

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Емилије Ницовић

Одлуком бр. 2026-35/213 од 11. јуна 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Емилије Ницовић под насловом „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске 2022/23. године кандидат Емилија Ницовић, мастер геолог, уписала је докторске студије, на студијском програму Хемија, на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

20. март 2025. – На седници Наставно-научног већа донета је одлука бр. 2025-35/44 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Емилије Ницовић, мастер геолога, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под називом: „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“.

24. април 2025. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука бр. 2025-35/93 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације Емилије Ницовић, мастер геолога, под називом: „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“, а за ментора ове докторске дисертације именоване су др Александра Дапчевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Марија Прекајски Ђорђевић, научни саветник Института за нуклеарне науке Винча, института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

29. мај 2025. – На седници Већа научних области природних наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 61206-1914/2-25 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Емилије Ницовић, мастер геолога, под називом: „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“.

11. јун 2026. – Одлуком број 2026-35/213, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену докторске дисертације Емилије Ницовић, мастер геолога, под називом: „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемијске науке и ужој научној области Неорганска хемија, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у

Београду матична установа. Ментор, др Александра Дапчевић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, на основу научног искуства и објављених научних радова компетентна је да руководи израдом ове докторске дисертације. Други ментор, др Марија Прекајски Ђорђевић, научни саветник Института за нуклеарне науке Винча, института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду, на основу научног искуства и објављених научних радова компетентна је да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Емилија Ницовић је истраживач сарадник у Лабораторији за материјале Института за нуклеарне науке “Винча“ – Института од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду и сарадница центра изузетних вредности “СЕХТРЕМЕ LAB”, центра за синтезу, процесирање и карактеризацију материјала за примену у екстремним условима.

Рођена је 20. 8. 1996. године у Чачку, где је завршила основну школу и гимназију природно-математичког смера. Основне академске студије геологије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду завршила је 2018. године на катедри за петрологију и геохемију, са просечном оценом 9,60. Мастер академске студије на истој катедри завршава 2021. године, са просечном оценом 9,86. Током 2022. године, била је запослена као асистент на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду. Школске 2022/23. уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Хемија, под менторством др Александре Дапчевић, редовног професора на Катедри за општу и неорганску хемију Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Емилија Ницовић је положила све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 10. Од 2023. године запослена је у Институту за нуклеарне науке „Винча“. Научноистраживачки рад Емилије Ницовић фокусиран је на синтезу, процесирање и карактеризацију наноматеријала. Тема њене докторске дисертације, за коју је сагласност дало Веће научних области природних наука Универзитета у Београду, гласи „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“. Аутор је и коаутор 7 научних радова, а саопштила је и 21 рад на научним скуповима.

Добитница је две стипендије фонда часописа Европског керамичког друштва (JECS Trust) за стручно усавршавање на Институту за неорганску хемију Словачке академије наука, у периоду новембар 2023. - фебруар 2024. године и децембар 2024. - март 2025. године. Учествовала је на билатералном пројекту „Откривање потенцијала високоентропијских спинела за примене у енергетици“, одобреног од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије и Немачке службе за академску размену (DAAD) (2024-2025), као и на пројекту „Квантне корелације у високоентропијским оксидима са спинелском структуром“ одобреног у оквиру сарадње између Обједињеног института за нуклеарна истраживања (JINR) у Дубни и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (2024).

Активна је чланица Друштва за керамичке материјале Србије, као и Српског друштва за иновативне материјале у екстремним условима, у оквиру којих сваке године учествује у организацији међународних научних конференција. Представница је Србије у оквиру Мреже младих керамичара (YCN), иницијативе Европског керамичког друштва (ECerS). Србију је представљала и на такмичењу младих научника у области керамичких материјала “ECerS 2025 Student Speech Contest”, одржаном током 19. међународне конференције Европског керамичког друштва у Дрездену (2025). Активно се служи енглеским и италијанским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Емилије Ницовић под насловом „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“ написана је на 151 страни (139 нумерисаних страна) А4 формата (фонт Times New Roman, величина 12 pt, проред 1 ред, маргине 20 mm) и садржи 62 слике, 18 табела и 262 литературна навода. Дисертација садржи насловне стране на српском и

