и времена полимеризације на ток реакције оксидације анилина, са оксидансом H_2O_2 у присуству APS у траговима. Притом су коришћени следећи услови: 1 и 10 mol% *p*-ADPA, масени односи Fe_3O_4 наночестица и анилина 0,015 и 0,0015, уз времена полимеризације 2 h, 24 h и 7 дана. Визуелно, променом боје, а и на основу UV-Vis-NIR спектра детектовано је да реакција оксидације започиње и пре додатка раствора оксиданса. Тамнозелени полимерни производи примећени су у свим системима у одређеном временском периоду након додатка катализатора у растворе мономера. У системима са оксидансом, који су били од интереса у овом поглављу, показало се да повећање садржаја *p*-ADPA делује на убрзање реакције и проводљивости производа. Међутим, повећање проводљивости у односу на референтни систем без *p*-ADPA није постигнуто. FTIR и рамански спектри указали су на присуство високопроводне PANI-ES форме у производима. Примећено је да продужење времена реакције са 1 дана на 7 дана води смањењу садржаја структурних јединица које узрокују ниске проводљивости у полимерном ланцу и формирању ланца веће проводљивости.

Шеста тематска целина обухвата примену поступка оксидације ариламина у присуству наночестица Fe_3O_4 и оксиданса $\text{H}_2\text{O}_2/\text{APS}$ на полимеризације *para* димера анилина, *p*-ADPA. Наиме, *p*-ADPA је успешно полимеризован развијеним поступком и детаљно је испитан утицај количине катализатора на својства коначних производа $\text{poli}(\text{p-ADPA})/\text{Fe}_3\text{O}_4$ методама UV-Vis-NIR, FTIR, раманске и EPR спектроскопије, цикличном волтаметријом, SEM и XRPD анализом, као и мерењима електричне проводљивости. Показано је да реакција оксидације *p*-ADPA тече и без додавања катализатора, захваљујући нижем оксидационом потенцијалу *p*-ADPA у односу на анилин, али је у овом случају неопходно продужавање времена полимеризације како би се добио задовољавајући принос материјала. Високе вредности електричне проводљивости узорка синтетисаних у присуству катализатора, заједно са резултатима спектроскопске анализе, указале су да је синтетисан полимер у проводној форми PANI-ES. Производ који је синтетисан са већом количином наночестица магнетита показао је једну од највећих електричних проводљивости забележених у литератури за производе полимеризације *p*-ADPA ($1,8 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$). У оквиру овог поглавља упоређена су два $\text{poli}(\text{p-ADPA})/\text{Fe}_3\text{O}_4$ и PANI/ Fe_3O_4 узорка синтетисана под сличним условима, при чему је закључено да је оксидацијом *p*-ADPA уместо анилина, добијен материјал типа PANI-ES за знатно краће време реакције (2 h уместо 7 дана) и са мало већом проводљивошћу. Цикличном волтаметријом показано је и различито електрохемијско понашање ова два материјала, које је у складу са њиховим структурним и морфолошким разликама.

У седмом делу приказани су резултати оксидације још једног ариламина, АФ. Испитујући утицај количине катализатора (1,7 и 17 mg) и времена полимеризације (4 и 7 дана) на електричну проводљивост коначног продукта закључено је да проводљивост производа расте са продужетком времена реакције, а највећа вредност од $1,3 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$ је забележена за узорак композита полиакрифлавина (PAF) са Fe_3O_4 (PAF/ Fe_3O_4) синтетисан са већом количином магнетита за време полимеризације 7 дана. Применом овог поступка за оксидацију АФ остварено је побољшање проводљивости PAF за ред величине у поређењу са литературом. У FTIR спектрима изолованих производа добијене су траке које потврђују настанак нових веза и формирање полимерног ланца.

