

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета" број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

ВАСА (Драгослав) МАНОЈЛОВИЋА, дипл. инж. технологије

КАНДИДАТ: **ВАСО (Драгослав) МАНОЈЛОВИЋ, дипл. инж. технологије**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„Металотермијска редукција у рециклажним технологијама примењена на металуршке међупроизводе и отпаде“

Из научне области: **МЕТАЛУРШКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Универзитет је дана **08.06.2015.** године, својим актом **02 број: 61206-2570/2-15**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Металотермијска редукција у рециклажним технологијама примењена на металуршке међупроизводе и отпаде“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

ВАСА (Драгослав) МАНОЈЛОВИЋА, дипл. инж. технологије

(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **15.09.2016.** године Одлуком Факултета под бр. **35/425** у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Жељко Камберовић	Редовни професор	Металургија
2. Др Мирјана Филиповић	Редовни професор	Металургија
3. Др Мирослав Сокић	Виши научни сарадник	Инжењерство материјала
4. Др Марија Кораћ	Научни саветник	Металургија
5. Др Милорад Гавриловски	Научни сарадник	Металургија

На захтев студента, а уз сагласност ментора, декан Факултета донео је Решење бр. 20/127 од 06.10.2016. године о продужењу рока за завршетак студија за два семестра шк. 2016/2017. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **29.12.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаковић

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 29.12.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Жељко Камберовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мирјана Филиповић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Мирослав Сокић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, др Марија Кораћ, научни саветник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Милорад Гавриловски, научни сарадник Иновационог центра Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Металотермијска редукција у рециклажним технологијама примењена на металуршке међупроизводе и отпаде“** коју је поднео **ВАСО МАНОЈЛОВИЋ**, дипл. инж. металургије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Васа Манојловића, под називом **„Металотермијска редукција у рециклажним технологијама примењена на металуршке међупроизводе и отпаде“** Одлуком 02 број: 61206-2570/2-15 од 08.06.2015. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M21

- 1.1. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Sokić, M. Gavrilovski, M. Korać, Designing of Synergistic Waste Mixtures for Multiphase Reactive Smelting, Metals 6, 6 (2016) 138, doi:10.3390/met6060138, ISSN 2075-4701, IF 2015 1,574 (18/73)

Kategorija M22

- 1.2. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, M. Sokić, M. Korać, Combustion of metallurgical wastes using secondary aluminum foils, Combustion Science and Technology, prihvaćen za štampu, mail 18.12.2016, ISSN 0010-2202, IF 2015 1,193 (36/85)

Kategorija M23

- 1.3. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Sokić, Z. Gulišija, V. Matković, Optimization of Recycling Processes of Magnesium from Highly Contaminated waste, Materiali in Tehnologije / Materials and Technology, 48, 4 (2014) 571-575, ISSN 1580-2949, IF 2014 0,548 (224/260)

Kategorija M24

- 1.4. V. Matković, B. Marković, M. Sokić, V. Manojlović, Valorizacija olova iz međuprodukata rafinacije bizmuta postupkom metalotermijske redukcije, Zaštita materijala, 56, 1 (2015) 59-63. ISSN 0351-9465.
- 1.5. M. Gavrilovski, V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Sokić, Semi-empirical optimization software for aluminothermic and carbothermic reactions processes, Metallurgical and Materials Engineering, 20, 3 (2014) 199-206. ISSN 2217-8961

2. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini - (M33)
 - 2.1. V. Manojlović, M. Gavrilovski, Ž. Kamberović, M. Sokić, The application of thermite mixtures for steel alloying, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Ed.: A. Kostov, M. Ljubojev, 4-6 October 2015, Bor Lake, Serbia, 347-350. ISBN 978-86-7827-047-5
 - 2.2. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Gavrilovski, M. Sokić, B. Marković, T. Kovačević, Secondary Aluminium as a reducing agent in the aluminothermic processes, MME SEE 2015, MME SEE 2015 Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Ed. Marija Korać, 3-5 June, 2015, Belgrade, Serbia, pp. 85-91, ISBN 978-86-87183-27-8
 - 2.3. M. Sokić, Z. Gulišija, B. Marković, N. Štrbac, V. Manojlović, Steel scrap as an important resource in the production of iron and steel, 4th International Symposium on Natural Resources Management, Ed.: D. Mihajlović & B. Đorđević, 31st May -1st June 2014, Zajecar, 187-194. ISBN: 978-86-84763-04-6
 - 2.4. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Simić, D. Ivšić-Bajčeta, M. Korać, M. Pavlović, A. Tomović, (2013) Treatment of eaf-dust in dc plasma furnace - off-gas composition modelling and comparison with real measurements, III International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Serbia 11th October, page: 143-148, ISBN 978-86-7672-209-9
 - 2.5. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, M. Gavrilovski (2011) Valorization of Post Consumer Aluminum Scrap in the Shredding Process, I International Conference “Ecology of urban areas”, Zrenjanin, Serbia, page 132-139. ISBN 978-86-7672-145-0, Organizers: Technical Faculty “Mihajlo Pupin” (Zrenjanin), Politehnica University (Timisoara)
 - 2.6. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, Z. Anđić, A. Vujović (2011) Recycling of End of Life Vehicles in Serbia as Resource of Secondary Aluminum, ISWA Beacon 2011, Waste-to-energy and Packaging Waste in Developing Countries in the SEE, Middle East and Mediterranean Region, Novi Sad, Serbia, Proceedings, page 97-102, ISBN 978-86-7892-361-6
- Prijava domaćeg patenta - (M87)
 - 2.7. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Sokić, M. Gavrilovski, V. Đokić, Postupak i proizvod nastao obradom otpadne aluminijumske folije, patentna prijava P-2016/1069 Zavoda za intelektualnu svojinu Republike Srbije
- 2.8. Objavljen patent na nacionalnom nivou - (M94)
 - 2.9. Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, V. Manojlović, M. Korać, Alternativni metalotermijski reducent dobijen reciklažom aluminijumske folije, patentna prijava P-2014/0334 Zavoda za intelektualnu svojinu Republike Srbije (objavljeno u „Glasniku intelektualne svojine“ broj 6/2015)

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Vasa Manojlovića, dipl. inž. metalurgije.

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, broj 35/425 od 15.09.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Vasa Manojlovića, diplomiranog inženjera metalurgije, pod nazivom:

**„METALOTERMIJSKA REDUKCIJA U RECIKLAŽNIM TEHNOLOGIJAMA
PRIMENJENA NA METALURŠKE MEĐUPROIZVODE I OTPADE”**

Komisija je pregledala doktorsku disertaciju i druge prateće materijale i podnosi Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta sledeći

REFERAT

1. UVOD

1.1 Hronologija odobravanja i izrade disertacije

14.02.2015. – Kandidat Vaso D. Manojlović dipl. inž., predložio je temu doktorske disertacije pod nazivom: „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“.

26.02.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/76 o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Vasa D. Manojlović, dipl. inž. za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“.

07.05.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je odluka br. 35/192 o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata i odobravanju izrade doktorske disertacije Vasa D. Manojlovića, dipl. inž., pod nazivom: „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“, a za mentora ove doktorske disertacije imenovan je dr Željko Kamberović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

08.06.2015. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu doneta je odluka br 61206-2570/2-15 o davanju saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije Vasa D. Manojlovića, dipl. inž., pod nazivom: „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“.

15.09.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/425 o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Vasa D.Manojlovića, dipl. inž., pod nazivom: „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“.

1.2 Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Metalurško inženjerstvo, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu. Uže oblasti predložene teme su reciklažne tehnologije i ekstraktivna metalurgija.

1.3 Biografski podaci o kandidatu

Vaso D. Manojlović je rođen 11.05.1985. godine u Nikšiću, Crna Gora, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju „Stojan Cerović“. Diplomirao je 2010. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, na odseku Metalurško inženjerstvo, sa prosečnom ocenom 8,91. Diplomski rad je odbranio na temu „Ispitivanje mogućnosti reciklaže magnezijuma postupkom vakuumske destilacije“, na Katedri za metalurško inženjerstvo, pod rukovodstvom mentora Prof. dr Željka Kamberovića. Doktorske studije upisao je školske 2010/11. godine na smeru Metalurško inženjerstvo.

