

**Наставно–научном већу Факултета за физичку хемију  
Универзитета у Београду**

На IV редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију одржаној 16. 1. 2025. године именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Милице Марковић, мастер физикохемичара, под насловом:

**„СПЕКТРОХЕМИЈСКА АНАЛИЗА ЖИВОТИЊСКИХ КОСТИЈУ КАО МОДЕЛ СИСТЕМА  
У ФОРЕНЗИЦИ“**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са VI редовне седнице одржане 15. 3. 2024. 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 14. седници одржаној 28. 3. 2024. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације. Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидаткиње, Наставно-научном већу подносимо следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**А. Приказ садржаја дисертације**

Докторска дисертација кандидаткиње Милице Б. Марковић написана је на српском језику, на 127 страна А4 формата (фонт Times New Roman величине 12 pt, са проредом 1, маргинама 2 cm). Дисертација садржи укупно 60 слика и 14 табела (од којих су 43 слике и 13 табела оригинални резултати кандидаткиње) и 131 литературни навод. Дисертација се састоји из 7 поглавља: *Увод* (2 стране), *Теоријски део* (30 страна), *Актуелност проблематике у свету* (4 стране), *Циљеви рада* (2 стране), *Експериментални део* (4 стране), *Резултати и дискусија* (57 страна), *Закључак* (3 стране) и *Литература* (8 страна). Поред тога, дисертација садржи: *Захвалницу* на српском језику, *Изводе* на српском и енглеском језику, *Садржај*, *Биографију кандидаткиње* на српском језику, *Списак објављених радова*, *Изјаву о ауторству*, *Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада* и *Изјаву о коришћењу*. Дисертација је по својој структури и садржају у потпуности у складу са стандардима прописаним од стране Универзитета у Београду.

*Увод* садржи кратак приказ историјског развоја и значај форензичких испитивања.

*Теоријски део* је подељен у осам тематских целина. У првој целини *Кост као форензички/антрополошки/археолошки материјал* описани су грађа и састав костију са посебним освртом на колаген и хидроксиапатит као најважније изграђивачке компоненте костију. У другој целини *Модел системи у форензичким испитивањима* описан је историјски развој и значај примене модел система у форензичкој пракси. Посебан акценат је стављен на примену кадавера домаћих свиња као аналога за људске у савременој форензичкој ентомологији и тафономији који су уведени крајем 80-тих година 20. века, од када домаће свиње постају најчешће и највише коришћени модели кадавера у форензичким испитивањима. У трећој целини теоријског дела дисертације, *Утицај киселина на форензички материјал*, описан је утицај киселина на

различите форензичке материјале, текстил и влакна, боје и премазе, металне и стаклене предмете, као и биолошке узорке, мека и тврда ткива са посебним освртом на утицај на састав костију. У четвртој целини, **Спектроскопске и друге методе у форензичким испитивањима**, описане су савремене методе и технике које се најчешће користе у форензичкој пракси са посебним освртом на примену методе и технике атомске и молекулске спектроскопије које заузимају најважније место. Детаљно су описане методе као што су: спектроскопија ласерски индуковане плазме (LIBS), вибрационе спектроскопије (инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом, FTIR-Fourier Transform Infrared Spectroscopy, и раманска спектроскопија, RS-Raman Spectroscopy,) као и скенирајућа електронска микроскопија са енергетски дисперзионом спектроскопијом рендгенских зрака (SEM-EDX-Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray spectroscopy).

У трећем поглављу, **Актуелност проблематике у свету**, дат је опис резултата из литературе који су у вези са предложеном темом дисертације. Приказани су најзначајнији резултати примене LIBS-а и вибрационих спектроскопија (инфрацрвене и раманске) у форензичкој анализи костију.

У четвртом поглављу, **Циљеви рада**, описане су ближе одреднице два постављена циља дисертације који су подразумевали: а) оптимизацију LIBS технике за елементну анализу главних компонената и трагова у узорку хемијски третиране и нетретиране свињске рамене кости, применом ласерских извора зрачења различитих карактеристика, TEA CO<sub>2</sub> (*Transversely Excited Atmospheric pressure carbon dioxide*) и Nd:YAG (*Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet; Nd:Y3Al5O12*) ласера и б) испитивање утицаја киселина на хемијски састав свињске кости.

