

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Број захтева: _____

Датум: _____

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. став 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

Иване (Иван) Манасијевић

КАНДИДАТ: **Ивана (Иван) Манасијевић**

Пријавила је докторску дисертацију под називом:

ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ФАЗНО – ПРОМЕНЉИВИХ ЛЕГУРА НА БАЗИ БИЗМУТА И ГАЛИЈУМА

Из научне области: **Металуршко инжењерство**

Универзитет је дана **25.12.2017.** године својим актом под бројем **61206-5301/2-17** дао сагласност на предлог теме дисертације која гласи: **ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ФАЗНО – ПРОМЕНЉИВИХ ЛЕГУРА НА БАЗИ БИЗМУТА И ГАЛИЈУМА**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Иване (Иван) Манасијевић** образована је на седници одржаној **13.02.2020.** године, одлуком факултета под бр. **VI/4-5-8.**, у саставу:

Име и презиме члана комисије / звање / научна област / установа у којој је запослен

1. др Љубиша Балановић, ван. професор, металуршко инжењерство, Технички факултет у Бору, ментор
2. др Милан Горгиевски, доцент, металуршко инжењерство, Технички факултет у Бору, члан
3. др Тамара Хољевац - Гргурић, ван. професор, металуршко инжењерство, Свеучилиште у Загребу, Металуршки факултет у Сиску, члан

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **30.04.2020.** године, под бројем: **VI/4-7-3.**

Декан Факултета

Проф. др Нада Штрбац

Прилог:

1. Извештај комисије са предлогом
2. Акт наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и члана 20. став 11. Пословника о раду Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, а у складу са Одлуком о проглашењу ванредног стања ("Сл. гласник РС", бр. 29/2020) и Наредбом о забрани окупљања у Републици Србији на јавним местима у затвореном простору ("Сл. гласник РС", бр. 39/2020), Наставно-научно веће Факултета електронским изјашњавањем до 29. 04. 2020. године, донело је,

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Иване Манасијевић**, дипл. инж. металургије, студента докторских академских студија на студијском програму Металуршко инжењерство, под називом: „Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума“, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана **25. 12. 2017. године** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

III Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

Рад у међународном часопису – категорија M21

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Duško Minić, Milan Gorgievski, Study of microstructure and thermal properties of the low-melting Bi–In eutectic alloys, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 136 (2019) 643–649. ISSN 1388-6150. Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 2,471. Ранг часописа за 2018. годину је M21 у научној области: Thermodynamics.

Рад у међународном часопису – категорија M23

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Duško Minić, Milan Gorgievski, Study of Microstructure and Thermal Properties of the Low Melting Bi-In-Sn Eutectic Alloys, Materials Research, 21(6) (2018): e20180501. ISSN 1516-1439. Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 1,104. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Materials Science, Multidisciplinary.
2. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Duško Minić, Milan Gorgievski, Uroš Stamenković, Investigation of latent heat of melting and thermal conductivity of the low-melting Bi-Sn-Zn eutectic alloy, Kovove Materialy - Metallic Materials, 57 (4) (2019) 267-273. ISSN 0023-432X. Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 0,593. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Metallurgy & Metallurgical Engineering.
3. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Uroš Stamenković, Milan Gorgievski, Vladan Čosović, Microstructure and thermal properties of Bi-Sn eutectic alloy, Materials Testing, 62 (2) (2020) 184-188. ISSN 0025-5300. Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 0,573. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Materials Science, Characterization & Testing.

IV Именована ће бранити докторску дисертацију пред Комисијом у саставу:

1. др Љубиша Балановић, ванредни професор Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору, ментор;
2. др Милан Горгиевски, доцент Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору, члан;
3. др Тамара Хољевац-Гргурић, ванредни професор Свеучилишта у Загребу, Металуршког факултета у Сиску, члан.

V Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

VI О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Доставити:

- именованој
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

**ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА**

ДЕКАН

Проф. др Нада Штрбац

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

Предмет: Реферат комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата Иване Манасијевић, дипл. инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-5-8 од 14.02.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Иване Манасијевић под називом:

„Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума”.

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ивана Манасијевић, дипл. инж. металургије, уписала је школске 2015/2016. године докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, на студијском програму: *Металуршко инжењерство*.

Дана 26.10.2017. године, кандидат Ивана Манасијевић, дипл. инж. металургије, поднела је пријаву предлога теме докторске дисертације, заведену под бројем VI-1/10-274, Катедри за металуршко инжењерство, Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду. Потом је Катедра за металуршко инжењерство, Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, предложила комисију за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата Иване Манасијевић.

Дана 09.11.2017. године, Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, донело је одлуку број VI/4-9-7, о именовању Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата Иване Манасијевић.

Дана 14.12.2017. године, одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, број VI/4-10-9. прихваћен је Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације под називом: *„Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума”*. При чему, за ментора је именован проф. др Љубиша Балановић, ванредни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду.

Дана 25.12.2017. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, одлуком број 61206-5301/2-17, дало је сагласности на предлог теме за израду

докторске дисертације кандидата Иване Манасијевић, под називом: „*Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума*“.

Дана **14.02.2020. године**, Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, одлуком број VI/4-5-8 од 14.02.2020. године именovalo је Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата Иване Манасијевић, у саставу:

1. Проф. др Љубиша Балановић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору-ментор;
2. Др Милан Горгиевски, доцент, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору (члан);
3. Проф. др Тамара Хољевац Гргурић, ванредни професор, Свеучилиште у Загребу, Металуршки факултет у Сиску (члан).

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области *Металуршко инжењерство*, односно ужој научној области *Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство* за коју је Технички факултет у Бору акредитован.

Ментор ове докторске дисертације, проф. др Љубиша Балановић, ванредни професор на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, на основу досадашњих објављених радова и на основу наставног и истраживачког искуства компетентан је да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ивана Манасијевић, дипл. инж. металургије рођена је 02.02.1980. год. у Бору. У Бору је завршила основну и средњу школу. Технички факултет у Бору, одсек металургија, је уписала школске 1999/2000. год., где је дипломирала 2006. год. на Катедри за екстрактивну металургију и тиме стекла звање дипломираног инжењера металургије.

