

**НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ
ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације **Сање М. Живковић**, мастер хемичара

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета, Универзитета у Београду, одржаној 1. септембра 2016. године, одређени смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Сање М. Живковић**, мастер хемичара, пријављене под насловом:

„Примена спектроскопије плазме индуковане импулсним угљендиоксидним ласерским зрачењем за квалитативну и квантитативну анализу чврстих узорака“

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је, на својој 31. седници одржаној 24.11.2016. године, на захтев Хемијског факултета, број: 822/5 од 10.11.2016. године, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (Број одлуке: 61206-5962/2-16).

Након прегледа докторске дисертације, подносимо Већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација **Сање М. Живковић** написана је на укупно 147 страна А4 формата (проред 1,5) и садржи 77 слика и 27 табела. Текст докторске дисертације чине следећа поглавља: Увод (2 стране), Теоријски део (35 страна), Експериментални део (15 страна), Резултати и дискусија (58 страна), Закључци (3 стране), Литература (13 страна) и Прилози (3 стране). Дисертација садржи и уобичајене уводне (непагиниране) стране са неопходним информацијама о докторској дисертацији: сажетак са кључним речима и подацима о научној области на српском (2 стране) и енглеском језику (2 стране) и садржај (3 стране). Поред наведеног, на крају докторске дисертације налазе се биографија аутора, списак објављених научних радова који су резултат рада на

дисертацији и обавезне изјаве (Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу).

У **Уводу** је дат краћи приказ актуелности теме са истакнутим главним циљевима дисертације.

У **Теоријском делу** дефинисани су основни појмови везани за спектроскопију ласерски индуковане плазме (LIBS). Описани су ласерски, оптички и детекциони системи као и најзначајнији процеси везани за интеракцију ласерског зрачења са узорком. Поред тога, наведене су могућности аналитичке примене ласерски индуковане плазме као спектрохемијског извора. Такође, дати су основни појмови везани за оптичку емисиону спектроскопију - индуктивно спрегнуте плазме (ICP-OES) која је као стандардна аналитичка техника примењена за евалуацију добијених LIBS резултата. У оквиру овог поглавља, кандидат је дао и преглед литературе везане за проблематику ове дисертације.

Експериментални део садржи детаљни опис лабораторијске експерименталне поставке за спектроскопију ласерски индуковане плазме. Наведене су основне карактеристике ласерских система коришћених у изради дисертације, са посебним освртом на услове озрачивања и испитивања ласерски индуковане плазме. У оквиру овог поглавља, описан је начин припреме лабораторијских LIBS стандарда и узорака за LIBS анализу. Такође, дати су основни параметри ICP-OES спектрометара коришћених у раду и описана је припрема узорака за анализу ICP-OES методом.

У делу **Резултати и дискусија** приказани су и дискутовани добијени резултати. Ово поглавље се због боље прегледности састоји из три целине. Најпре су презентовани резултати добијени анализом узорка геолошког порекла у симулираним атмосферским условима који владају на Марсу и резултати испитивања састава и притиска околног гаса на карактеристике плазме индуковане на базалту. У другој целини описана је квалитативна и квантитативна анализа узорака биолошког порекла. На крају је дата спектрохемијска анализа металних легура, алуминијума и ливеног гвожђа. У оквиру овог поглавља приказани су и резултати учешћа у 2. интернационалном међулабораторијском LIBS поређењу. Сви добијени резултати повезани су и упоређени са подацима добијеним ICP-OES методом као и са литературним подацима добијеним различитим LIBS системима за узорке сличне основе.

У поглављу **Закључци** су сумирани резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације и изведени закључци истраживања.

Литература обухвата списак радова релевантних за област истраживања ове дисертације.

Прилог садржи табелу са подацима који су коришћени у оквиру истраживања као и званичан извештај о учешћу 2. интернационалном међулабораторијском LIBS поређењу.