Od 2011. do 2012. godine radi kao saradnik u nastavi na Tehničkom fakultetu „Mihajlo Pupin“ u Zrenjaninu, Univerziteta u Novom Sadu. U tom periodu angažovan je i na projektu Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja sa nazivom „Održivi razvoj tehnologija i opreme za reciklažu motornih vozila“ pod rukovodstvom prof. dr Milana Pavlovića. Od maja 2012. godine radi kao istraživač-saradnik na Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina u Beogradu, u Centaru za metalurške tehnologije, gde je angažovan na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, sa nazivom „Razvoj tehnoloških postupaka livenja pod uticajem elektromagnetnog polja i tehnologija plastične prerade u toplom stanju četvorokomponentnih legura Al-Zn za specijalne namene“, pod rukovorstvom prof. dr Zvonka Gulišije. Od januara 2016. godine angažovan je kao tehnički urednik časopisa Metallurgical and Materials Engineering.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Vasa Manojlovića pod naslovom „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“ napisana je na 165 strana i sadrži 68 slika i 40 tabela. Tekst disertacije obuhvata sledeća poglavlja: Teorijski deo i literaturni pregled, Eksperimentalna istraživanja, Zaključak i Literaturu (251 literaturni navod). Pored toga, postoji Rezime na srpskom i engleskom jeziku, Sadržaj i Zahvalnica. Po svojoj formi i sadržaju, podneti rad zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Teorijski deo i literaturni pregled podeljen je na 4 poglavlja: Uvod, Metalurški međuproizvodi i otpad, Plazma reaktori za tretman metalurškog otpada i Metalotermijske reakcije.

U uvodnom delu dat je kratak pregled disertacije po pojedinačnim poglavljima.

U poglavlju Metalurški međuproizvodi i otpadi, dat je pregled najznačajnijih međuproizvoda i otpada koji se javljaju u metalurškim procesima: gde i kako nastaju, u kojim količinama i sa kojim hemijskim sastavom, koji su najveći problemi kod njihovog tretmana, kao i postojeći postupci njihovog tretmana. U podpoglavljima posebno su razmatrani: prašina elektro-lučnih peći (EAFD), cink oksidni talog tipa jarosit, kovarina i sekundarni izvori aluminijuma i magnezijuma. Dati su mehanizmi njihovog nastajanja (osim u slučaju aluminijuma i magnezijuma), hemijski sastavi, morfologija čestica, kao i literaturni pregled najznačajnijih postupaka za njihov tretman sa osnovnim prednostima i nedostacima. Ovi materijali su kasnije korišćeni u eksperimentalnom radu.

U poglavlju Plazma reaktori za tretman metalurškog otpada dat je literaturni pregled plazma reaktora u procesnoj i ekstraktivnoj metalurgiji koji se koriste za tretman otpada, a među kojima je i elektro-lučna plazma peć, koja je kasnije detaljnije razmatrana i korišćena u eksperimentalnom istraživanju. Dat je literaturni pregled metalurških peći koje se koriste za određene vrste otpada, kao i najznačajnije kompanije koje se trenutno bave izradom ovih peći.

U poglavlju Metalotermijske reakcije dati su osnovni principi i primena metalotermijskih reakcija. Prikazani su metali koji se koriste u ovim reakcijama, kao i prednosti i nedostaci kod njihove upotrebe u metalotermijskim reakcijama. Prikazane su termodinamičke jednačine i zakonitosti koji se javljaju kod metalotermijskih reakcija. Najveću primenu kod metalotermijskih reakcija našao je aluminijum i to kod aluminotermijskog zavarivanja šina, dobijanja metala i legura, vatrostalnih i kompozitnih materijala, kao i kod postupaka prerade i tretmana opasnog otpada, što je i jedan od predmeta ove disertacije.

Drugi deo čine **Eksperimentalna istraživanja** koja su podeljena u tri poglavlja: Ciljevi, materijali i metode, Opis izvođenja eksperimenata i Analiza rezultata i diskusija.

U poglavlju Ciljevi, materijali i metode prikazani su osnovni ciljevi istraživanja u okviru disertacije, pregled osnovnih i pomoćnih materijala koji su korišćeni u eksperimentalnom radu, kao i metode koje su korišćene za karakterizaciju materijala i praćenja parametara za odrađene eksperimente procesa karbotermijske i metalotermijske redukcije.