Докторске студије на студијском програму Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору уписала је школске 2015/2016. год. На докторским студијама је све испите положила са оценом 10. Ивана Манасијевић је аутор и коаутор 2 рада у међународним часописима категорије M21 и четири рада у међународним часописима категорије M23, једног рада у домаћем часопису националног значаја категорије M52, 2 саопштења са међународних скупова штампана у целини M33 и 2 саопштења са међународних скупова штампана у апстракту M34. Научне области њеног рада обухватају термодинамику вишекомпонентних металних материјала и експерименталне методе карактеризације легура.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Предмет и циљ дисертације

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације су нискотопиве легуре на бази бизмута (Bi-In, Bi-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn системи) и галијума (Ga-In и Ga-Sn системи) као недовољно истражене легуре са значајним потенцијалом примене у области фазно-променљивих металних материјала. Наведени системи легура су селектирани за истраживање након детаљног прегледа научне литературе и упознавања кандидата са досадашњим резултатима из ове области. Најважнији постављени циљеви истраживања у оквиру ове докторске дисертације су:

- Термодинамичка анализа која обухвата термодинамички прорачун фазних равнотежа у испитиваним системима на бази бизмута (Bi-In, Bi-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn системи) и галијума (Ga-In и Ga-Sn системи) на основу оптимизованих термодинамичких параметара, утврђивање састава еутектичких легура, термодинамички прорачун температура топљења, латентних топлота топљења и специфичних топлотних капацитета.
- Синтеза и термичка обрада легура еутектичких састава на бази бизмута из Bi-In, Bi-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn система са температуром топљења у опсегу од 40-200 °C и еутектичких легура на бази галијума из Ga-In и Ga-Sn система са температуром топљења испод 30 °C.
- Дефинисање микроструктуре и морфологије фаза испитиваних еутектичких легура.
- Одређивање термофизичких особина испитиваних еутектичких легура на бази бизмута и на бази галијума као што су температуре топљења и очвршћавања, латентна топлота топљења, специфични топлотни капацитет, термичка дифузивност и топлотна проводљивост.

У постојећој научној литератури многи од наведених података не постоје или су некомплетни и конфликтни тако да постоји потреба за стварањем поуздане базе података.

2.2. Основне хипотезе од којих се полазило у истраживању

Истраживање у оквиру докторске дисертације је базирано на хипотези да је комбинованом применом термодинамичког прорачуна на бази CALPHAD методе и експерименталних метода структурне и термичке карактеризације (SEM-EDS, DSC, мерење топлотне дифузивности) могуће успешно извршити идентификацију састава нискотопивих еутектичких легуре на бази бизмута и галијума са потенцијалном применом у области фазно-променљивих металних материјала за акумулацију топлоте, микроструктурну анализу и одређивање важних термофизичких особина.

2.3. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Иване Манасијевић, под називом: „Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума” написана је на 92 стране и подељена је на 10 функционално повезаних поглавља и осталих пратећих елемената дисертације (Обрасци 5,6,7 из Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору), на крају рада.

Садржај дисертације:

Поглавље 1. *Увод*

Поглавље 2. *Преглед досадашњих истраживања*

Поглавље 3. *Циљеви истраживања*

Поглавље 4. *Експерименталне методе*

Поглавље 5. *Термодинамичка анализа*

Поглавље 6. *Резултати и дискусија*

Поглавље 7. *Закључак*

Поглавље 8. *Литература*

Поглавље 9. *Биографија*

Поглавље 10. *Објављени радови из докторске дисертације*

Прилози:

Прилог 1 – Изјава о ауторству

Прилог 2 –Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада

Прилог 3–Изјава о коришћењу

Дисертација је илустрована са 50 слика и 27 табела, а литературни преглед садржи податке о 144 литературних цитата. По форми и садржају написана дисертација задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.3.1. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом поглављу (Увод)* изложени су основни појмови и дата су уводна разматрања о методама акумулације топлоте и фазно-променљивим материјалима за акумулацију топлоте (енгл. phase-change materials (PCM) for heat storage). Кандидат у овом поглављу најпре указује на значај проучавања металних фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте и наводи основне предности и недостатке ове групе енергетских материјала у односу на друге типове неметалних фазно-променљивих материјала. У даљем тексту наводе се основне особине еутектичких легура на бази бизмута и галијума као и њихов значај у области испитивања фазно-променљивих материјала са ниском радном температуром.

Тежиште *другог поглавља (Преглед досадашњих истраживања)* засновано је на литературном прегледу досадашњих истраживања у области металних фазно-променљивих материјала. У овом поглављу докторске дисертације дат је преглед најважнијих досадашњих истраживања из области примене, типова и особина фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте, као и одређивања термодинамичких, микроструктурних и термофизичких особина испитиваних легура на бази бизмута из система Bi-In, B-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn као и легура на бази галијума из система Ga-In и Ga-Sn које представљају предмет истраживања ове докторске дисертације.

У *трећем поглављу (Циљеви истраживања)* су наведени главни циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације који су постављени на основу урађеног прегледа досадашњих испитивања у овој области.

У четвртом поглављу (*Експериментални методи*) изложене су основе експерименталних метода које су коришћене у току израде докторске дисертације. Експериментална испитивања изведена су применом следећих техника:

- Диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC),
- Скенирајућа електронска микроскопија са енерго-дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS),
- Флеш метода за мерење термичке дифузивности и одређивање топлотне проводљивости.

У петом поглављу (*Термодинамичка анализа*) дат је теоријски оквир термодинамичке анализе спроведене у оквиру докторске дисертације. Приказане су теоријске основе CALPHAD (calculation of phase diagram) методе која је примењена за прорачуне фазних дијаграма испитиваних система, еутектичких концентрација, дијаграма фазних удела и термодинамичких функција попут енталпије и специфичног топлотног капацитета испитиваних еутектичких легура.