Б. Кратак опис постигнутих резултата

У оквиру ове дисертације, испитиване су могућности примене спектроскопије плазме индуковане импулсним угљендиоксидним ласерским зрачењем за квалитативну и квантитативну анализу чврстих узорака. Као извор ласерског зрачења коришћен је импулсни ТЕА CO₂ ласер који емитује зрачење у инфрацрвеном делу спектра ($\lambda=10,6$ μm). За потребе ових истраживања коришћени су базалтна стена као представник узорака геолошког порекла, спинулина и нана као представници биолошких узорака, алуминијум и ливено гвожђе као узорци металних легура.

Најпре су приказани и дискутовани резултати везани за спектроскопију плазме индуковане дејством зрачења ТЕА CO₂ ласера на узорку базалта. Одређена је минимална енергија ласерског зрачења потребна за формирање плазме и испитана је зависност интензитета емисионих линија (Mg I 383,83 nm и Sr II 407,7 nm) од примењене енергије ласерског зрачења. Временски-интеграљена просторно-разложена спектроскопија примењена је за квалитативну анализу узорка базалта при симулираним условима који владају на планети Марс. На добијеним емисионим спектрима идентификоване су линије Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Si, Sr, Ti, V и Zr. Добијене границе детекције упоредиве су а за неке елементе чак и боље од резултатата других аутора који су користили другачије ласерске системе за анализу истог типа узорака у истим или сличним условима околне атмосфере. У циљу испитивања могућности примене овог LIBS система у различитим амбијенталним условима, испитиван је утицај састава (ваздух, аргон, угљен диоксид) и притиска околног гаса на формирање плазме и њене спектралне карактеристике. Методом Болцманове праве процењена је температура плазме док је концентрација електрона израчуната из Штаркових ширина линија. Дијагностика ласерски индуковане плазме је показала да на притиску од 10 mbar састав околне атмосфере има занемарљив утицај на параметре плазме као и да је температура плазме генерисане у аргону и ваздуху независна од промене притиска док у атмосфери угљен диоксида температура плазме расте са порастом притиска. Такође, густина електрона расте са порастом притиска у свим испитиваним гасовима, са највећим

вредностима у атмосфери угљендиоксида. Генерално, плазма индукована у атмосфери угљендиоксида је знатно веће електронске густине и температуре у односу на плазму индуковану у аргону или ваздуху.

Биолошки узорци, алга спиролина и чај од нане, су коришћени за успостављање квантитативне LIBS методе. Плазма је индукована озрачивањем узорака у ваздуху на атмосферском притиску. Квалитативна анализа послужила је за одређивање елементног састава као и за одабир анализата од интереса за квантитативну анализу. Резултати квалитативне анализе спиролине добијени коришћењем лабораторијског LIBS система на бази TEA CO₂ ласера упоређени су са резултатима добијеним употребом комерцијалног LIBS система са Nd:YAG ласером и временском резолуцијом сигнала. Премда се примењени ласери разликују у енергији фотона, трајању и енергији импулса, ови резултати су показали да је за прашкасте узорке биолошког порекла TEA CO₂ ласер супериорнији у односу на примењени Nd:YAG ласер у погледу детектабилности и граница детекције, као и да су квалитетнији спектри са оштријим линијама и релативно нижим интензитетом позадине добијени из емисије плазме индуковане угљендиоксидним ласером. Такође, у оквиру израде дисертације развијена је метода за припрему калибрационих LIBS стандарда, за прашкасте узорке, чија је концентрација одређена стандардном методом (ICP-OES). Помоћу ових стандарда конструисане су калибрационе криве. Линеарна зависност интензитета LIBS сигнала од концентрације анализата у узорку спиролине постигнута је за Ba, Fe, Mg, Mn и Sr. Коефицијенти регресије били су изнад 0,92 док је прецизност мерења била између 1,9-8,6 % у зависности од елемента. Добијени резултати квантитативне анализе показали су добро слагање са ICP-OES методом. Поред тога, процењене границе детекције су упоредиве са резултатима других аутора који су користили различите LIBS системе за анализу узорака са сличном основом. Метода стандардног додатка употребљена је за квантитативну анализу Mn и Ba у узорцима чаја од нане. Калибрационе криве су конструисане са три различита приступа: директним наношењем зависности измерених LIBS интензитета у функцији концентрације анализата и нормализацијом измерених LIBS интензитета на интензитет позадине или на интензитет емисије унутрашњег стандарда. Добијени резултати потврђени су ICP-OES методом. Најбоље слагање резултата постигнуто је када је примењена нормализација на интензитет Sr као елемента који је изабран за унутрашњи стандард, чиме је потврђено да код екситационих извора са

значајним флукуацијама, каква је ласерски индукована плазма, овај приступ значајно побољшава аналитичке резултате.