енглеском језику, податке о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), извод на српском језику (2 стране), извод на енглеском језику (2 стране) и садржај (4 стране). У оквиру докторске дисертације налазе се и следећа поглавља: Увод (2 стране), Теоријски део (33 стране), Експериментални део (16 страна), Резултати и дискусија (57 страна), Закључак (3 стране) и Литература (23 стране). Такође, на крају дисертације дати су Биографија и Списак објављених радова коришћених у дисертацији (1 страна), као и Изјава о ауторству (1 страна), Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (1 страна) и Изјава о коришћењу (2 стране). По својој форми и садржају, рад задовољава стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **Уводу**, дат је кратак осврт на високоентропијске материјале, са посебним фокусом на високоентропијске оксиде са структуром спинела, њихову актуелност и потенцијалну примену. Истакнута је важност развоја бржих и јефтинијих метода њихове синтезе и процесирања, те је дат кратак приказ досадашњих покушаја да се исти остваре. Уведене су методе коришћене за синтезу и процесирање високоентропијских оксида са структуром спинела у истраживању у оквиру докторске дисертације. На крају, дефинисани су основни циљеви докторске дисертације, укључујући предмет истраживања.

Теоријски део је подељен на 6 тематских целина. Прва целина *Високоентропијски материјали* даје преглед високоентропијских материјала, класификацију високоентропијских материјала и кључних ефеката којима се њихова својства описују. У другој целини *Високоентропијски оксиди* пружен је осврт на релевантна истраживања о начинима добијања високоентропијских оксида различитих кристалних структура. Трећа целина *Структура спинела* садржи детаљан опис структуре спинела, склоност различитих катјона ка појединим положајима у овој кристалној структури, као и преглед научних радова који описују добијање једнофазних високоентропијских оксида са структуром спинела. Наредна, четврта тематска целина под насловом *Методe синтезе високоентропијских оксида са структуром спинела* даје детаљан преглед различитих метода које су до сада коришћене за синтезу високоентропијских оксида са структуром спинела и њихових предности и мана уз посебан осврт на методу коришћену за синтезу високоентропијских оксида са структуром спинела у докторској дисертацији, односно самопропагирајућу синтезу на собној температури праћену калцинацијом. Пета тематска целина, под насловом *Синтеровање* детаљно описује синтеровање и различите методе синтеровања, укључујући спарк плазма синтеровање које је коришћено у докторској дисертацији. На самом крају ове целине дат је преглед научних радова који описују синтеровање високоентропијских оксида са структуром спинела. У шестој тематској целини, *Својства и примена високоентропијских оксида са структуром спинела*, приказана су различита својства ових материјала, као и примене за које их наведена својства чине погодним.

Експериментални део обухвата приказ материјала коришћених за самопропагирајућу синтезу на собној температури праћену калцинацијом, опис ове методе синтезе и спарк плазма синтеровања, као и метода коришћених за карактеризацију материјала. Приказано је 13 различитих састава високоентропијских оксида са структуром спинела чија синтеза је покушана, а који се могу поделити на еквимоларне, односно узорке опште формуле $(M_1, M_2, M_3 \dots)_3 O_{4-\delta}$ и алуминатне, односно оне опште формуле $(M_1, M_2, M_3 \dots) Al_2 O_4$. Описани су и различити услови синтеровања који су тестирани како би се постигла оптимална густина уз очување механичке стабилности материјала. Затим су описане методе коришћене за карактеризацију материјала:

- Рендгенска дифракција, за испитивање фазног састава и кристалне структуре узорака;
- Раманска спектроскопија, за испитивање расподеле катјона на тетраедарским и октаедарским положајима, степена инверзије спинела и структурних дефеката;
- Одређивање садржаја заосталог елементарног угљеника, како би се детаљно испитао ток процеса синтеровања и утврдио степен контаминације из графитног калуца;
- Скенирајућа електронска микроскопија, за процену морфологије честица, њихове величине и расподеле и степена агломерације код синтетисаних узорака, као и микроструктуре и евентуалног присуства пора или секундарних фаза на границама зрна код синтерованих узорака;

- Рендгенска фотоелектронска спектроскопија, како би се анализирали хемијски састав и оксидациона стања елемената присутних на површини материјала;
- Испитивање механичких својстава материјала како би се на основу њих одредила могућност њихове примене, што обухвата тврдоћу и жилавост лома, Јунгов модул еластичности и савојну чврстоћу;
- Топлотна дифузивност, за одређивање брзине реакције материјала на промену температуре;
- Импедансна спектроскопија, за испитивање електричне отпорности и капацитивности материјала.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су и детаљно анализирани добијени резултати, груписани у три тематске целине:

1. Синтетисани нанопрахови

У оквиру ове тематске целине, прво су приказани резултати рендгенске дифракције 13 синтетисаних састава, а потом дискутовани фазни састав и кристална структура, то јест, величине јединичних ћелија. Добијено је осам једнофазних узорака, од којих је пет еквимоларног, а три алуминатног састава. Затим су приказани резултати раманске спектроскопије једнофазних узорака, са освртом на степен њихове инверзије, дисторзије кристалне решетке и утицаје укључивања појединачних катјона на кристалну структуру. Приказани су и резултати скенирајуће електронске микроскопије са емисијом поља на једнофазним наноправовима, укључујући и опис њихове микроструктуре, морфологије и величине зрна.

2. Синтеровани високоентропијски оксиди са структуром спинела

У овој тематској целини су прво приказани резултати оптимизације процеса синтеровања, односно одређивање при којим условима се добијају једнофазни материјали високе релативне густине. Алуминатни узорци захтевали су више температуре и притиске од еквимоларних. Рендгенска дифракција је показала да је једнофазаност прахова очувана након синтеровања, а размотрене су и измене у величинама кристалита и јединичних ћелија узорака. Детаљно је приказана и анализа тока процеса синтеровања, а потом и микроструктурна анализа која је подразумевала употребу скенирајуће електронске микроскопије са емисијом поља и са енергетски дисперзионом спектроскопијом. Показано је да су катјони у синтерованим узорцима хомогено распоређени, уз хомогену микроструктуру. Рендгенска фотоелектронска спектроскопија пружила је увид у оксидациона стања присутних катјона и, самим тим, отворила могућност да се претпоставе хемијске формуле анализираних узорака. Одређена су и механичка својства синтерованих узорака: тврдоћа, савојну чврстоћа, Јунгов модул еластичности и жилавост лома. Потом је показано да сви узорци показују ниску топлотну дифузивност, али да алуминатни имају нешто вишу дифузивност у односу на еквимоларне узорке. Електрохемијска импедансна спектроскопија је показала да електрична отпорност експоненцијално опада са порастом температуре, односно да узорци показују феномен негативног температурног коефицијента отпорности.

3. Потенцијал за примену добијених материјала

У последњој тематској целини овог поглавља, разматрана је потенцијална примена добијених материјала, као што су: микроталасни апсорбери, гасни сензори, температурни сензори и термобаријерне превлаке.

У поглављу **Закључак** обједињени су и сумирани кључни резултати добијени током истраживања спроведеног у оквиру ове докторске дисертације. На основу анализираних резултата формулисана су најважнија запажања и истакнута су кључна сазнања до којих се дошло.

Литература садржи све референце цитиране у докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Високоентропијски оксиди су по први пут синтетисани 2015. године, а високоентропијски оксиди са структуром спинела 2018. године. Стога, област истраживања у оквиру које је истраживање спроведено је изузетно нова и савремена. Усмереност пажње међународне научне заједнице на ову тему огледа се у порасту броја објављених научних радова у последњих неколико година.

Савременост и оригиналност докторске дисертације кандидата Емилије Ницовић под називом „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“ огледа се у три карактеристике истраживања, а то су синтетисана једињења, метода синтезе и метода синтеровања. У оквиру истраживања приказаног у овој докторској дисертацији, успешно је синтетисано и синтеровано 8 састава високоентропијских оксида са структуром спинела, од којих неки никада раније нису синтетисани. Стога, истраживање је по први пут приказало могућност синтезе неких од ових састава. Истовремено, испитивање нових састава пружило је прве увиде у ефекте које неки од укључених катјона могу имати на својства добијених материјала.

Савремености и оригиналност истраживања спроведеног у оквиру ове докторске дисертације огледа се и у примени самопропагирајуће синтезе на собној температури праћене калцинацијом, изузетно временски и економски ефикасне методе. Будући да је показана као врло погодан начин за синтезу високоентропијских оксида са структуром спинела, самопропагирајућа синтеза на собној температури праћена калцинацијом може значајно унапредити и олакшати будућа истраживања ових материјала.

Пионирска примена спарк плазма синтеровања за синтеровање високоентропијских оксида са структуром спинела је такође показатељ савремености и оригиналности овог истраживања. Наиме, ова дисертација је прва која је показала да се ова напредна метода синтеровања може применити на овој врсти материјала. С обзиром на кратко време задржавања и ниже температуре у односу на друге методе синтеровања, спарк плазма синтеровање тренутно важи за једну од најефикаснијих метода. Стога, оптимизација услова синтеровања високоентропијских оксида са структуром спинела на великом броју узорака различитих састава, представља нов и изузетно значајан литературни налаз.