У шестом поглављу (*Резултати и дискусија*) изложени су резултати и дата дискусија резултата истраживања спроведеног у оквиру реализације циљева дисертације. У првој фази истраживања, применом CALPHAD методе, а на основу оптимизованих термодинамичких параметара из постојеће литературе извршена је термодинамичка анализа испитиваних система Bi-In, Bi-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn на бази бизмута и система Ga-In и Ga-Sn на бази галијума. За сваки испитивани систем термодинамичка анализа је обухватила прорачун фазног дијаграма, температура и састава еутектичких легура, латентних топлота топљења, енталпија, специфичних топлотних капацитета као и удела фаза легура еутектичких састава. У другој, експерименталној фази истраживања извршена је припрема изабраних легура еутектичких састава и њихова експериментална анализа.

За испитиване еутектичке легуре на бази бизмута спроведена је микроструктурна и термичка карактеризација. Добијени резултати микроструктурних испитивања SEM-EDS методом обухватају одређивање коегзистирајућих фаза и еутектичке морфологије. Термичка карактеризација испитиваних легура обухватила је одређивање температуре топљења, латентне топлоте топљења, специфичног топлотног капацитета, термичке дифузивности и топлотне проводљивости.

Добијени резултати испитивања еутектичких легура на бази галијума обухватају термодинамичке прорачуне температура и латентних топлота топљења и удела еутектичких фаза. Такође, применом диференцијалне скенирајуће калориметрије експериментално су одређене температуре топљења и очвршћавања као и латентне топлоте топљења и очвршћавања.

Први испитивани систем на бази бизмута у оквиру дисертације је био двојни Bi-In систем. Термодинамички прорачун на бази оптимизованих термодинамичких параметара је указао да се у овом систему јављају три еутектичке реакције. Даљим прорачуном утврђен је састав еутектичких легура, температура и механизам еутектичких реакција, удео еутектичких фаза, промена енталпије и специфичних топлотних капацитета у функцији температуре за Bi-In легуре еутектичких састава. Експериментални део истраживања еутектичких легура из Bi-In система је обухватио њихову припрему и испитивање структурних и термичких особина. Номинални састави припремљених легура су били Bi-47,44 at.% In (BiIn-E1 легура), Bi-66,33 at.% In (BiIn-E2 легура) и Bi-77,92 at.% In (BiIn-E3

легура). SEM-EDS методом анализирана је еутектичка морфологија испитиваних легура и урађена је идентификација присутних фаза. Утврђено је да се микроструктура BiIn-E1 легуре састоји од BiIn и (Bi) фаза. Фазни удео BiIn фазе је био знатно већи од фазног удела (Bi) фазе. У микроструктури BiIn-E2 легуре идентификоване су BiIn₂ и Bi₃In₅ фазе. Фазни удео BiIn₂ фазе био је знатно већи од фазног удела Bi₃In₅ фазе. На основу резултата SEM-EDS анализе утврђено је да се еутектичка микроструктура BiIn-E3 легуре састоји од BiIn₂ и (In) фаза. Утврђено је да се BiIn-E1 и BiIn-E2 легуре, због велике разлике у фазним уделима еутектичких фаза, не одликују карактеристичном ламеларном еутектичком структуром. Еутектичка структура BiIn-E3 легуре је ламеларног типа и састоји се од великог броја ламела BiIn₂ и (In) фаза неправилног усмерења.

Применом DSC методе извршено је одређивање температура топљења и латентних топлота топљења испитиваних еутектичких легура из Bi-In система. Експериментално одређена температура топљења и латентна топлота топљења за BiIn-E1 еутектичку легуру износе 110,7 °C и 42,7 Jg⁻¹, респективно. Ове вредности су нешто веће у односу на одговарајуће вредности добијене термодинамичким прорачуном (109,2 °C и 39,4 Jg⁻¹).

За BiIn-E2 експериментално одређена температура топљења и латентна топлота топљења износе 90,7 °C и 30,2 Jg⁻¹, док су одговарајуће прорачунате вредности 87,8 °C и 32,6 Jg⁻¹.

Експериментално одређена температура топљења и латентна топлота топљења за BiIn-E3 еутектичку легуру износе 73,8 °C и 21,8 Jg⁻¹ а одговарајуће прорачунате вредности 71,8 °C и 23,5 Jg⁻¹.

На основу добијених резултата DSC анализе утврђено је да су експериментално одређене вредности температура топљења и латентних топлота топљења у добром слагању са резултатима термодинамичког прорачуна за све три еутектичке легуре из Bi-In система. Такође, установљено је да код еутектичких Bi-In легура са повећањем садржаја индијума долази до снижења температуре топљења и вредности латентне топлоте топљења.

Применом ксенон-флеш методе извршено је мерење термичке дифузивности и одређивање топлотне проводљивости Bi-In еутектичких легура на 25 °C. За разлику од температуре топљења и латентне топлоте топљења, утврђено је да вредности термичке дифузивности и топлотне проводљивости испитиваних еутектичких легура из Bi-In система расту са порастом садржаја индијума. Најнижу термичку дифузивност (6,270 mm²s⁻¹) и топлотну проводљивост (8,131 Wm⁻¹K⁻¹) има BiIn-E1 легура. Њена топлотна проводљивост је врло блиска топлотној проводљивости чистог Bi (8,2 Wm⁻¹K⁻¹). BiIn-E2 легура има нешто више вредности термичке дифузивности (8,860 mm²s⁻¹) и топлотне проводљивости (12,182 Wm⁻¹K⁻¹), док BiIn-E3 легура има највише вредности термичке дифузивности (13,780 mm²s⁻¹) и топлотне проводљивости (19,880 Wm⁻¹K⁻¹). Одређене топлотне проводљивости за све три Bi-In еутектичке легуре су генерално доста ниске захваљујући високом садржају бизмута.

Други испитивани еутектички систем на бази бизмута је био Bi-Sn двојни систем. У првој фази истраживања овог система изведена је термодинамичка анализа применом CALPHAD методе а на бази оптимизованих термодинамичких параметара из литературе. На основу резултата термодинамичке анализе утврђено је да се у Bi-Sn двојном систему јавља једна еутектичка реакција. Термодинамичким прорачуном одређени су еутектички састав и температура, удели еутектичких фаза, зависности енталпија и специфичних топлотних капацитета од температуре. Легура еутектичког састава (Bi-61,13 at.% Sn) припремљена је топљењем одмерених маса чистих метала а затим је извршена њена микроструктурна и термичка карактеризација. Применом SEM-EDS методе утврђено је да

је експериментално одређени састав легуре у добром слагању са номиналним саставом. Еутектичка Bi-Sn легура показује карактеристичну ламеларну еутектичку структуру која се састоји од неправилно усмерених ламела (Bi) и (Sn) фаза.