На узорцима алуминијумских легура плазма је генерисана зрачењем угљендиоксидног ласера у атмосфери ваздуха на притиску од 0,5 mbar. Добијени спектри су се састојали од добро раздвојених и оштрих емисионих линија анализата са ниским интензитетом позадинске емисије. За конструисање калибрационе криве употребљен је сет сертификованих референтних стандарда. У условима редуковане атмосфере одређена је концентрација магнезијума у контролном узорку. Добијени резултати су показали добро слагање са ICP-OES методом. Даљом оптимизацијом експеримента, плазма је генерисана на узорцима алуминијума у ваздуху на атмосферском притиску. Исти сет сертификованих референтних стандарда је употребљен за конструисање калибрационих кривих и одређене су концентрације Mg, Fe, Cu и Cr. Упоредо са LIBS анализом, контролни узорци алуминијумских легура, анализирани су ICP-OES методом на два ICP спектрометра и добијено је одлично слагање резултата. Добијене границе детекције су упоредиве са литературним подацима који се односе за на анализу алуминијумских легура коришћењем другачијих LIBS система.

На крају, могућности аналитичке примене предложене LIBS методе на бази TEA CO₂ ласера верификоване су учешћем у 2. интерлабораторијском међународном LIBS поређењу за одређивање легирајућих елемената у узорцима ливеног гвожђа. Плазма је генерисана у ваздуху на атмосферском притиску. У добијеним спектрима, поред испитиваних елемената (Cu, Ni, Cr) детектоване су и линије Fe, Mn, V и Ti. За конструкцију калибрационих кривих примењена је метода унутрашњег стандарда (Fe). Добијене калибрационе криве, коришћене за одређивање концентрација у непознатим узорцима, за сва три анализата имале су коефицијент корелације већи од 0,99. Резултати добијени LIBS анализом проверени су ICP-OES техником и добијено је прилично добро слагање. Боља прецизност и тачност резултата, очекивано, добија се применом ICP-OES методе али с обзиром да је LIBS брза, директна техника која не захтева припрему узорака, добијени нивои тачности и прецизности су сасвим задовољавајући. Као и код свих осталих експеримената, урађена је процена граница детекција и упоређивање са подацима из литературе за узорке са сличном основом. Добијене границе детекције за Ni и Cr упоредиве су или веће од оних добијених са системима који користе Nd:YAG ласер, док је граница детекције за бакар, постигнута системом примењеним у тези, нижа него код комерцијалних LIBS уређаја. Квантитативна анализа нечистоћа, у алуминијуму

и ливеном гвожђу, показала је да се предложена метода као релативно једноставна и еколошки прихватљива може наћи примену у индустрији за брзу анализу хемијског састава металних легура.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Спектроскопија ласерски индуковане плазме је релативно нова метода спектрохемијске анализе о чијој актуелности сведочи више од 5500 радова објављених у међународним часописима у последњих двадесетак година (извор - *Web of Science*). Због своје универзалности и једноставности, LIBS је нашао велику примену као метода спектрохемијске анализе у различитим областима: геологији, биомедицини, археологији, мониторингу животне средине, праћењу индустријских процеса, свемирским истраживањима и многим другим (D. Cremers, R. Chini, *Appl. Spectrosc. Rev.* 44, 457-506, 2009; D. Hahn, N. Omenetto, *Appl. Spectrosc.* 66, 347-419, 2012). У литератури постоји мноштво различитих инструменталних и методолошких приступа, међутим најчешће коришћени ласерски системи за LIBS су чврстотелни Nd:YAG ласери, док се гасни TEA CO₂ ласери користе много ређе, пре свега за анализу материјала који имају висок коефицијент апсорпције у инфрацрвеној области какви су на пример узорци хране, фармацеутских производа, земљишта и стакла (A. Khumaeni *et al.* *Appl. Spectrosc.* 2008.; A. Khumaeni *et al.* *J. Phys. Conf. Ser.* 1025 p.01007, 2018).

Због високе температуре електрона, а самим тим и велике електронске густине електрона који карактеришу почетну фазу еволуције ласерски индуковане плазме, рекомбинациони процеси и заочно зрачење дају велики допринос емисији због чега спектре карактерише неспецифична, континуална емисија. Захваљујући чињеници да континуална емисија и процеси атомске и јонске емисије имају различиту временску еволуцију, избором одговарајућег времена кашњења почетка аквизиције у односу на ласерски импулс и времена интегралне емисионог сигнала, може се изабрати временски оквир у коме спектром доминирају атомске и јонске линије елемената присутних у узорку. Оптимизација спектралне емисије у већини експеримената ове докторске дисертације постигнута је применом другачијег приступа који се у литератури назива временски-интегрална просторно-разложена (енг. *time-integrated space-resolved*) TISR LIBS метода, у коме се временска замењује просторном резолуцијом (M. Khater, *et al.*, *J. Phys. D. Appl. Phys.* 33, 2252, 2000). Ова метода омогућава дискриминацију континуалне емисије у односу на специфичну линијску емисију избором дела плазме који се пројектује на улазни разрез детектора. Дobar однос сигнала

према позадини снимањем спектралне емисије из просторно издвојеног дела плазме, без временског разлагања сигнала заснива се на чињеници да се интензивна емисија континуума углавном емитује из зоне плазме која је у непосредној близини површине мете, док са удаљавањем од мете интензитет континуалног зрачења брзо опада. Генерално, TISR метода је много мање заступљена у литератури у односу на LIBS са временском резолуцијом сигнала, док у комбинацији са TEA CO₂ ласером представља оригинални приступ у примени LIBS-а за квантитативну анализу чврстих узорака.

За разлику од квалитативне анализе, која је релативно једноставна и заснива се на идентификацији атомских или јонских линија из емисионог спектра ласерски индуковане плазме, квантитативна LIBS анализа представља много већи изазов. Као и код свих метода које раде са чврстим узорцима, главни недостатак LIBS технике је велики ефекат основе, који потиче од нехомогености самог узорка али и услед веома сложене интеракције ласерског зрачења са узорком, због чега је аналитичка примена LIBS-а дуго времена била ограничена на квалитативну и семиквантитативну анализу. Велики број радова бави се могућностима унапређивања LIBS-а као аналитичке технике за рад са чврстим узорцима. За квантитативну анализу могу се применити два приступа: стандарни калибрациони метод и LIBS без калибрације (енг. Calibration Free LIBS). У овој тези примењен је калибрациони приступ, који захтева употребу сета калибрационих стандарда чији је састав сличан испитиваном узорку (енг. matrix-matched). За ове потребе могу се користити сертификовани референтни материјали који имају декларисан састав. Међутим, врло често не постоје адекватни референтни материјали који су комерцијално доступни или је опсег концентрација које покривају ови стандарди јако узак док њихова висока цена знатно поскупљује анализу. Начин припреме лабораторијских LIBS стандарда, за прашкасте узорке биолошког порекла, који је развијен у овој дисертацији ретко је разматран у литератури.

Метода стандардног додатка се често користи у аналитичкој хемији за анализу комплексних узорака са израженим ефектом основе. Такође, у бројним радовима показано је да се методе нормализације интензитета линије анализита могу применити за смањење ефекта основе у LIBS-у. У овој дисертацији је, применом методе стандардног додатка комбиноване са методом унутрашњег стандарда, побољшана тачност одређивања концентрације анализита у односу на стандардну методу калибрационе криве.