На основу примењених метода и остварених резултата у овој докторској дисертацији, као и на основу детаљно прегледане литературе може се закључити да су истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације актуелна и оригинална.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је обухваћен обиман и пажљиво одабран скуп научних извора који су у директној вези са предметом истраживања. Списак литературе обухвата 262 литературна навода, који у потпуности одговарају теми и указују на актуелност истраживања. Наведени радови су превасходно објављени у реномираним међународним часописима са SCI листе. Већина литературних навода представља научне радове новијег датума, што је у складу са скорашњошћу открића истраживаних материјала и потврђује да је истраживање засновано на савременим и актуелним научним сазнањима. Међу наводима се могу наћи и радови старијег датума, што су превасходно они који приказују основна знања из области. Коришћена литература је имала значајну улогу у осмишљавању експерименталног приступа, анализи и интерпретацији резултата, као и у формулисању коначних закључака. На основу прегледа референци може се закључити да кандидат темељно познаје област истраживања и активно прати актуелне научне трендове.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У дисертацији је примењен свеобухватан и систематичан приступ синтези, денсификацији и карактеризацији високоентропијских оксида са структуром спинела, са циљем добијања једнофазних узорака високоентропијских оксида са структуром спинела. Одабир метода карактеризације је омогућио потпун увид у структурне, морфолошке, механичке, термичке и електричне карактеристике синтетисаних материјала.

Синтеза материјала реализована је самопропагирајућом синтезом на собној температури праћеном калцинацијом. Као прекурсори су коришћени хидратисани нитрати различитих метала чистоте 99,9 %, као што су $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, као и NaOH . Поступак је обухватао ручно мешање, сушење, центрифугирање у циљу уклањања споредног производа (NaNO_3), те финалну калцинацију на $1000\text{ }^\circ\text{C}$.

Добијени прахови денсификовани су спарк плазма синтеровањем (SPS) уз систематичну оптимизацију параметара процеса (температурни опсег $1000\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$, притисак $30\text{--}70\text{ MPa}$), како би се достигла што виша релативна густина ($>90\%$) уз очување једнофазног система и спинелске структуре, као и високе механичке стабилности. Успешност денсификације потврђена је мерењем релативне густине методом урањања у живу, засноване на Архимедовом принципу.

За структурну карактеризацију примењене су комплементарне технике: рендгенском дифракцијом (XRD) одређен је фазни састав, параметри јединичне ћелије и величине кристалита, а Раманском спектроскопијом расподела катјона на тетраедарским и октаедарским положајима, степен инверзије спинела и структурни дефекти. Садржај заосталог елементарног угљеника, као последица употребе графитних калупа у процесу спарк плазма синтеровања, одређен је применом инфрацрвеног C/S анализатора.

Морфологија честица прахова и микроструктура синтерованих узорака испитане су скенирајућом електронском микроскопијом са емисијом поља (FE-SEM). Скенирајућа електронска микроскопија са електронском дисперзивном спектроскопијом (SEM-EDS) коришћена је за мапирање расподеле присутних катјона. Хемијски састав површине и оксидациона стања вишевалентних катјона (нпр. $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$, $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$) одређена су рендгенском фотоелектронском спектроскопијом (XPS), чиме је омогућено разумевање електронске структуре материјала.

Механичка карактеризација обухватила је мерење Викерсове микротврдоће и жилавости лома (рачунате Анстисовом једначином), Јунговог модула еластичности (применом неструктивне технике побуде импулсом, IET, у складу са стандардом ASTM E1876) и савојне чврстоће методом савијања у три тачке. Топлотна дифузивност одређена је ласерском флеш анализом (LFA) у температурном опсегу до $600\text{ }^\circ\text{C}$, а електрична отпорност и капацитивност испитане су импедансном спектроскопијом у широком фреквентном и температурном опсегу, уз моделовање еквивалентним електричним колом и израчунавање енергије активације из Аренијусове зависности.