Експериментално одређена температура топљења применом DSC методе за еутектичку Bi-Sn легуру износи $138,6 \pm 0,1$ °C и у врло добром слагању је са прорачуном еутектичком температуром ($138,4$ °C). Експериментално одређена латентна топлота топљења износи $43,5 \pm 0,2$ Jg⁻¹ и значајно је нижа од одговарајуће прорачунате вредности ($53,5$ Jg⁻¹) и такође нижа од латентних топлота топљења чистог бизмута ($52,1$ Jg⁻¹) и чистог калаја ($59,6$ Jg⁻¹).

На основу измерене вредности термичке дифузивности легуре на 25 °C која износи $16,940$ mm²s⁻¹, као и прорачунатих вредности специфичног топлотног капацитета ($0,172$ Jg⁻¹K⁻¹) и густине ($8,356$ gcm⁻³) одређена вредност топлотне проводљивости Bi-Sn легуре износи $24,347$ Wm⁻¹K⁻¹.

Наредни испитивани систем на бази бизмута био је тројни Bi-In-Sn систем. На основу прорачуног оптимизованог фазног дијаграма Bi-In-Sn система одређено је постојање две тројне еутектичке реакције. Даљим прорачуном одређени су еутектички састави и температуре, као и удели еутектичких фаза и вредности латентних топлота топљења и специфичних топлотних капацитета. Након тога извршена је припрема еутектичких легура према прорачунатим саставима. Припремљене легуре су имале следеће саставе: $53,8$ mas.% Bi– $27,0$ mas.% In– $19,2$ mas.% Sn (легура BiInSn-E1) и $32,0$ mas.% Bi– $51,2$ mas.% In– $16,8$ mas.% Sn (легура BiInSn-E2). Ове легуре су подвргнуте микроструктурној анализи. Применом SEM-EDS методе утврђено је да се еутектичка структура BiInSn-E1 легуре састоји од (Sn), (Bi) и BiIn фаза док се еутектичка структура BiInSn-E2 легуре састоји од β , BiIn2 и γ фаза. Термичка карактеризација испитиваних легура извршена је применом DSC и ксенон-флеш методе. Експериментално одређене вредности температуре топљења и латентне топлоте топљења за BiInSn-E1 легуру износиле су $76,6 \pm 0,2$ °C и $32,6 \pm 0,1$ Jg⁻¹, респективно. Ове вредности су у доста добром слагању са одговарајућим вредностима добијеним термодинамичким прорачуном ($76,4$ °C и $34,5$ Jg⁻¹). Експериментално одређене вредности температуре топљења и латентне топлоте топљења за BiInSn-E2 легуру износе $60,8 \pm 0,1$ °C и $25,4 \pm 0,1$ Jg⁻¹ док су одговарајуће прорачунате вредности $59,2$ °C и $26,7$ Jg⁻¹. Термичка дифузивност и топлотна проводљивост BiInSn-E1 легуре на 25 °C износиле су $7,620$ mm²s⁻¹ и $11,081$ Wm⁻¹K⁻¹ док су за BiInSn-E2 легуру ове вредности биле $10,950$ mm²s⁻¹ и $17,093$ Wm⁻¹K⁻¹, редом.

Последњи испитивани систем на бази бизмута у оквиру ове докторске дисертације је био Bi-Sn-Zn тројни систем. У првој фази истраживања изведена је термодинамичка анализа на бази оптимизованих термодинамичких параметара из литературе. Извршен је прорачун фазног дијаграма Bi-Sn-Zn система на основу којег је утврђено постојање једне тројне еутектичке реакције. Даљим прорачуном одређен је састав тројне еутектичке легуре и еутектичка температура, удео еутектичких фаза као и теоријска вредност енталпије топљења и специфичног топлотног капацитета. На бази резултата DSC анализе и ксенон-флеш методе експериментално су одређене вредности температуре топљења, латентне топлоте топљења као и термичке дифузивности и топлотне проводљивости на 25 °C. Добијене вредности су $132,4 \pm 0,1$ °C $44,1 \pm 0,2$ Jg⁻¹, $15,520$ mm²s⁻¹ и $17,093$ Wm⁻¹K⁻¹, редом.

У оквиру испитивања фазно-променљивих материјала на бази галијума у докторској дисертацији извршено је испитивање еутектичких легура из Ga-In и Ga-Sn двојних система. Термодинамичка анализа је изведена применом оптимизованих

термодинамичких параметара из литературе. Извршена је конструкција фазних дијаграма Ga-In и Ga-Sn двојних система и дефинисани су састави еутектичких легура. Даљи прорачун је укључивао одређивање температура еутектичких реакција и прорачун енталпија топљења. У експерименталном делу рада извршена је припрема еутектичких легура топљењем одмерених маса чистих метала и термијска анализа применом DSC методе. На основу изведених циклуса загревања и хлађења одређене су температуре топљења и очвршћавања као и латентне топлоте топљења и очвршћавања анализираних еутектичких Ga-In и Ga-Sn легура.

У седмом поглављу (*Закључак*) су изнета закључна разматрања заснована на резултатима спроведеног истраживања.