U poglavlju Opis izvođenja eksperimenata detaljno su opisani: postupak i proizvod nastali obradom otpadne aluminijumske folije, za koji je predata patentna prijava u Zavodu za intelektualnu svojinu; postupak pirolitičkih ispitivanja i topljenja otpadne aluminijumske folije; postupak za laboratorijska metalotermijska ispitivanja i uvećana laboratorijska ispitivanja. Na kraju je opisan algoritam za izradu modela materijalnog i energetskog bilansa, kao i softvera koji je napravljen na osnovu ovog algoritma, a koji se posebno koristi za metalotermijske reakcije redukcije uz mogućnost mešanja sa drugim reducentima koji sadrže ugljenik.

U poglavlju Analiza rezultata i diskusija opisani su: karakterizacija ulaznih sirovina; termodinamička analiza; analiza energetskih efekata i materijalnog bilansa; eksergijska analiza i studije slučajeva sa primenom dobijenog modela. Detaljno je okarakterisan novo dobijeni proizvod, aluminijum-prah koji potiče iz sekundarnih sirovina, prašina elektro-lučne peći, nestandardni otpad jarosit PbAg kao i ostali pomoćni materijali koji su korišćeni u eksperimentima. U termodinamičkoj analizi prikazane su moguće reakcije kod karbotermijskih i aluminotermijskih reakcija redukcije koji predstavljaju nulte tačke kod izrade softverskog rešenja; prikazane su jednačine koje se koriste kod matematičkog modela; i na kraju su izračunati toplotni gubici koji se javljaju kod elektro-lučne peći koja je korišćena kod uvećanih laboratorijskih ispitivanja. Analizirani su energetski efekti i materijalni bilans urađenih eksperimenata karbotermijskih i aluminotermijskih reakcija redukcije. Za optimizaciju modela korišćena je metoda eksergijske analize, na osnovu koje je moguće izračunati minimalne gubitke eksergije u proučavanim sistemima, koji uzimaju u obzir

materialne i energetske efekte u procesu. Na kraju je proveravana ispravnost modela na različite materijale.

U poglavlju **Zaključak** sumirani su izvedeni zaključci iz eksperimentalnog dela disertacije.

Navedena **Literatura** obuhvata relevantne radove iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije.

Disertacija sadrži još i kratku biografiju kandidata, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1 Savremenost i originalnost

Postupci za tretman otpada i međuproizvoda razmatranih u ovoj disertaciji, intenzivno se proučavaju i razvijaju pre svega u cilju zaštite životne sredine, a zatim i zbog poboljšanja ekonomskih efekata i iskorišćenja materijalnih resursa. U okviru disertacije ispitivana je primena metalotermijskih reakcija za tretman metalurških otpada i međuproizvoda, što na osnovu pregledane literature predstavlja inovativan i originalan pristup u oblasti ekstraktivne metalurgije i reciklažnih tehnologija. Takođe, materijali koji su korišćeni kao reducenti za metalotermijske reakcije potiču iz sekundarnih sirovina, što takođe predstavlja inovativni pristup, jer je uobičajna praksa neefikasno pretapanje i dobijanje metala. Da bi korišćenje ovih materijala u metalotermijskim reakcijama bilo moguće, u okviru disertacije razvijen je novi postupak i dobijen je novi proizvod koji je predmet jednog objavljenog patenta i jedne patentne prijave podnetih Zavodu za intelektualnu svojinu Srbije. Ovim postupkom dobijaju se čestice aluminijuma sa razvijenom površinom i morfologijom koja je povoljna za metalotermijske reakcije redukcije, što je i dokazano eksperimentalnim putem.

U okviru disertacije razvijen je i originalan matematički model koji je primenjiv za različite oksidne sisteme koji se redukuju metalnim reducentima, ili mešavinom sa drugim reducentima, pre svega sa ugljenikom. Primenom ovog modela moguće je odrediti optimalan sastav smeše oksida i reducenata sa aspekta eksergijske analize, a koja uključuje zajedno i materijalni i energetski bilans. Pored toga, modelom je moguće izračunati i adijabatsku temperaturu reakcija, kao i viskozitet i bazicitet dobijene šljake, koji su osnovni parametri metalotermijskih reakcije.