У оквиру поглавља **Експериментални део** наведени су подаци о узорку свињске рамене кости и начину припреме узорака. Поред тога, наведени су материјали, реагенси и хемикалије који су коришћени током реализације експеримената, као и опис експерименталних процедура коришћених у оквиру докторске дисертације.

Поглавље **Резултати и дискусија** обухвата 9 целина у којима су представљени резултати: анализе LIBS спектра нетретиране кости, дијагностике плазме (одређивање густине електрона и температуре плазме), профилометријске анализе кости, анализе FTIR спектра кости третиране киселинама (утицај хлороводоничне, флуороводоничне и сирћетне киселине различитих концентрација (0,1 и 1 М)), анализе раманских спектра (утицај хлороводоничне, флуороводоничне и сирћетне киселина различитих концентрација (0,1 и 1 М)), одређивања квантитативних параметара квалитета кости у растворима хлороводоничне, флуороводоничне и сирћетне киселине, анализе FTIR спектра кости третиране сумпорном киселином (различитих концентрација (0,01; 0,1 и 1 М) и времена деловања (1, 7 и 14, дана)), анализе површине кости применом SEM-EDX методе и анализе LIBS спектра третиране кости.

У поглављу **Закључци** сумирани су и прокоментарисани резултати добијени у оквиру докторске дисертације.

Наведена **Литература** (131 цитат) обухвата радове/књиге из области истраживања и покрива све делове дисертације.

## **Б. Кратак опис постигнутих резултата**

Приказани резултати односе се на актуелну проблематику и пружају свеобухватан увид у деловање различитих деминерализујућих киселина на свињску кост. Применом комплементарних метода молекулске спектроскопије (FTIR-ATR, раманска спектроскопија), *in situ* атомске емисионе спектроскопије ласерски индуковане плазме (LIBS) и техника високе резолуције за

анализу површина узорака (SEM-EDX), добијени су вредни подаци и нови увид у структурне/морфолошке промене у свињској кости изазване дејством хлороводоничне, флуороводоничне, сирћетне и сумпорне киселине различитих концентрација и времена деловања. Оваквим приступом пружена је могућност за свеобухватно разумевање ефеката киселина на свињску кости као модел система у форензичким испитивањима.

LIBS техника заснована на примени TEA CO<sub>2</sub> ласеру ниске енергије импулса се и у овим испитивањима показала као ниско инвазивна техника и брз дијагностички алат у елементној анализи узорака костију у реалном времену. Добијене ниске границе детекције за Mg (16 ppm) и Zn (12 ppm) указале су на то да се ова техника може користити за детекцију већине метала у костима, са границама детекције између 10-100 ppm. Потврђена је могућност употребе C и Na линија за дијагностику плазме, одређене су оквирне вредности концентрације електрона од  $2,9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  и  $1,9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  и температуре јонизације у опсегу од 10500 до 18100 K, у зависности од својства елемента чије су линије коришћене за дијагностику. У раду је такође потврђена способност LIBS-а за дубинску профилацију хемијског састава, уз примену оптичке профилометрије. Констатовано је да је брзина аблације по просечном пулсу око 6  $\mu\text{m}$ , за густину енергије ласера између 15,6 и 18,2 J cm<sup>-2</sup>. Такође је констатовано да се дубина аблације по импулсу полако смањује са повећањем броја узастопних ласерских импулса примењених на истој циљној позицији.

Карактеристични параметри испитиване свињске кости показали су концентрацијски зависне промене у садржају минерала у матрици кости, кристаличности минерала и садржају карбоната под дејством хлороводоничне, флуороводоничне и сирћетне киселине. Праћење промена у саставу органске и неорганске матрице кости дало је увид у степен структурног интегритета кости. Асигнација трака у спектрима деконволуције у областима вибрација карактеристичним за неорганску (хидроксиапатит) и органску матрицу (колаген) кости указали су на различите степене очуваности структуре колагена и састава фосфата услед деловања испитиваних киселина при чему се садржај фосфата, иначе динамичан по природи, показао као подложнији променама.