На основу добијених резултата термодинамичке анализе и карактеризације испитиваних еутектичких легура на бази бизмута у оквиру докторске дисертације може се закључити да све испитиване легуре имају температуре топљења које одговарају средњем температурном опсегу рада фазно-променљивих материјала. Вредности латентне топлоте топљења испитиваних легура на бази бизмута су значајно мање од парафина, масних киселина и хидратисаних соли посматрано по јединици масе али значајно веће од наведених неметалних материјала по јединици запремине, што је врло важна чињеница код примене у системима са ограниченом радном запремином попут система за хлађење електронских уређаја. Одређене топлотне проводљивости испитиваних еутектичких легура на бази бизмута имају вредности које се крећу у опсегу од 8 до 25 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Ове вредности топлотне проводљивости су знатно више у односу на органске фазно-променљиве материјале у којима се топлотна проводљивост налази у опсегу од свега 0,4 до 5 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

У оквиру ове докторске дисертације извршена је детаљна термодинамичка анализа и микроструктурна и термичка карактеризација изабраних еутектичких легура на бази бизмута и галијума. На овај начин креирана је база података која садржи поуздане, експериментално одређене вредности термофизичких величина испитиваних легура које су значајне за дизајнирање, селекцију и симулацију процеса рада металних фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте. Користећи резултате приказане у докторској дисертацији, термичко понашање испитиваних еутектичких легура у системима за акумулацију топлоте може се успешно предвидети и симулирати.

У осмом поглављу (*Литература*) дат је списак коришћених литературних извора за потребе израде ове докторске дисертације.

У деветом поглављу (*Биографија*) дата је биографија кандидата.

У десетом поглављу (*Објављени радови из докторске дисертације*) приказане су публикације произашле као резултат истраживања приказаних у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У условима светске енергетске и сировинске кризе, развој технологија које укључују акумулацију енергије на рачун фазних промена има важну улогу како у индустријским условима, тако и у свакодневном животу. Због тога се последњих година интензивно истражују нови фазно-променљиви материјали (PCM) за акумулацију топлоте, који су способни да акумулирају (складиште) и ослобођају велику количину топлотне енергије у облику латентне топлоте повратне фазне трансформације на константној температури. Фазно-променљиви материјали за акумулацију топлоте спадају у групу тзв. енергетских материјала и коришћени су за широк спектар апликација током последњих деценија као што су изградња делова соларних система, грађевинарство, хлађење електронских уређаја и др.

Велики број различитих материјала је до сада проучаван и комерцијално примењен у области PCM за акумулацију топлоте. Највећи недостатак комерцијалних PCM је њихова ниска топлотна проводљивост, која значајно лимитира пренос топлоте у материјалу. У циљу побољшања проводљивости врше се интензивна истраживања на различитим металима и еутектичким легурама као потенцијалним PCM за акумулацију топлоте.

На основу прегледа досадашње литературе евидентно је да велики број система нискотопивих легура, који поседују потенцијал за примену у области PCM још увек није довољно познат, и да многи важни физичко-хемијски показатељи попут еутектичке концентрације, латентне топлоте еутектичке реакције, топлотне проводљивости, специфичне топлоте и др. нису одређени.

У циљу побољшања топлотне проводљивости фазно-променљивих материјала врше се интензивна истраживања метала и еутектичких легура као фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте. У великом броју радова у часописима са JCR–SCI листе предочени су резултати испитивања металних материјала као потенцијално фазно-променљивих материјала.

Значај резултата ове дисертације огледа се у одређивању и карактеризацији легура на бази бизмута и галијума који имају значајан потенцијал за практичну примену у области металних фазно-променљивих материјала и бољем познавању њихових термодинамичких, микроструктурних и термичких особина, а тиме и даљој валоризацији и процени могућности практичне примене у области фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте.

Оригиналност докторске дисертације се, при том, огледа у специфичној комбинацији аналитичких метода термодинамичке анализе (CALPHAD метода) и експерименталних метода микроструктурне и термичке карактеризације материјала (SEM-EDS, DSC, флеш метода за мерење термичке дифузивности) у циљу идентификације и дефинисања термофизичких особина легура на бази бизмута и бази галијума као металних фазно-променљивих материјала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације коришћена је обимна и релевантна научна литература. У литературном прегледу наведено је 144 литературних извора. Велики број литературних извора су научни радови новијег датума који су објављени у часописима са импакт фактором. Цитирани радови су у сагласности са постављеним истраживачким циљевима у овој дисертацији.

У наставку овог извештаја су, у том смислу, наведени најзначајнији радови са становишта ове дисертације:

- [1] G. Beckmann, P.V. Gilli, Thermal Energy Storage: Basics, Design, Applications to Power Generation and Heat Supply, Springer, New York, 1984.
- [2] I. Dincer, M.A. Rosen, Thermal Energy Storage: Systems and Applications, Wiley, New York, 2011.
- [3] A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2) (2009) 318-345.
- [4] H. Ge, H. Li, S. Mei, J. Liu, Low melting point liquid metal as a new class of phase change material: An emerging frontier in energy area, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21 (2013) 331-346.
- [5] J. Rodríguez-Aseguinolaza, P. Blanco-Rodríguez, E. Risueño, M.J. Tello, S. Doppiu, Thermodynamic study of the eutectic Mg49-Zn51 alloy used for thermal energy storage, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 117 (1) (2014) 93-99.
- [6] M.M. Farid, A.M. Khudhair, S.A.K. Razack, S. Al-Hallaj, A review on phase change energy storage: Materials and applications, Energy Conversion and Management, 45 (9-10) (2004) 1597-1615.
- [7] R. Huggins, Energy Storage, Springer, New York, 2010.
- [8] A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lázaro, P. Dolado, B. Zalba, L.F. Cabeza, State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1-Concepts, materials and modellization, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (1) (2010) 31-55.
- [9] M. Medrano, A. Gil, I. Martorell, X. Potau, L.F. Cabeza, State of the art on high-temperature thermal energy storage for power generation. Part 2-Case studies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (1) (2010) 56-72.
- [10] H.Ö. Paksoy, Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies and Design, Springer Netherlands, 2007.
- [11] F. Agyenim, N. Hewitt, P. Eames, M. Smyth, A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS), Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2) (2010) 615-628.
- [12] M.M. Kenisarin, High-temperature phase change materials for thermal energy storage, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (3) (2010) 955-970.
- [13] T. Nomura, N. Okinaka, T. Akiyama, Technology of Latent Heat Storage for High Temperature Application: A Review, ISIJ International, 50 (9) (2010) 1229-1239.
- [14] B. Zalba, J.M. Marín, L.F. Cabeza, H. Mehling, Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering, 23 (3) (2003) 251-283.

- [15] X. Meng, H. Zhang, L. Sun, F. Xu, Q. Jiao, Z. Zhao, J. Zhang, H. Zhou, Y. Sawada, Y. Liu, Preparation and thermal properties of fatty acids/CNTs composite as shape-stabilized phase change materials, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111 (1) (2013) 377-384.
- [16] V.V. Tyagi, A.K. Pandey, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi, Thermal performance evaluation of a solar air heater with and without thermal energy storage, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 107 (3) (2012) 1345-1352.
- [17] S. Harikrishnan, K. Deepak, S. Kalaiselvam, Thermal energy storage behavior of composite using hybrid nanomaterials as PCM for solar heating systems, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115 (2) (2014) 1563-1571.
- [18] N. Wang, X.R. Zhang, D.S. Zhu, J.W. Gao, The investigation of thermal conductivity and energy storage properties of graphite/paraffin composites, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 107 (3) (2012) 949-954.
- [19] A. Horsthemke, E. Marschall, NASA - Lewis Research Center Technical Translation: Storage of Thermal Energy in Molten Salts and Metals, NASA TT-F-17412, 1977.
- [20] C.E. Birchenall, NASA report: Heat storage in alloy transformations" NASA CR-159787, University of Delaware 1980.
- [21] A.M. Gasanaliyev, B.Y. Gamataeva, Heat-accumulating properties of melts, *Russian Chemical Reviews*, 69 (2) (2000) 179-186.
- [22] C.E. Birchenall, A.F. Riechman, Heat storage in eutectic alloys, *Metallurgical Transactions A*, 11 (8) (1980) 1415-1420.
- [23] D. Farkas, C.E. Birchenall, New eutectic alloys and their heats of transformation, *Metallurgical Transactions A*, 16 (3) (1985) 323-328.
- [24] X.-H. Yang, S.-C. Tan, J. Liu, Numerical investigation of the phase change process of low melting point metal, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 100 (2016) 899-907.
- [25] A.S. Fleischer, *Thermal Energy Storage Using Phase Change Materials: Fundamentals and Applications*, Springer International Publishing, 2015.
- [26] F.L. Tan, C.P. Tso, Cooling of mobile electronic devices using phase change materials, *Applied Thermal Engineering*, 24 (2) (2004) 159-169.
- [27] R. Kandasamy, X.Q. Wang, A.S. Mujumdar, Transient cooling of electronics using phase change material (PCM)-based heat sinks, *Applied Thermal Engineering*, 28 (8-9) (2008) 1047-1057.
- [28] H. Ge, J. Li, Keeping smartphones cool with gallium phase change material, *Journal of Heat Transfer*, 135 (5) (2013).
- [29] H. Ge, J. Liu, Cooling capacity of metal phase change material for thermal management of mobile phone subject to long time communication, ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2013, 2013, San Diego, CA, Proceedings Book: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), American Society of Mechanical Engineers (ASME), pp.
- [30] G. Zhang, J. Li, Y. Chen, H. Xiang, B. Ma, Z. Xu, X. Ma, Encapsulation of copper-based phase change materials for high temperature thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 128 (2014) 131-137.
- [31] C.E. Andraka, A.M. Kruienza, B.A. Hernandez-Sanchez, E.N. Coker, Metallic Phase Change Material Thermal Storage for Dish Stirling, *Energy Procedia*, 69 (2015) 726-736.
- [32] A. Pan, J. Wang, X. Zhang, Prediction of Melting Temperature and Latent Heat for Low-melting Metal PCMs, *Rare Metal Materials and Engineering*, 45 (4) (2016) 874-880.

- [33] R. Fukahori, T. Nomura, C. Zhu, N. Sheng, N. Okinaka, T. Akiyama, Thermal analysis of Al–Si alloys as high-temperature phase-change material and their corrosion properties with ceramic materials, *Applied Energy*, 163 (2016) 1-8.
- [34] G. Setoh, F.L. Tan, S.C. Fok, Experimental studies on the use of a phase change material for cooling mobile phones, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37 (9) (2010) 1403-1410.
- [35] H. Zhang, Q. Xu, Z. Zhao, J. Zhang, Y. Sun, L. Sun, F. Xu, Y. Sawada, Preparation and thermal performance of gypsum boards incorporated with microencapsulated phase change materials for thermal regulation, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 102 (2012) 93-102.
- [36] X. Jin, D. Shi, M.A. Medina, X. Shi, X. Zhou, X. Zhang, Optimal location of PCM layer in building walls under Nanjing (China) weather conditions, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 129 (3) (2017) 1767-1778.
- [37] Y. Cui, J. Xie, J. Liu, S. Pan, Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving, *Procedia Engineering*, 121 (2015) 763-770.
- [38] L.F. Cabeza, A. Castell, C. Barreneche, A. de Gracia, A.I. Fernández, Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3) (2011) 1675-1695.
- [39] V.V. Tyagi, D. Buddhi, PCM thermal storage in buildings: A state of art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (6) (2007) 1146-1166.
- [40] R. Adinberg, D. Zvegilsky, M. Epstein, Heat transfer efficient thermal energy storage for steam generation, *Energy Conversion and Management*, 51 (1) (2010) 9-15.
- [41] A.T. Dinsdale, A. Watson, A. Kroupa, J. Vrestal, A. Zemanova, J. Vizdal, COST 531 • Lead Free Solders - Atlas of Phase Diagrams for Lead-free Solders, 2008.
- [42] V.T. Witusiewicz, U. Hecht, B. Böttger, S. Rex, Thermodynamic re-optimisation of the Bi–In–Sn system based on new experimental data, *Journal of Alloys and Compounds*, 428 (1-2) (2007) 115-124.
- [43] K. Zhou, Z. Tang, Y. Lu, T. Wang, H. Wang, T. Li, Composition, Microstructure, Phase Constitution and Fundamental Physicochemical Properties of Low-Melting-Point Multi-Component Eutectic Alloys, *Journal of Materials Science & Technology*, 33 (2) (2017) 131-154.
- [44] A. Dębski, B. Onderka, W. Gąsior, T. Gancarz, Phase Equilibria in the Bi-In-Sn-Zn System. Thermal Analysis vs. Calculations, *Archives of Metallurgy and Materials*, 62 (4) (2017) 1945-1955.
- [45] A.A. El-Daly, Y. Swilem, M.H. Makled, M.G. El-Shaarawy, A.M. Abdraboh, Thermal and mechanical properties of Sn–Zn–Bi lead-free solder alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 484 (1-2) (2009) 134-142.
- [46] S. Mladenovic, D. Manasijevic, M. Gorgievski, D. Minić, S. Dimitrijevic, Investigation of solidification behavior of the Sn-rich ternary Sn–Bi–Zn alloys, *Metallurgical and Materials Engineering*, 23 (2017) 11-20.
- [47] D.V. Malakhov, X.J. Liu, I. Ohnuma, K. Ishida, Thermodynamic calculation of phase equilibria of the Bi-Sn-Zn system, *Journal of Phase Equilibria*, 21 (6) (2000) 514-520.
- [48] N. Moelans, K.C.H. Kumar, P. Wollants, Thermodynamic optimization of the lead-free solder system Bi–In–Sn–Zn, *Journal of Alloys and Compounds*, 360 (1-2) (2003) 98-106.
- [49] C. Luef, A. Paul, J. Vizdal, A. Kroupa, A. Kodentsov, H. Ipser, Thermodynamic Properties and Melting Behavior of Bi–Sn–Zn Alloys, *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 137 (4) (2006) 381-395.