Последњих година, LIBS добија на значају као техника која се интензивно користи у свемирским истраживањима, пре свега за анализу састава тла блиских планета какве су

Марс или Венера (A. Knight *et al.*, *Appl. Spectrosc.* 54, 331-340, 2000). Поред тога, LIBS се успешно користи за анализу и класификацију стена и минерала и геохемијско мапирање. Ове студије су спровођене како у стандардним (на атмосферском притиску ваздуха) тако и у нестандартним амбијенталним условима (различитим гасовима на различитим притисцима). Резултати добијени у овој докторској дисертацији указују на могућност ефикасне примене TEA CO₂ ласера у будућим астрофизичким и геолошким истраживањима.

Познато је да метали имају огроман значај у индустрији, због чега се велики број радова са различитим LIBS системима бави спектроскопијом ласерски индуковане плазме на различитим металним узорцима. Међутим, услед високе рефлективности метала у инфрацрвеном делу спектра, генерисање плазме на металним метама дејством зрачења TEA CO₂ ласера ретко је проучавана (M. Momcilovic *et al.*, *Appl. Spectrosc.* 69, 419–429, 2015). Квантитативна анализа нечистоћа у металима, алуминијумским легурама и ливеном гвожђу, применом спектроскопије плазме индуковане TEA CO₂ ласером, није до сада забележена у литератури и представља оригиналан научни допринос.

Г. Објављени или саопштени радови који чине део докторске дисертације

Научни радови публиковани у међународним научним часописима:

1. J. Savovic, M. Stoiljkovic, M. Kuzmanovic, M. Momcilovic, J. Ciganovic, D. Rankovic, **S. Zivkovic**, M. Trtica, *The feasibility of TEA CO₂ laser-induced plasma for spectrochemical analysis of geological samples in simulated Martian conditions*, *Spectrochim. Acta B* 118 (2016) 127–136. (M21, IF 2015 - 3.289) <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.02.020>
2. **S. Zivkovic**, J. Savovic, M. Trtica, J. Mutic, M. Momcilovic, *Elemental analysis of aluminum alloys by Laser Induced Breakdown Spectroscopy based on TEA CO₂ laser*, *J. Alloy. Comp.* 700 (2017) 175-184. (M21a, IF 2016 - 3.133) <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.01.060>
3. **S. Zivkovic**, M. Momcilovic, A. Staicu, J. Mutic, M. Trtica, J. Savovic, *Spectrochemical analysis of powdered biological samples using TEA CO₂ laser plasma excitation*, *Spectrochim. Acta B* 128 (2017) 22-29. (M21, IF 2015 - 3.289) <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.12.009>

4. J. Savović, **S. Živković**, M. Momčilović, M. Trtica, M. Stoiljković, M. Kuzmanović, *Determination of low alloying element concentrations in cast iron by laser induced breakdown spectroscopy based on TEA CO₂ laser system*, J. Serb. Chem. Soc. 82(10) (2017) 1135-1145. (M23, IF 2015 - 0.970) <https://doi.org/10.2298/JSC170303073S>
5. **S. Zivkovic**, J. Savovic, M. Kuzmanovic, J. Petrovic, M. Momcilovic, *Alternative analytical method for direct determination of Mn and Ba in peppermint tea based on laser induced breakdown spectroscopy*, Microchem. J. 137 (2018) 410-417. (M21, IF 2016 - 3.034) <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.11.020>

Конгреси и саопштења:

1. **S. Zivkovic**, M. Momcilovic, J. Ciganovic, M. Kuzmanovic, M. Stoiljkovic, A. Staicu, M. Trtica, J. Savovic, *Capabilities of TEA CO₂ Laser Based LIBS for Analysis of Geological and Plant Materials*, 8th Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy 2015, 14-18. September, Linz, Austria. (M34)
2. **S. Živković**, J. Mutić, J. Savović, M. Momčilović, *Primena plazme indukovane TEA CO₂ laserskim zračenjem za određivanje koncentracije Mg u aluminijumskim legurama*, 53. savetovanje Srpskog hemijskog društva, Kragujevac 2016., 15-19 (M63)
3. **S. Živković**, M. Momčilović, J. Savović, *Određivanje elemenata u tragovima u svemirskoj hrani primenom spektroskopije laserski indukovane plazme*, 4. konferencija mladih hemičara Srbije, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd 2016., 36 (M64)
4. **S. Zivkovic**, M. Momcilovic, J. Savovic, *Application of TEA CO₂ LIBS for Elemental Analysis of Powdered Biological Samples*, 9th Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy 2017, 11-16 June, Pisa, Italy. Book of Abstracts OL217 (M34)
5. M. Momcilovic, **S. Zivkovic**, M. Trtica, J. Savovic, *LIBS Analysis of aluminium alloys: An Alternative Approach*, 9th Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy 2017, 11-16 June, Pisa, Italy. Book of Abstracts PP66 (M34)

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност ове докторске дисертације проверена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (*Гласник Универзитета у Београду*, бр. 204/22. 06. 2018). Помоћу програма *iThenticate*, утврђено је да количина подударња текста износи 14 %. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података у вези са темом дисертације, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9. овог Правилника. Поред тога, услед непотпуне прилагођености програма *iThenticate* српском језику и ћириличном писму, дошло је до непрепознавања целог поглавља (*Литература - 13 страна*) због чега је програм наведене референце које су цитиране у дисертацији означио као текст који се поклапа што је знатно увећало проценат подударња текста.

Стога сматрамо да је утврђено да је докторска дисертација **Сање Живковић** у потпуности оригинална, као и да су у потпуности испоштована академска правила цитирања.

Ђ. Закључак

Комисија је на основу детаљног прегледа докторске дисертације **Сање М. Живковић** под насловом **„Примена спектроскопије плазме индуковане импулсним угљендиоксидним ласерским зрачењем за квалитативну и квантитативну анализу чврстих узорака“**, закључила да је истраживање у оквиру дисертације засновано на савременим сазнањима, спроведено у складу са свим начелима научно-истраживачког рада и коришћењем одговарајуће савремене методологије и представља оригиналан и значајан научни допринос проучавању спектрскопије ласерски индуковане плазме.

Резултати истраживања, проистекли из ове докторске дисертације, објављени су у оквиру пет радова који су штампани у међународним часописима: један рад штампан у међународном часопису изузетних вредности (M21a), три рада штампана у врхунским међународним часописима (M21) и један рад штампан у међународном часопису (M23). Такође, резултати истраживања су презентовани у оквиру 5 саопштења, од чега су три саопштења на скуповима међународног значаја штампана у изводу (M34), једно саопштење на скупу националног значаја штампано у целини (M63) и једно саопштење на скупу националног значаја штампано у изводу (M64).

Главни резултат ове дисертације је развијена поуздана, брза и једноставна метода за идентификацију различитих елемената и одређивање њихове концентрације у чврстим узорцима. Ову методу могуће је применити и на терену и безбедна је за животну средину јер не захтева претходну припрему узорака и употребу корозивних хемикалија а при том обезбеђује резултате упоредљиве са стандардним аналитичким спектрохемијским техникама каква је ICP-OES.

На основу свега наведеног Комисија сматра да су испуњени сви услови за одбрану докторске дисертације и предлаже Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду да поднету докторску дисертације **Сање М. Живковић** под насловом **„Примена спектроскопије плазме индуковане импулсним угљендиоксидним ласерским зрачењем за квалитативну и квантитативну анализу чврстих узорака“** прихвати и одобри њену одбрану за стицање академског звања доктора хемијских наука.

Београд

15. 11. 2018.

Комисија:

др Милош Момчиловић, научни сарадник
Универзитет у Београду
Институт за нуклеарне науке ВИНЧА (ментор)

др Јелена Мутић, ванредни професор
Универзитет у Београду
Хемијски факултет, (ментор)

др Драган Манојловић, редовни професор
Универзитет у Београду
Хемијски факултет

др Јелена Савовић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду
Институт за нуклеарне науке ВИНЧА