Вредности квантитативних параметра израчунати из инфрацрвених спектра, као што је вредност односа минерала према органској матрици је најмањи, у случају обе концентрације, приликом деловања хлороводоничне киселине што указује на њену већу способност да деминерализује првенствено неорганску матрицу кости.

Више вредности индекса кристаличности кости после третмана киселинама у односу на референтни раствор потврдиле су селективно растварање органских и некрystalних компоненти унутар коштане матрице. Показано је да третман киселинама има за последицу разградњу како органске фазе кости, попут колагена, тако и аморфних облика минерала остављајући за собом више концентровану и добро уређену кристалну фазу која се првенствено састоји од хидроксиапатита. Констатовано је да овај процес побољшава укупну кристаличност преостале минералне структуре елиминисањем мање уређених фаза. Насупрот томе показано је да референтни раствор, вода, генерално не изазива исти степен растварања органских и слабо кристалних компоненти кости иако у води може доћи до извесног испирања растворљивих материја.

Већи однос карбонат-фосфат у кости третираној 1 M сирћетном киселином у поређењу са 1 M флуороводоничном киселином указао је на селективне карактеристике растварања обе киселине, при чему сирћетна киселина као слаба органска киселина првенствено делује на

органску матрицу кости, као што је колаген, док има мање изражен ефекат на минералну фазу. Умерено растварање сирћетном киселином омогућава да више карбонатних јона остане повезано са минералом кости. Немогућност израчунавања односа карбонат-фосфат у кости третираној 1 М хлороводоничном киселином последица је агресивнијег растварања хидроксиапатита и ослобађања угљен-диоксида што има за последицу губитак карбоната.

Констатовано је да је одсуство потпуне корелације свих квантитативних параметара добијених из инфрацрвених и раманских спектра последица одсуства недостатка неких релевантних трака као и интензивне флуоресцентне емисије компонената кости (услед разградње минералне фазе и присуства аминокиселина, нуклеотида, ћелијских метаболита) услед третмана киселинама. Анализа утицаја сумпорне киселине на свињску кост указала је на сложену секундарну структуру колагена и присуство карбонилних једињења насталих фрагментацијом полипептида. Најочљивије промене у структури амид I траке су биле евидентне након прва 24 сата деловања киселине. Како је концентрација киселине повећавана а време деловања продужавано то су траке које се асигнирају структурним компонентама колагена, као што су троструки хеликс (спирала) и  $\beta$ -turn облик имале мањи интензитет док се интензитети трака других компонената нису мењали, што је указивало да се примарни структурни интегритет, неопходан за затезну чврстоћу колагена, донекле одржава, упркос деградацији кости. Важно је напоменути да се, иако је примећено очување троструког хеликса колагена, дугорочни структурни интегритет кости може, и вероватно јесте, и даље био угрожен због механизма деградације који су повезани са растварањем минералних компоненти кости. Вредности индекса зрелости колагена одражавали су нарушену равнотежу између зрелог (пиридинолинског) и незрелог (дихидроксинорлеуцинског) умрежавања колагена уз растући тренд зрелог умрежавања током времена. Ова промена одражавала је потенцијални ефекат „старења кости“ изазван агресивним хемијским третманом пре него природни процес тзв. ремоделовања кости. Конзистентност у карактеристикама спектра деконволуције у области амид I траке, у различитим условима (концентрација и време деловања киселине) сугерисала је форензичке импликације резултата, јер све наведене спектралне карактеристике могу помоћи у процени трајања изложености кости киселинама и идентификацији потенцијалних хемијских третмана који су примењени.