[50] D. Jendrzeczyk-Handzlik, P. Handzlik, K. Fitzner, Experimental Investigations of Phase Equilibria in Ternary Ag-Cu-Ga System, Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 40 (1) (2018) 64-78.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације обухватају термодинамичке прорачуне на бази CALPHAD методе и савремене експерименталне технике микроструктурне и термичке карактеризације материјала.

CALPHAD методом прикупљају се све експерименталне информације о фазним равнотежама у систему и термодинамички подаци добијени из термохемијских и термофизичких студија. Термодинамичка својства сваке фазе се затим описују математичким моделом који садржи подесиве параметре. Параметри се процењују оптимизацијом. Након оптимизације могуће је израчунати фазни дијаграм и термодинамичка својства система као и појединачних фаза. Циљ CALPHAD методе јесте добијање конзистентног описа фазног дијаграма и термодинамичких својстава целог система тако да се поуздано предвиде равнотеже стабилних фаза и њихова термодинамичка својства у концентрацијским и температурним опсезима без експерименталних информација. Прорачуни фазних равнотежа и термодинамичких величина се изводе применом специјалних термодинамичких софтвера.

У оквиру докторске дисертације CALPHAD методом извршен је прорачун фазних дијаграма испитиваних система легура, одређени су еутектички састави, температуре топљења, термодинамичке величине попут енталпија и специфичних топлотних капацитета испитиваних легура.

Након термодинамичких прорачуна и припреме узорак изведена су експериментална испитивања савременим методама микроструктурне и термичке анализе.

Експериментални рад обухвата извођење следећих активности и примену следећих адекватних метода:

- Скенирајућа електронска микроскопија са EDS анализом (SEM-EDS) у циљу одређивања хемијског састава узорак, идентификације присутних фаза и еутектичке морфологије,
- Диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC) у циљу одређивања температуре топљења и латентне топлоте топљења легура еутектичког састава и специфичне топлоте,
- Мерење термичке дифузивности и одређивање топлотне проводљивости испитиваних легура применом флеш методе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати у великој мери пружају нова фундаментална знања о микроструктурним и термофизичким особинама еутектичких легура из Bi-In, Bi-Sn, Bi-In-Sn и Bi-Sn-Zn система са температуром топљења у опсегу од 40-200 °C и еутектичких легура на бази галијума из Ga-In и Ga-Sn система са температуром топљења испод 30 °C. Поред фундаменталне важности, остварени резултати су веома значајни у процени могућности примене испитиваних еутектичких легура као металних фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте. Примена еутектичких легура у области фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте је релативно нова област истраживања. Познато је да еутектичке легуре поседују низ повољних особина које представљају важне

предности у односу на друге типове органских и неорганских фазно-променљивих материјала. Температура топљења, латентна топлота топљења и топлотна проводљивост представљају најважније термичке карактеристике материјала које одређују његову применљивост у области фазно-променљивих материјала. Из наведених разлога, истраживачки рад и остварени резултати у оквиру ове докторске дисертације имају значајну применљивост и практичну вредност.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, њихово тумачење, те проистекли и објављени научни радови указују на способност кандидата Ивана Манасијевић, дипл. инж. металургије за самостални научни рад као и за активно учешће у тимском раду.

Ивана Манасијевић је током израде докторске дисертације испољила самосталност и стручност у претраживању савремене литературе, планирању истраживања, осмишљавању, припреми и реализацији истраживања, експерименталном и аналитичком раду као и систематизацији и анализи добијених резултата. На основу испољеног квалитета, заинтересованости и стручности у обављању досадашњих научних и стручних активности, Комисија сматра да кандидаткиња Ивана Манасијевић поседује све квалитете који су неопходни за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Извршена је термодинамичка анализа испитиваних система на бази бизмута и галијума применом оптимизованих термодинамичких параметара. Прорачунати су еутектички састави легура, удели фаза еутектичких легура, температуре топљења, латентне топлоте топљења и специфични топлотни капацитети.
- Извршена је микроструктурна анализа испитиваних узорака, идентификација присутних фаза и одређена је еутектичка морфологија.
- Експериментално су одређене температуре топљења и очвршћавања, латентне топлоте топљења и очвршћавања као и њихове зависности од састава.
- Експериментално је одређена термичка дифузивност и топлотна проводљивост испитиваних еутектичких легура.
- Добијени резултати истраживања у значајној мери допуњују постојећи фонд фундаменталних и практичних знања из области металних фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте на бази бизмута и галијума. Температура топљења, топлотна проводљивост и латентна топлота топљења представљају термофизичке величине од кључне важности за развој нових и селекцију постојећих фазно-променљивих материјала за акумулацију топлоте.
- Користећи резултате приказане у докторској дисертацији термичко понашање испитиваних еутектичких легура у системима за акумулацију топлоте може се успешно предвидети и симулирати.
- Дисертацијом је отворено поглавље за могућност даљих испитивања у овој области.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Примена метала и еутектичких легура у области-фазно променљивих материјала за акумулацију топлоте је релативно нова, врло актуелна област истраживања. Приликом селекције одређеног материјала за практичну примену потребно је познавати велики број особина попут температуре топљења, латентне топлоте топљења, топлотне проводљивости, специфичног топлотног капацитета, термичке и хемијске стабилности, потхлађења, доступности, цене и др. Досадашњи резултати су указали на одређене повољне особине еутектичких легура у односу на друге типове органских и неорганских фазно-променљивих материјала међу којима се посебно истиче њихова висока топлотна проводљивост која омогућава велику брзину размене топлоте између система за акумулацију топлоте и његове околине.