Primenom predloženog postupka mešaju se različite vrste metalurških otpada i međuprodukata na takav način da se njihovom interakcijom stvaraju sinergijski efekti koji kao rezultat imaju valorizaciju korisnih komponenti u sistemu, ostvaruju se pozitivni uticaji na životnu sredinu i dobijaju se optimalni energetski efekti, što je ispitano i dokazano u eksperimentalnim istraživanjima prikazanim u disertaciji.

3.2 Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U okviru disertacije napravljeni su posebni literaturni pregledi u više oblasti, među kojima su: metalurški međuproizvodi i otpadi (EAFD, cink oksidni talog tipa jarosit, kovarina i sekundarni izvori aluminijuma i magnezijuma), sa aspekta poznatih i novih postupaka njihovog tretmana; metalurški plazma lučni reaktori za tretman metalurškog otpada sa aspekta njihove primene i tipa; i metalotermijske reakcije redukcije sa aspekta njihove primene. U

eksperimentalnom delu korišćena je literatura koja se uglavnom odnosi na termodinamičke podatke i poznate mehanizme u vezi sa predmetom izučavanja disertacije.

U literaturi je dat 251 citat, od kojih su preko 60% objavljeni u poslednjih 10 godina. Najveći broj citiranih radova čine radovi međunarodnog značaja sa tematikom relevantnom za izradu doktorske disertacije. Na osnovu popisane literature i objavljenih naučnih radova kandidata Vasa Manojlovića, koji su proistekli iz doktorske disertacije, može se zaključiti da je kandidat dobro upoznat sa aktuelnim stanjem predmetne oblasti istraživanja koje je trenutno dostupno i opisano u svetskoj literaturi.

3.3 Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Za realizaciju predloženih ispitivanja u okviru disertacije primenjene su naučne metode za analizu i praćenje eksperimentalnih ispitivanja, za obradu dobijenih rezultata i analizu prethodno dobijenih literaturnih podataka.

Optimizacija postupaka metaloterijumskih reakcija redukcije složenog oksidnog sistema i metalnog reducenta postignuta je primenom metodologije planiranog eksperimenta analizom varijanse svih parametara sa tri nezavisne promenljive.

Za praćenje eksperimentalnih ispitivanja i karakterizaciju materijala korišćeno je više metoda. Za određivanje hemijskog sastava uzoraka ulaznih sirovina, kao i uzoraka proizvoda reakcije korišćene je metoda atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS i optička emisiona spektroskopija sa indukovano-kuplovanom plazmom (OES/ICP). Fazni sastavi određeni su korišćenjem rendgenske difrakcione analize (XRD). Minerološka mikroskopska analiza dobijenih šljaka rađena je na optičkom mikroskopu sa odbijenom i propuštenom svetlošću. Analiza strukture i morfologije uzoraka dobijenih aluminijumskih prahova i dobijenih proizvoda reakcije rađena je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM). Piroliza uzoraka dobijenog aluminijumskog praha rađena je sa ciljem da se karakteriše površinski sloj na folijama. Na taj način određen je hemijski sastav pirolitičkog ulja metodom infracrvene spektrofotometrije sa Furijeovom transformacijom (FT-IR). Specifična površina uzoraka komercijalnih i dobijenih aluminijum-prahova određena je metodom Brunauer-Emmett-Teller (BET) Termijska analiza i promene mase uzoraka dobijenog aluminijumskog praha merena su tokom oksidacije na vazduhu metodom DTA/TGA analize. Za određivanje hemijskog sastava uzoraka dobijenih metalnih faza korišćen je spektrometar sa optičkom emisijom. Temperature reakcija određivane su termoparovima tipa-B sa Pt/Pt-10 mas. % Rh legurom kao i sa termalnom kamerom marke Flir model E40 koji su povezani preko akvizicionog sistema sa PC računarnom radi kontinualnog praćenja i beleženja promene temperature u sistemu. Analiza emisionih gasova rađena je na uređaju marke Testo model 340 (Testo INC, Lenzkirch, Germany), pri čemu su merene količine CO, NO_x i SO₂ na temperaturi od 40°C.

Za obradu dobijenih podataka metalotermijskih i karbotermijskih ispitivanja korišćena je metoda eksergijske analize, kojom se proračunava optimalan sastav mešavine sa aspekta minimalizovanja eksergijskih gubitaka. Eksergijske analize rađene su pomoću softverskog rešenja RikiAlC, posebno napravljenog i proisteklog kao rezultat ove disertacije. Takođe, rađena je i uporedna analiza procesa dobijanja aluminijuma iz sekundarne aluminijumske folije sa procesom upotrebe sekundarne aluminijumske folije u aluminotermijskim procesima sa aspekta njihovih uticaja na životnu sredinu, a u cilju dokazivanja prednosti upotrebe sekundarnog aluminijuma u aluminotermijskim procesima. Ove analize su rađene metodom ocenjivanja životnog ciklusa (LCA) u SigmaPRO softverskom paketu i Econivent bazom inventara životnog ciklusa (LCI).

Analizom prethodno dobijenih literaturnih podataka i upoređivanjem sa dobijenim rezultatima moglo se doći do zaključaka vezanih za mehanizme kod metalotermijskih reakcija i izrade matematičkog modela za materijalni i energetski bilans.

Na osnovu opisanih naučnih metoda koje su primenjene u disertaciji može se zaključiti da u potpunosti odgovaraju predloženim ispitivanjima u okviru disertacije.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Primena rezultata prosteklih iz ove doktorske disertacije moguća je na sve metalurške međuproizvode i otpade, s obzirom da se sastoje ili se mogu svesti na oksidne sisteme. Primenom razvijenog softvera u okviru disertacije i kombinacijom ovih otpada i međuproizvoda sa metalnim reducentima uzetih iz sekundarnih sirovina valorizuju se korisni elementi, poboljšavaju ekološki efekti uz značajne tehnološke prednosti u pogledu uštede energije i jednostavnosti procesa.

Primena rezultata istraživanja uz pomoć razvijenog softvera, koji je proistekao kao rezultat ove disertacije, a koji se može primeniti za: proračun materijalnog i energetskog bilansa za date ulazne sirovine; adijabatske temperature metalotermijskog procesa; proračuna potrebne količine reducenata; sastava, baziciteta i viskoznosti šljake; kao i za analizu eksergijskih efekata.

Razvijen je novi postupak i dobijen je novi proizvod, aluminijum prah sa razvijenom površinom i morfologijom koja je povoljna za metalotermijske reakcije redukcije, koji je predmet jednog objavljenog patenta i jedne patentne prijave podnetih Zavodu za intelektualnu svojinu Srbije.

Dobijeni aluminijumski prah iz sekundarnih sirovina može se primeniti i na ostale oblasti metalotermije, kao što su zavarivanje, dobijanje metala i legura, kompozitnih i keramičkih materijala.

3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Vaso Manojlović je u okviru izrade doktorske disertacije tokom pripreme, planiranja i realizacije eksperimenata, analize i obrade dobijenih rezultata, pokazao stručnost, kreativnost i sistematičnost. Imajući u vidu da je predmetna oblast visokotemperaturnog eksperimentalnog istraživanja izrazito zahtevna, rezultati kandidata ukazuju na obučenost i naučnu disciplinovanost u primeni više inovativnih metoda. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Dobijeni rezultati u celini daju značajan naučni doprinos proširenju fundamentalnih znanja u oblasti primene metalotermijskih reakcija redukcije za tretman metalurških međuproizvoda i otpada. Takođe, rezultati ovog rada daju doprinos i u izučavanju mogućnosti korišćenja metalnih reducenata dobijenih iz sekundarnih sirovina za metalotermijske reakcije redukcije.

Specifični naučni doprinosi rezultata istraživanja ostvarenih u okviru ove doktorske disertacije su:

- Razvoj novog postupka i dobijanje novog proizvoda, aluminijumskog praha istraživanom i definisanom preradom sekundarne aluminijumske folije;
- Karakterizacija i definisanje mehanizama oksidacije aluminijumskog praha dobijenog preradom sekundarne aluminijumske folije;
- Definisanje mehanizama aluminotermijskih reakcija kod čestica aluminijumskog praha različitih veličina;
- Određivanje termodinamičkih uslova za odvijanje reakcija iz kojih je razvijen originalni matematički model za izračunavanje materijalnog i energetskog bilansa kod metalotermijskih reakcija redukcije oksidnih sistema polaznih materijala, a koji je primenjiv na sve vrste metalurških međuproizvoda i otpada bez obzira na njihov kvalitativno-kvantitativni sastav;
- Utvrđivanje uticaja metalotermijskih reakcija redukcije na eksergijske efekte i na povećanje energetske efikasnosti primarnog elektrolučnog postupka;
- Definisanje sinergijskih efekata kombinacije metalurških otpada i međuproizvoda, koji rezultuju dobijanjem maksimalnih tehnoloških, ekonomskih i ekoloških efekata, što predstavlja smernice za industrijsku primenu predloženih rešenja.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Predmetna teza je nastala kao rezultat eksperimentalnog istraživanja primenom originalnih rešenja u postavci eksperimenta i aparaturno tehničkog rešenja. Imajući u vidu širinu predmetne oblasti kandidat je uspeo da pravilno odabere kritične parametre za detaljno ispitivanje, kao i pripadajuće karakterizacije proizvoda. Metalurška primena svakako predstoji predmetnim rezultatima, naročito imajući u vidu pravilan pristup zaštiti intelektualne svojine. U nacionalnim okvirima potpuno je aktuelna primena na otpade i međuproizvode koji postoje i trenutno nemaju adekvatno rešenje, čak ni u deponovanju. Rezultati mogu biti dobar primer u oblasti Zaštite životne sredine primenom malih inovativnih reciklažnih rehnologija. Ekonomski doprinos je u ranoj fazi merljiv, te se i ovaj parametar smatra pozitivnim.

4.3 Verifikacija naučnih doprinosa

Rezultati proistekli iz ove distertacije potvrđeni su kroz objavljene radove u međunarodnim časopisima, vodećim nacionalnim časopisima, saopštenjima na međunarodnim naučnim konferencijama i prijavljenim i objavljenim patentima. Iz rezultata ove doktorske disertacije proizašli su sledeći naučni radovi i saopštenja:

1. Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu - (M21)

- 1.1. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Sokić, M. Gavrilovski, M. Korać, Designing of Synergistic Waste Mixtures for Multiphase Reactive Smelting, Metals 6, 6 (2016) 138, doi:10.3390/met6060138, ISSN 2075-4701, IF 2015 1,574 (18/73)

2. Rad u istaknutom međunarodnom časopisu - (M22)

- 2.1. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, M. Sokić, M. Korać, Combustion of metallurgical wastes using secondary aluminum foils, Combustion Science and Technology, prihvaćen za štampu, mail 18.12.2016, ISSN 0010-2202, IF 2015 1,193 (36/85)

3. Rad u međunarodnom časopisu - (M23)

- 3.1. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Sokić, Z. Gulišija, V. Matković, Optimization of Recycling Processes of Magnesium from Highly Contaminated waste, Materiali in Tehnologije / Materials and Technology, 48, 4 (2014) 571-575, ISSN 1580-2949, IF 2014 0,548 (224/260)

4. Rad u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom - (M24)

- 4.1. V. Matković, B. Marković, M. Sokić, V. Manojlović, Valorizacija olova iz međuprodukata rafinacije bizmuta postupkom metalotermijske redukcije, Zaštita materijala, 56, 1 (2015) 59-63. ISSN 0351-9465.
- 4.2. M. Gavrilovski, V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Sokić, Semi-empirical optimization software for aluminothermic and carbothermic reactions processes, Metallurgical and Materials Engineering, 20, 3 (2014) 199-206. ISSN 2217-8961

5. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini - (M33)

- 5.1. V. Manojlović, M. Gavrilovski, Ž. Kamberović, M. Sokić, The application of thermite mixtures for steel alloying, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Ed.: A. Kostov, M. Ljubojev, 4-6 October 2015, Bor Lake, Serbia, 347-350. ISBN 978-86-7827-047-5
- 5.2. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Korać, M. Gavrilovski, M. Sokić, B. Marković, T. Kovačević, Secondary Aluminium as a reducing agent in the aluminothermic processes, MME SEE 2015, MME SEE 2015 Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Ed. Marija Korać, 3-5 June, 2015, Belgrade, Serbia, pp. 85-91, ISBN 978-86-87183-27-8
- 5.3. M. Sokić, Z. Gulišija, B. Marković, N. Štrbac, V. Manojlović, Steel scrap as an important resource in the production of iron and steel, 4th International Symposium on Natural Resources Management, Ed.: D. Mihajlović & B. Đorđević, 31st May -1st June 2014, Zajecar, 187-194. ISBN: 978-86-84763-04-6
- 5.4. V. Manojlović, Ž. Kamberović, M. Simić, D. Ivšić-Bajčeta, M. Korać, M. Pavlović, A. Tomović, (2013) Treatment of eaf-dust in dc plasma furnace - off-gas composition modelling and comparison with real measurements, III International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Serbia 11th October, page: 143-148, ISBN 978-86-7672-209-9