Третман сумпорном киселином је такође значајно утицао на минералну компоненту кости, хидроксиапатит. Анализа инфрацрвених спектра у домену  $\nu_1/\nu_3(\text{PO}_4^{3-})$  вибрације указала је на приметне промене у интензитету, ширини, структури и положају наведене траке. Комплексна структура трака у областима где се јавља амида I трака и трака  $\nu_1/\nu_3(\text{PO}_4^{3-})$  вибрације онемогућила је поуздано одређивање квантитативних односа, попут односа минерала и матрице, за процену хемијски изазваних промена на кости, што је била кључна разлика у деловању сумпорне киселине у односу на остале испитиване киселине. Овакви резултати се могу објаснити фрагментацијом полипептида, растварањем минерала, преклапањем фосфатних и сулфатних трака (од формираног калцијум-сулфата), као и преклапањем са траком амид III вибрације.

LIBS и AAS анализе су додатно потврдиле ове резултате, указујући да процес деминерализације зависи од времена деловања и концентрације киселине. Констатовано је да однос интензитета линија Са II/Са I индиректно одражава минералну густину и тврдоћу кости. Повећање односа Са II/Са I са концентрацијом и трајањем деловања киселине указао је на очвршћавање површине кости услед стварања калцијум-сулфата. Резултати AAS анализе раствора преосталих након уклањања кости показали су да су садржаји калцијума, фосфора и магнезијума значајно варирали између референтних узорака и узорака третираних киселином као и то да су

били временски и концентрационо зависни. Констатовано је да је, како је површина кости постајала тврђа због формирања калцијум-сулфата, концентрација калцијума у растворима опадала, и то осам пута од првог до четрнаестог дана третмана сумпором киселином (1 M раствори) док је насупрот томе, концентрација фосфора и магнезијума у растворима порасла 1,8 и 2,5 пута, редом, од првог до четрнаестог дана третмана сумпором киселином (1 M раствори).

SEM-EDX анализа указала је на значајне ефекте различитих третмана киселинама на морфологију и хемијски састав узорака кости, откривајући различите обрасце у растварању неорганских и органских компоненти. Хлороводонична киселина је показала највећу моћ деминерализације, што је имало за последицу значајно смањење садржаја и калцијума и фосфора, а што је у складу са резултатима добијеним анализом инфрацрвених спектра. Насупрот томе, третман флуороводоничном киселином повећао је нивое калцијума и фосфора и значајно смањио садржај угљеника, што је указало на мањи утицај на садржај минералне у односу на органску фазу кости. Сирћетна киселина, као слаба киселина, показала је минималан утицај на атомске фракције калцијума, фосфора и угљеника, што је указало на одрживост структурног интегритета коштане матрице. Третман сумпорном киселином потврдио је селективно испирање фосфора уз одржавање стабилних нивоа угљеника, што је имплицирало да органска фаза кости остаје очувана растварањем минерала.

У закључку се може рећи да резултати ове дисертације пружају могућност да се уобличи наше разумевање о томе како се кадавери људи могу разградити у различитим срединама и откривају значајан утицај киселина на органски и минерални састав биолошких апатита, наглашавајући сложену везу између хемијских и физичких промена у структури кости. Гледано са аспекта форензичких/археолошких/медицинских испитивања, сложене интеракције уочене у органској и неорганској матрици свињске кости у киселим условима могле би помоћи да се разуме како фактори животне средине и они изазвани људским деловањем доприносе деградацији костију. У овом контексту веома су важне промене у структурном интегритету, посебно промене у секундарној структури колагена и садржају минерала, које одражавају како хемијски третмани могу утицати на скелетне остатке. Такво знање је кључно када се испитују стварни форензички узорци или археолошка налазишта где стање очуваности костију може бити угрожено услед излагања киселинама или другим хемикалијама.

## **В. Компаративна анализа резултата кандидаткиње са резултатима из литературе**

Научни допринос резултата ове докторске дисертације се огледа у свеобухватном приступу анализе кости домаће свиње. Компаративна анализа резултата добијених у оквиру ове дисертације у односу на податке из литературе пружа значајна нова сазнања у области форензичке анализе свињских костију као модел система у форензичкој анализи.

По први пут, барем на основу нама доступне литературе, изведена је систематска студија о утицају одабраних органских и неорганских киселина на квалитет форензички релевантних особина свињске кости. Применом више спектроскопских метода и метода анализе површинског састава кости омогућено је добијање експерименталних резултата који су корисни у сагледавању могућности и ограничења у примени метода као што су LIBS, FTIR, раманска спектроскопија и SEM-EDX у аналитичке форензичке сврхе. Укратко, ова студија је пружила нове увиде у ефикасност различитих метода деминерализације кости и поставила оквир за будућа компаративна проучавања. Таква сазнања су потенцијално веома важна и корисна како са становишта фундаменталних истраживања тако и примењених истраживања у областима форензике и

антропологије. Претпоставка је да ће се резултати добијени у овој докторској дисертацији моћи генерализовати на већину хемијски третираних узорак костију различитог порекла.

Напредак у развоју спектроскопских метода, посебно у LIBS-у, FT-IR и раманској спектроскопији, значајно је унапредио анализу форензичких узорак костију и пружио истраживачима робусне алате за спровођење детаљних истраживања скелетних остатака [1].

Примена LIBS технике у областима биоархеологије и форензичке антропологије отвара нова врата за брзу и недеструктивну анализу скелетних остатака омогућавајући да се сагледају људске/животињске варијације на елементарном нивоу, и креирају индивидуалних профила елементног састава [2-4]. LIBS се све више истиче као брза и недеструктивна техника која омогућава диференцијацију људских и животињских скелетних остатака на основу њиховог елементног састава. Ова диференцијација је посебно драгоцену, јер варијације у елементном саставу могу одражавати навике у исхрани и услове животне средине јединки током живота. Нивои специфичних елемената, као што је стронцијум, могу датим увид у географске области одакле потичу појединци или одређене врсте, док односи интензитета линија калцијума и флуора (Ca/F) и угљеника и азота (C/N) пружају важне податке о стање очуваности коштаног материјала и интегритету колагена.

Поред LIBS-а, вибрационе спектроскопије су комплементарне методе које додатно побољшавају аналитичке могућности доступне истраживачима. Технике као што су FTIR и раманска спектроскопија нуде могућности за детаљну анализу молекулског састава биолошких ткива, омогућавајући идентификацију кључних конституената и одређивање карактеристичних параметара повезаних са квалитетом коштаног материјала. Када се користе у комбинацији са напредним методологијама као што су хиперспектрално снимање и сонде са оптичким влакнима, ове вибрационе методе пружају форензичким антрополозима могућност да се добију кључне информације о полу, старости и здравственом статусу појединаца и животиња на основу анализе коштаног ткива. Висок ниво прецизности ових метода је од суштинског значаја не само за фундаментална истраживања већ и за практичну примену у форензици, где разумевање контекста у коме се налазе скелетни остаци може имати значајне законске импликације [5].

Примена вибрационих спектроскопских метода и дифракције рендгенских зрака је веома корисна и у испитивањима спаљених скелетних остатака омогућавајући разликовање перимортем траума и повреда изазваних ватром [6]. Применљивост спектроскопских метода проширује се и на студије о деминерализацији скелетних остатака хемијским средствима. Методама атомске и молекулске спектрохемије могу се пратити динамика очувања и деградација коштаног ткива која утиче на структурни интегритет кости [7,8]. Применом вибрационих спектроскопских метода могуће је веома поуздано испитивати и степен умрежавања колагена који представља једну од главних карактеристика органске матрице кости као и израчунавање кристалинност биоапатита, који је од великог практичног значаја за физикохемијска и микроструктурна својства, процену интегритет коштаног материјала, просечне величине кристалита и садржаја структурног карбоната у биоапатитима [9,10].

### **Литература:**

1. Tilstone WJ, Savage KA, Clark LA. *Forensic Science: An Encyclopedia of History, Methods, and Techniques*. Bloomsbury Academic; 2006. <https://books.google.rs/books?id=zIRQOssWbaoC>
2. Kasem MA, Gonzalez JJ, Russo RE, Harith MA, *Talanta*, 108, 53, 2013. <https://doi:10.1016/j.talanta.2013.02.062>

3. Rusak DA, Marsico RM, Taroli BL. Appl Spectrosc. 2011;65(10):1193. <https://doi:10.1366/11-06364>
4. Mehari F, Rohde M, Knipfer C, et al. Laser induced breakdown spectroscopy for bone and cartilage differentiation - ex vivo study as a prospect for a laser surgery feedback mechanism, *Biomed Opt Express*, 5(11):4013, 2014. <https://doi:10.1364/BOE.5.004013>
5. Querido W, Kandel S, Pleshko N, *Molecules*, 2021;26:922. <https://doi:10.3390/molecules26040922>
6. Mamede AP, Gonçalves D, Marques MPM, Batista De Carvalho LAE. Burned bones tell their own stories: A review of methodological approaches to assess heat-induced diagenesis, *Applied Spectroscopy Reviews*, 53(8):603, 2018. <https://doi:10.1080/05704928.2017.1400442>
7. Figueiredo M, Cunha S, Martins G, Freitas J, Judas F, Figueiredo H. Influence of hydrochloric acid concentration on the demineralization of cortical bone. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(1):116, 2011. <https://doi:10.1016/j.cherd.2010.04.013>
8. Caputo I, Lepretti M, Scarabino C, Esposito C, Proto A. An acetic acid-based extraction method to obtain high quality collagen from archeological bone remains, *Analytical Biochemistry*, 421(1), 92, 2012. <https://doi:10.1016/j.ab.2011.10.024>
9. Mieczkowska A, Mabilieu G. Validation of Fourier Transform Infrared Microspectroscopy for the Evaluation of Enzymatic Cross-Linking of Bone Collagen, *Calcified Tissue International*, 113(3), 344, 2023. <https://doi:10.1007/s00223-023-01105-z>
10. Dal Sasso G, Asscher Y, Angelini I, Nodari L, Artioli G. A universal curve of apatite crystallinity for the assessment of bone integrity and preservation, *Scientific Reports*, 8(1), 12025, 2018. <https://doi:10.1038/s41598-018-30642-z>

#### **Г. Научни радови објављени у међународним часописима и саопштења са скупова који су део докторске дисертације**

Резултати испитивања у оквиру ове докторске дисертације до сада су објављени у оквиру три научна рада на којима је кандидаткиња први аутор. Два рада штампана су у врхунским међународним часописима (**2 M21**), а један рад у истакнутом међународном часопису (**1 M22**). Такође, резултати су приказани у облику седам саопштења на научним скуповима међународног и националног значаја штампаних у изводу (**4 M33, 1 M34, 2 M64**).

#### **Врхунски међународни часописи (M21)**

- **Milica Marković**, Miroslav Kuzmanović, Dragan Ranković, Danica Bajuk-Bogdanović, Aleksandra Šajić, Dušan Dimić, From Structure to Strength: Analyzing the Impact of Sulfuric Acid on Pig Bone Demineralization Through FTIR, LIBS, and AAS, *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 12250, 2024. <https://doi.org/10.3390/ijms252212250>
- **Milica Marković**, Miroslav Kuzmanović, Igor Pašti, Danica Bajuk-Bogdanović, Dragan Ranković, Dušan Dimić, Comprehensive spectroscopic and morphological analysis of the effects exerted by different acids on Pig bone: Forensic aspect, *Forensic Science International*, 366, 112310, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112310>

#### **Истакнути међународни часописи (M22)**

- **Milica Marković**, Dragan Ranković, Marjetka Savić, Ivana Perović, Dubravka Milovanović, Miroslav Kuzmanović, Application of laser-induced breakdown spectroscopy for the analysis of pig bones, *Measurement Science and Technology*, 35, 025502, 2024. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ad060d>

### Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

- **Milica Marković**, Dragan Ranković, Marjetka Savić-Biserčić, Milan Trtica, Jelena Savović, Miroslav Kuzmanović, Optical spectroscopy investigation of plasma induced by irradiation of animal bone with tea CO<sub>2</sub> laser, 15th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 20-24, 2021, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 82-85.
- **Milica Marković**, Dragan Ranković, Miroslav Kuzmanović, Dubravka Milovanović, Jelena Savović, Profilometric analysis of pig bone damage in LIBS measurements based on tea CO<sub>2</sub> laser, 16th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 26-30, 2022, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 113-116.
- **Milica B. Marković**, Miroslav Kuzmanović, Igor Pašti, Danica Bajuk-Bogdanović, Dragan Ranković, Dušan Dimić, Effects of hydrochloric, hydrofluoric, and acetic acid on pig bone estimated by FTIR, Raman, LIBS, and SEM-EDX, 17th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 23-27, 2024, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts . Vol. II, 539-542.
- **Milica Marković**, Dragan Ranković, Miroslav Kuzmanović, The effect of acids on pig bone estimated by LIBS, 32nd Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases, Belgrade, August 26-30, 2024, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 142.

### Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34)

- **Milica Marković**, Miroslav Kuzmanović, Dušan Dimić, Spectroscopic analysis of chemically treated pig shoulder bone, 21<sup>st</sup> Young researchers' conference, Materials Science and Engineering, Belgrade, November 29 - December 1, 2023, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 17.

### Саопштења са националних скупова штампана у изводу (M64)

- **Milica B. Marković**, Dragan Ranković, Miroslav Kuzmanović, Application of LIBS in elemental analysis of pig shoulder bone, 9<sup>th</sup> Conference of Young Chemists of Serbia, November 4th 2023, Novi Sad, Serbia. Book of Abstracts 102.
- **Milica B. Marković**, Miroslav Kuzmanović, Dragan Ranković, Danica Bajuk-Bogdanović, Igor Pašti, Dušan Dimić, Effects of sulfuric acid on pig bone quality: Implications for forensic analysis, 10<sup>th</sup> Conference of Young Chemists of Serbia, October 26th 2024, Belgrade, Serbia. Book of Abstracts 113.



#### **Д. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Оригиналност докторске дисертације је проверена 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 подударања текста износи 5% од чега 1% проистиче из рада који је резултат тезе док је за све остале изворе количина подударања текста мања од 1%.

Утврђене подударности могу се описати као: последица цитата, личних имена, афилијација, назива једињења и скраћеница, назива коришћених материјала и метода и њиховог начина извођења, библиографских података о коришћеној литератури, односно општих места и података. На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација Милице Марковић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## **Е. ЗАКЉУЧАК**

На основу свега изложеног може се закључити да је у поднетој дисертацији под насловом **„Спектрохемијска анализа животињских костију као модел система у форензици“** кандидаткиња, мастер физикохемичар Милица Марковић, успешно одговорила на све постављене задатке који се односе на свеобухватно разумевање ефеката киселина на свињску кости као модел система у форензичким испитивањима. Комисија сматра да резултати објављени у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужим научним областима физичка хемија-спектрохемија и физичка хемија-форензика.

Резултати испитивања у оквиру ове докторске дисертације до сада су објављени у оквиру три научна рада на којима је кандидаткиња први аутор. Два рада штампана су у врхунским међународним часописима (**2 M21**), а један рад у истакнутом међународном часопису (**1 M22**). Резултати дисертације су такође приказани и у оквиру седам саопштења на научним скуповима међународног и националног значаја штампаних у изводу (**4 M33, 1 M34, 2 M64**).

У складу са свим наведеним, Комисија сматра да кандидаткиња 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, и са задовољством предлаже Наставно–научном већу Универзитета у Београду, Факултета за физичку хемију, да прихвати поднету докторску дисертацију Милице Марковић под насловом **„Спектрохемијска анализа животињских костију као модел система у форензици“** и одобри њену одбрану.

У Београду, 7. 2. 2025.

Комисија:

---

**Др Биљана Шљукић Паунковић, редовни професор**  
Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију

---

**Др Мирослав Ристић, доцент**  
Универзитет у Београду, Факултет за физичку хемију

---

**др Биљана Станков, научни сарадник**  
Универзитет у Београду, Институт за физику,  
Институт од националног значаја за Републику Србију