Претраживањем научне литературе из ове области кандидат је установио да нискотопиве еутектичке легуре на бази бизмута и на бази галијума представљају металне материјале са значајним потенцијалом примене у нискотемпературном опсегу рада. Истовремено, утврђено је да, за значајан број еутектичких система, подаци о напред наведеним карактеристикама још увек нису познати. У овој дисертацији је затим на оригиналан, логичан и систематски начин спроведено аналитичко и експериментално истраживање изабраних система на бази бизмута и галијума. Комбинацијом термодинамичке анализе на бази CALPHAD методе и савремених експерименталних метода карактеризације материјала успешно је извршено одређивање еутектичких састава и низа структурних и термичких особина које у великој мери одређују могућност примене ових легура у области фазно-променљивих материјала.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација ове докторске дисертације је у складу са позитивним законским одредбама у Републици Србији и критеријумима Универзитета у Београду међу којима се предвиђа и објављивање најмање једног рада из дисертације у часописима са импакт фактором (IF) где би кандидат требало да буде први аутор. Кандидат Ивана Манасијевић је, наиме, до тренутка предавања дисертације за јавну одбрану објавила четири рада у часописима са IF са JCR листе, од којих један припада врхунском међународном часопису категорије M21 док три припадају међународним часописима категорије M23.

Из дисертације, проистекли су следећи радови:

а) Рад у врхунском међународном часопису M21

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Duško Minić, Milan Gorgievski, Study of microstructure and thermal properties of the low-melting Bi–In eutectic alloys, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 136 (2019) 643–649.

ISSN 1388-6150

<https://doi.org/10.1007/s10973-018-7679-8>

Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 2,471. Ранг часописа за 2018. годину је M21 у научној области: Thermodynamics.

б) Рад у међународном часопису M23

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Duško Minić, Milan Gorgievski, Study of Microstructure and Thermal Properties of the Low Melting Bi-In-Sn Eutectic Alloys, Materials Research, 21(6) (2018): e20180501.

ISSN 1516-1439

<http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0501>

Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 1,104. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Materials Science, Multidisciplinary.

2. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Duško Minić, Milan Gorgievski, Uroš Stamenković, Investigation of latent heat of melting and thermal conductivity of the low-melting Bi-Sn-Zn eutectic alloy, Kovove Materialy - Metallic Materials, 57 (4) (2019) 267-273.

ISSN 0023-432X

http://dx.doi.org/10.4149/km_2019_4_267

Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 0,593. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Metallurgy & Metallurgical Engineering.

3. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Uroš Stamenković, Milan Gorgievski, Vladan Ćosović, Microstructure and thermal properties of Bi-Sn eutectic alloy, Materials Testing, 62 (2) (2020) 184-188.

ISSN 0025-5300

<https://doi.org/10.3139/120.111470>

Часопис је на SCIE листи са IF (2018)= 0,573. Ранг часописа за 2018. годину је M23 у научној области: Materials Science, Characterization & Testing.

ц) Саопштења на скуповима:

Саопштења са међународног скупа штампано у целини M33

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Milan Gorgievski, Duško Minić, Milena Premović, MICROSTRUCTURE AND THERMAL ANALYSIS OF THE LOW MELTING Bi-In EUTECTIC ALLOYS, 17th INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE, Hi-tech casting solution and knowledge based engineering, Opatija, May 16th – 18th, 2018, PROCEEDINGS BOOK (CD electronic edition), pp. 334-342.

2. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Tamara Holjevac Grgurić, Emi Govorčin Bajsić, INVESTIGATION OF THERMAL PROPERTIES OF THE Ga-In AND Ga-Sn EUTECTIC ALLOYS, 18th INTERNATIONAL FOUNDRYMEN CONFERENCE, Coexistence of material science and sustainable technology in economic growth Sisak, Croatia, May 15th-17th, 2019, PROCEEDINGS BOOK (electronic edition), pp. 295-307.

Саопштења са међународног скупа штампано у апстракту M34

1. **Ivana Manasijević**, Ljubiša Balanović, Uroš Stamenković, Duško Minić, Milan Gorgievski, Thermal conductivity of the low-melting Bi-In eutectic alloys, Metallurgical and Materials Engineering Congress of South-East Europe MME SEE 2019, June, 5th-7th 2109, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, pp. 56.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Иване Манасијевић садржи бројне оригиналне резултате који омогућавају проширење постојећих фундаменталних и практичних знања у области фазно-променљивих металних материјала за акумулацију топлоте. Објављени радови из докторске дисертације на најбољи начин потврђује ниво остварених резултата кандидата у овом раду.

Сагледавајући квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата Комисија закључује да кандидат Ивана Манасијевић, дипл. инж. металургије испуњава све законске и остале услове за одбрану урађене докторске дисертације. Комисија закључује да је ова докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, те да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Техничког факултета у Бору и Критеријумима које је прописао Универзитет у Београду.

Имајући у виду предочене чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору да прихвати позитиван извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Иване Манасијевић под називом: **„Термодинамичка анализа и карактеризација фазно-променљивих легура на бази бизмута и галијума”** и да исти упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да после тога овог кандидата позове на јавну одбрану.

У Бору, марта 2020. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Љубиша Балановић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Доц. др Милан Горгиевски, доцент
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Проф. др Тамара Хољевац Гргурић, ванредни професор
Свеучилиште у Загребу, Металуршки факултет у Сиску