Целокупан избор метода је адекватан, усклађен са савременом праксом у области керамичких и функционалних материјала и логички повезан са постављеним циљевима дисертације. На овај начин добијен је увид у структурне, микроструктурне, механичке, термичке и електричне карактеристике чиме је свеобухватно и поуздано сагледана природа синтетисаних високоентропијских оксида.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације указују на висок степен њихове практичне и научне применљивости у области синтезе и карактеризације напредних функционалних материјала. Синтезом и синтеровањем осам различитих једнофазних високоентропијских оксида са структуром спинела, уз свеобухватну структурну, механичку, термичку и електричну карактеризацију, обезбеђена је поуздана основа за разумевање односа између састава, структуре и микроструктуре, с једне, и функционалних својстава ових материјала, с друге стране.

На основу спроведених истраживања и добијених резултата може се закључити да су постигнути резултати врло применљиви, што се огледа у:

- Успешној примени самопропагирајуће синтезе на собној температури праћене калцинацијом као ефикасне и економичне методе за добијање једнофазних високоентропијских оксида са структуром спинела;
- Првој успешној примени спарк плазма синтеровања за денсификацију високоентропијских оксида са структуром спинела, уз постизање високих релативних густина за знатно краће време у поређењу са конвенционалним методама синтеровања;

- Утврђивању корелација састав – микроструктура – својства, што представља основу за рационалан дизајн нових састава са циљаним карактеристикама.

Комбинација повољних механичких својстава и ниске топлотне дифузивности чини испитиване материјале погодним кандидатима за примену у високотемпературним микроталасним апсорберима, гасним и температурним сензорима. Посебно је значајан потенцијал састава $(\text{Co}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Cu})\text{Al}_2\text{O}_4$ за примену у термобаријерним превлакама, захваљујући специфичној комбинацији високе тврдоће, ниског Јунговог модула и ниске топлотне дифузивности. Термисторска својства свих испитиваних материјала, нарочито алуминатних узорака, код којих долази до линеарног опадања електричне отпорности са порастом температуре, указују на потенцијал за примену у прецизним температурним сензорима. Добијене смернице за разумевање утицаја појединачних катјона на структуру и својства спинела могу бити корисне за предвиђање функционалних карактеристика нових вишекомпонентних оксидних система и усмеравање будућих истраживања у овој области.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Емилија Ницовић је током израде докторске дисертације показала стручност, посвећеност и способност у планирању и реализацији експеримената, примени аналитичких техника и обради и интерпретацији резултата. Осим тога, Емилија Ницовић је исказала надпросечан ниво самосталности и високу способност ка усвајању нових знања за једног докторанда. Комисија сматра да на основу досадашњег научноистраживачког рада и остварених научних резултата током израде ове докторске дисертације, кандидат Емилија Ницовић поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Успешна синтеза високоентропијских оксида са структуром спинела применом самопропагирајуће синтезе на собној температури праћене калцинацијом, при чему је добијено осам једнофазних нанопрахова кубне спинелске структуре (просторна група $Fd\bar{3}m$), са величинама кристалита између 10,4 и 53,1 nm и параметрима јединичних ћелија у распону од 8,1075 до 8,3781 Å.
- Успешно примењено спарк плазма синтеровање за денсификацију високоентропијских оксида са структуром спинела, чиме је по први пут показано да ова техника омогућава постизање високих релативних густина (94,69–98,78 %) уз очување једнофазне спинелске структуре и у знатно краћем времену у поређењу са конвенционалним методама синтеровања.
- Утврђене су корелације између природе и расподеле катјона и степена инверзије спинелске структуре, при чему је Раманском спектроскопијом показано да Mg^{2+} и Zn^{2+} стабилизују нормалну спинелску структуру, Al^{3+} стабилизује октаедарску подрешетку, а Cu^{2+} индукује највећи степен структурне неуређености услед Јан-Телеровог ефекта.
- Утврђени су утицаји састава и микроструктуре на механичка својства синтерованих материјала, укључујући тврдоћу (6,9–12,5 GPa), савојну чврстоћу (139–171 MPa), Јунгов модул еластичности (3,8–250,8 GPa) и жилавост лома (1,1–1,5 MPa√m), чиме су постављене основе за разумевање механичког понашања ове класе материјала.
- Показана је ниска топлотна дифузивност свих испитиваних састава ($0,51\text{--}0,82 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) која континуирано опада са порастом температуре, при чему је утврђено да дисторзије кристалне решетке услед катјона различитих јонских радијуса представљају кључни механизам расејања фонона.