В. Упоредна анализа резултата дисертације са резултатима из литературе

Последњих година у фокусу истраживања су нове еколошке одрживе методе синтезе у циљу смањења штетних утицаја хемијске индустрије на животну средину. Када су у питању синтезе проводних полимера који су тема ове докторске дисертације, најчешће коришћени оксидант у традиционалним методама хемијске оксидације ариламина је APS [1–3]. Поред њега користе се и калијум тиосулфат, калијум дихромат, калијум јодат, итд. Сви ови оксиданси током реакције дају нежељене неорганске продукте, који не само да компликују процес синтезе, јер је неопходно пречишћавање производа, већ су веома штетни по околину, и потребно је уложити велике напоре како би се решило проблем њиховог безбедног одлагања или поновна употреба. Зато се тежи употреби „зелених“ реагенаса, као што су кисеоник (O_2) и H_2O_2 , који разградњом не производе штетне нуспродукте. Међутим, на собној температури реакције оксидације са овим оксидансима теку веома споро и неопходно је развијати каталитичке системе који ће побољшати кинетику ових процеса. То је главна препрека коју треба превазићи како би се дошло до њихове шире примене. У ту сврху два типа катализатора су коришћена у полимеризацијама анилина, његовог димера p-ADPA или њихове смеше, са оксидантом H_2O_2 : Фентонов и Фентону-слични реагенси [4] и ензими [5–7].

Један од посебно интресантних новијих праваца еколошки прихватљивих синтеза проводних полимера јесу ензимски каталисане полимеризације [5–7]. Примена металоензима у овим реакцијама доживела је нагли развој захваљујући томе што метали, посебно катјони прелазних метала, могу да катализују оксидативну полимеризацију ариламина са H_2O_2 или O_2 . Међутим, иако су ензими изузетно ефикасни биолошки катализатори који поседују високу активност, специфичност и селективност у благим реакционим условима, њихова практична примена је ограничена њиховим суштинским недостацима, као што су ниска оперативна стабилност и јако осетљива каталитичка активност на услове средине, високи трошкови припреме, пречишћавања и складиштења, итд. Како би се превазишли ови недостаци интензивни напори су посвећени развоју алтернатива природним ензимима, под називом „вештачки ензими“. У односу на значајан број истраживања и публикација у области ензиматских полимеризација ариламина, данас је доступно релативно мало радова који су усмерени на еколошки прихватљиве процесе

добијања проводних полимера у присуству наноматеријала као биомиметских катализатора.

У овој тези је развијен иновативан, еколошки прихватљив поступак за оксидативну полимеризацију ариламина са H_2O_2 у којем су, уместо ензима, као катализатор примењене наночестице Fe_3O_4 . Овим је значајно поједностављен и унапређен поступак еколошке синтезе ариламина. Поред увођења оксиданта чији је једини нуспроизвод у реакцији полимеризације вода, превазиђени су кључни недостаци употребе ензима захваљујући бројним предностима наночестица магнетита, као што су нижа цена, боља температурна и рН стабилност (својства од значаја за употребу и складиштење), њихова магнетна својства, итд.

Yang и сарадници синтетисали су композит наночестичног Fe_3O_4 са PANI при масеном односу Fe_3O_4 /анилин 0,27 користећи поли(натријум 4-стиренсулфонат) као шаблон (енг. template) у масеном односу са анилином од 1:1 и применом H_2O_2 као оксидационог средства [8]. Аутори су приметили да је присуство карбоксилне киселине у пуферу имало одлучујући значај за добијање PANI при овим условима. За разлику од поменутог истраживања, у овој дисертацији композити нису синтетисани уз значајније количине Fe_3O_4 , већ су наночестице Fe_3O_4 примењене у веома малим, каталитичким количинама (масени однос Fe_3O_4 /анилин $< 0,02$). Такође, све реакције полимеризације су извођене без додатка темплата и пуфера, што додатно поједностављује процес и са еколошког и економског аспекта.

Поред већ споменутих класичних метода [2] и нешто новијих праваца који укључују ензимске методе полимеризације [5], у новије време Della Pina и сарадници су испитивали каталитички ефекат наночестица магнетита на реакцију полимеризације p-ADPA и синтезу нанокомпозита PANI/ Fe_3O_4 са оксидационим средствима O_2 и H_2O_2 [9]. Када је H_2O_2 примењен као оксидационо средство, каталитички ефекат је мањи (у поређењу са O_2) јер је полимеризација p-ADPA текла и у одсуству катализатора, са приносом од 40% након 24 h. Међутим, у присуству наночестица Fe_3O_4 , при молском односу p-ADPA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 5$ принос је повећан на 87–91%. Електрична проводљивост овако синтетисаних композита је била око $10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$ [9]. Методом развијеном у овој докторској дисертацији (која такође подразумева оксидативну полимеризацију p-ADPA са наночестицама Fe_3O_4) постигнута је упоредива проводљивост производа p-ADPA/ Fe_3O_4 (истог реда величине као и у раду [9]) за знатно краће време реакције од 2 h.

До сада се само неколико истраживања бавило полимеризацијама AF до PAF [2,10]. Марјановић и сарадници су истраживали оксидације AF са APS у улози оксидационог средства, при чему су остварене проводљивости производа реда величине $10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$ [2]. Kolcu и сарадници су објавили нови еколошки побољшани приступ оксидације AF са H_2O_2 на повишеној температури од 110 °C без употребе шаблона [10]. На овај начин синтетисан је олигоакрифлавин мале молекулске масе од 4950 Da, а нема података о електричној проводљивости производа. Применом наночестица магнетита као катализатора за оксидацију AF са H_2O_2 у оквиру ове дисертације, омогућено је добијање PAF

проводљивости $10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$ и побољшана синтеза у погледу утрошка енергије, јер се реакција са Fe_3O_4 одвија на собној температури.

Резултати ове докторске дисертације указали су да се наночестице Fe_3O_4 могу се сматрати добрим избором катализатора за полимеризацију ариламина са H_2O_2 . Развијена метода полимеризације представља значајан допринос развоју нових еколошки подобних синтеза проводних полимера. Уз велики потенцијал за примену на другим ароматичним аминима као мономерима, ова метода отвара широке могућности за наставак истраживања.

Литература наведена у упоредној анализи:

- [1] G. Ćirić-Marjanovic, M. Trchová, J. Stejskal, The chemical oxidative polymerization of aniline in water: Raman spectroscopy, *J. Raman Spectrosc.* 39 (2008) 1375–1387. <https://doi.org/10.1002/jrs>.
- [2] G. Ćirić-Marjanović, M. Trchová, E.N. Konyushenko, P. Holler, J. Stejskal, Chemical oxidative polymerization of aminodiphenylamines, *J. Phys. Chem. B.* 112 (2008) 6976–6987. <https://doi.org/10.1021/jp710963e>.
- [3] B. Marjanović, G. Ćirić-Marjanović, A. Radulović, I. Juranić, P. Holler, Synthesis and characterization of polyacriflavine, *Mater. Sci. Forum.* 555 (2007) 503–508. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.555.503>.
- [4] H. Zhu, S. Mu, Effect of Fenton reagent on the synthesis of polyaniline, *Synth. Met.* 123 (2001) 293–297. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(01\)00303-4](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(01)00303-4).
- [5] G. Ćirić-Marjanović, M. Milojević-Rakić, A. Janošević-Ležaić, S. Luginbühl, P. Walde, Enzymatic oligomerization and polymerization of arylamines: State of the art and perspectives, *Chem. Pap.* 71 (2017) 199–242. <https://doi.org/10.1007/s11696-016-0094-3>.
- [6] W. Liu, J. Kumar, S. Tripathy, K.J. Senecal, L. Samuelson, Enzymatically synthesized conducting polyaniline, *J. Am. Chem. Soc.* 121 (1999) 71–78. <https://doi.org/10.1021/ja982270b>.
- [7] S. Luginbühl, M. Milojević-Rakić, K. Junker, D. Bajuk-Bogdanović, I. Pašti, R. Kissner, G. Ćirić-Marjanović, P. Walde, The influence of anionic vesicles on the oligomerization of p-aminodiphenylamine catalyzed by horseradish peroxidase and hydrogen peroxide, *Synth. Met.* 226 (2017) 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2017.01.011>.
- [8] C. Yang, J. Du, Q. Peng, R. Qiao, W. Chen, C. Xu, Z. Shuai, M. Gao, Polyaniline/ Fe_3O_4 nanoparticle composite: synthesis and reaction mechanism., *J. Phys. Chem. B.* 113 (2009) 5052–8. <https://doi.org/10.1021/jp811125k>.
- [9] C. Della Pina, M. Rossi, A.M. Ferretti, A. Ponti, M. Lo Faro, E. Falletta, One-pot synthesis of polyaniline/ Fe_3O_4 nanocomposites with magnetic and conductive behaviour. Catalytic effect of Fe_3O_4 nanoparticles, *Synth. Met.* 162 (2012) 2250–2258. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2012.10.023>.
- [10] F. Kolcu, İ. Kaya, Synthesis, characterization and photovoltaic studies of oligo(acriflavine) via chemical oxidative polymerization, *RSC Adv.* 7 (2017) 8973–8984. <https://doi.org/10.1039/c6ra28475b>.

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидата Јане Мишуровић објављена су два рада у врхунским међународним часописима (категорије М21) и пет саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу (категорије М34) на којима је кандидат први аутор:

Радови у врхунским међународним часописима (М21)

1. Jana Mišurović, Miloš Mojović, Budimir Marjanović, Predrag Vulić, Gordana Ćirić-Marjanović, Magnetite nanoparticles-catalysed synthesis of conductive poly(p-aminodiphenylamine), *Synthetic Metals*, 269 (2020) 116577. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116577>.
2. Jana Mišurović, Miloš Mojović, Budimir Marjanović, Predrag Vulić, Gordana Ćirić-Marjanović, Magnetite nanoparticles-catalysed synthesis of conductive polyaniline, *Synthetic Metals*, 257 (2019) 116174. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2019.116174>.

Саопштења са међународног научног скупа штампана у изводу (М34)

1. Jana Mišurović, Budimir Marjanović, Gordana Ćirić-Marjanović, Spectroscopic characterization and redox behaviour of electroconducting poly(p-ADPA) synthesized by simple and eco-friendly method using magnetite nanoparticles as a catalyst, 22nd Annual Conference on Material Science YUCOMAT 2021, Herceg Novi, September 3-7, 2021, Herceg Novi, Montenegro, The Book of Abstracts, p.95.
2. Jana Mišurović, Gordana Ćirić-Marjanović, Danica Bajuk-Bogdanović, “Investigation of Aniline and p-aminodiphenylamine Oxidation Products formed using Fe₃O₄ NPs/H₂O₂ system: Structure and Electrochemical Behavior“, 71st Annual Online Meeting of the International Society of Electrochemistry, 30 August – 4 September 2020, Belgrade, Serbia.
3. Jana Mišurović, Gordana Ćirić-Marjanović, “Novel, eco-friendly approach for the oxidative polymerization of aniline using Fe₃O₄ nanoparticles/H₂O₂ catalytic system“, The 18th Young Researchers' Conference Materials Sciences and Engineering, December 4–6, 2019, Belgrade, Serbia, The Book of Abstracts, p.47.
4. Jana Mišurović, Gordana Ćirić-Marjanović, “Nanofibrous polyaniline preparation by the oxidative polymerization of aniline with the oxidant in excess: Raman and FTIR spectroscopy study“, Twentieth Annual Conference YUCOMAT 2018, Herceg Novi, September 3-7, 2018, Herceg Novi, Montenegro, The Book of Abstracts, p.115.
5. Jana Mišurović, Gordana Ćirić-Marjanović, “Fe₃O₄-assisted oxidative polymerization of aniline“, IUPAC Postgraduate Summer School on Green Chemistry, July 7-13, 2018, Venice, Italy, The Book of Abstracts, p.62.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Б. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидаткиње Јане Мишуровић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије материјала и полимера. Из резултата дисертације кандидаткиње проистекла су два научна рада у врхунским међународним часописима категорије М21 и пет саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу категорије М34, на којима је кандидаткиња први аутор. 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 предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад **Јане Мишуровић** под насловом „Синтеза полианилина и других поли(ариламина) применом наночестица Fe_3O_4 као катализатора“ прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

У Београду, 05.10. 2021. године

Комисија:

др Маја Милојевић-Ракић, доцент
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

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

др Александра Јаношевић Лежаић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Фармацеутски факултет