- 5.5. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, M. Gavrilovski (2011) Valorization of Post Consumer Aluminum Scrap in the Shredding Process, I International Conference "Ecology of urban areas", Zrenjanin, Serbia, page 132-139. ISBN 978-86-7672-145-0, Organizers: Technical Faculty "Mihajlo Pupin" (Zrenjanin), Politehnica University (Timisoara)
 - 5.6. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Pavlović, Z. Anđić, A. Vujović (2011) Recycling of End of Life Vehicles in Serbia as Resource of Secondary Aluminum, ISWA Beacon 2011, Waste-to-energy and Packaging Waste in Developing Countries in the SEE, Middle East and Mediterranean Region, Novi Sad, Serbia, Proceedings, page 97-102, ISBN 978-86-7892-361-6
6. Prijava domaćeg patenta - (M87)
- 6.1. Ž. Kamberović, V. Manojlović, M. Sokić, M. Gavrilovski, V. Đokić, Postupak i proizvod nastao obradom otpadne aluminijumske folije, patentna prijava P-2016/1069 Zavoda za intelektualnu svojinu Republike Srbije
7. Objavljen patent na nacionalnom nivou - (M94)
- 7.1. Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, V. Manojlović, M. Korać, Alternativni metalotermijski reducent dobijen reciklažom aluminijumske folije, patentna prijava P-2014/0334 Zavoda za intelektualnu svojinu Republike Srbije (objavljeno u „Glasniku intelektualne svojine“ broj 6/2015)

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu izloženog materijala se može zaključiti da doktorska disertacija kandidata Vasa Manojlovića, dipl. inž. pod naslovom „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“ predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblasti reciklažnih tehnologija u metalurgiji sekundarnih sirovina i ekstraktivnoj metalurgiji. Dobijeni rezultati u celini daju značajan naučni doprinos proširenju fundamentalnih znanja u oblasti primene metalotermijskih reakcija redukcije za tretman metalurških međuproizvoda i otpada. Takođe, originalni eksperimentalni rezultati kandidata daju doprinos i u izučavanju mogućnosti korišćenja metalnih reducenata dobijenih iz sekundarnih sirovina za metalotermijske reakcije redukcije. Rezultati istraživanja sadržani u ovoj doktorskoj disertaciji su do sada valorizovani u jednom radu publikovanim u vrhunskim međunarodnom časopisu (M₂₁), jednom radu publikovanim u istaknutnom međunarodnom časopisu (M₂₂), jednom radu publikovanim u međunarodnom časopisu (M₂₃), dva rada publikovanim u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom (M₂₄), šest saopštenja sa skupova međunarodnog značaja štampanih u celini (M₃₃), jednom prijavom domaćeg patenta (M₈₇) i jednim patentom objavljenim na nacionalnom nivou (M₉₄).

Sa izrazima zadovoljstva Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da podnetu doktorsku disertaciju kandidata Vasa Manojlovića, dipl. inž., pod naslovom „Metalotermijska redukcija u reciklažnim tehnologijama primenjena na metalurške međuproizvode i otpade“ prihvati, izloži na uvid javnosti i nakon isteka zakonom predviđenog roka uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, te da nakon završetka ove procedure pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

Beograd, 19.12.2016.

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr **Željko Kamberović**, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr **Mirjana Filipović**, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr **Miroslav Sokić**, viši naučni saradnik
ITNMS, Beograd

Dr **Marija Korać**, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu
Tehnološko-metalurški fakultet

Dr **Milorad Gavrilovski**, naučni saradnik
Inovacioni centar TMF-a, Beograd