- Утврђено је термисторско понашање свих испитиваних узорака са механизмом проводности путем трансфера скакањем малих поларона, при чему су енергије активације одређене у опсегу 0,22–0,61 eV.
- Идентификован је потенцијал за примену добијених материјала у високотемпературним микроталасним апсорберима и гасним сензорима. Састав (Co,Mn,Ni,Zn,Cu)Al₂O₄ има потенцијал за примену у термобаријерним превлакама, захваљујући комбинацији високе тврдоће, изузетно ниског Јунговог модула еластичности и ниске топлотне дифузивности. Такође је препознат потенцијал алуминатних узорака за примену у прецизним температурним сензорима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у доступну литературу из области докторске дисертације, као и добијених резултата применом адекватне методологије може се констатовати да приказана истраживања представљају унапређење постојећих научних знања. Научни допринос ове докторске дисертације представља унапређење постојећих знања у области синтезе, денсификације и свеобухватне карактеризације високоентропијских оксида са структуром спинела.

Иако је самопропагирајућа синтеза на собној температури позната у литератури, први пут је примењена за добијање једнофазних високоентропијских оксида са структуром спинела различитих састава. Посебно значајан допринос представља прва успешна примена спарк плазма синтеровања за денсификацију ове класе материјала, уз постизање високих релативних густина уз свега 10 минута задржавања и очување једнофазног састава свих узорака, што превазилази конвенционалне поступке синтеровања који захтевају и до 96 часова. Идентификација и тумачење феномена де-денсификације услед дифузије угљеника из графитних калупа такође представља оригиналан допринос разумевању тока процеса спарк плазма синтеровања у овим системима.

Свеобухватна карактеризација, уз истовремено испитивање механичких, термичких и електричних својстава у контексту катјонских комбинација, омогућила је успостављање корелација састав – микроструктура – својства које у постојећој литератури нису биле разматране за ову класу материјала. На тај начин, ова докторска дисертација успоставила је основу за диригован дизајн нових високоентропијских спинелских оксида са циљаним функционалним карактеристикама.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21a:

1. **Nidžović, E., Matović, B., Tatarko, P., Hosseini, N., Hanzel, O., Chlup, Z., Dimitrijević, S., Radovanović, L., Dapčević, A., Prekajski Đorđević, M.** (2025). High-entropy spinel oxides: self-propagating synthesis and densification by spark plasma sintering, *Journal of the European Ceramic Society* 45(10) 117353. (IF(2024) = 6.2, 2/33) (ISSN: 0955-2219) (<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2025.117353>)

2. **Nidžović, E., Matović, B., Tatarko, P., Hosseini, N., Hanzel, O., Radovanović, L., Dapčević, A., Prekajski Đorđević, M.** (2025). High-entropy aluminate spinel oxides: A pathway to advanced functional materials. *Journal of the European Ceramic Society* 45(15) 117582. (IF(2024) = 6.2, 2/33) (ISSN: 0955-2219) (<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2025.117582>)

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (12. јуна 2026. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Емилије Ницовић под називом „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела.“

Утврђено подударане текста износи 8%, што је последица устаљених фраза, стручних термина и израза, назива метода, хемикалија и њихових скраћеница, цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Емилије Ницовић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемијске науке и ужој научној области Неорганска хемија, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори ове докторске дисертације су др Александра Дапчевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Марија Прекајски Ђорђевић, научни саветник Универзитета у Београду, Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију.

Комисија сматра да су предмет, циљеви, методе, актуелност и значај докторске дисертације кандидата Емилије Ницовић јасно дефинисани и научно засновани. Примењена методологија је адекватна и усклађена са савременом праксом у области керамичких и функционалних материјала, а остварени резултати верификовани су објављивањем два научна рада у водећим међународним часописима категорије M21a. Научни допринос дисертације огледа се у успешној синтези и денсификацији високоентропијских оксида са структуром спинела применом ефикасних и економичних метода, у утврђивању корелација између катјонских комбинација, структурних карактеристика и функционалних својстава, као и у идентификацији конкретних потенцијалних примена добијених материјала. Рад на дисертацији показује да кандидат поседује знање и способност за самосталан научноистраживачки рад.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да докторску дисертацију под називом „Синтеза и карактеризација високоентропијских оксида са структуром спинела“ кандидата Емилије Ницовић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области природних наука Универзитета у Београду, као и да се након завршетка процедуре кандидат позове на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 25. јун 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Јелена Роган, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Јелена Малеташкић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча”,
Институт од националног значаја за Републику Србију

.....
Др Татјана Волков-Хусовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет