

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud.

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu od 23.06.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud. pod naslovom

Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti
(Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects)

Posle pregleda dostavljene disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 16.05.2013. – Kandidat mr Hatim Abdalla Sasi Issa je prijavio temu doktorske disertacije pod nazivom: Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects).
- 30.05.2013. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije.
- 26.09.2013. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Fakulteta doneta je Odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije. Za mentora je određen dr Željko Kamberović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.
- 14.10.2013. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, pod nazivom: Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects).
- 17.09.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud.

- 03.03.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Fakulteta doneta je Odluka o prihvatanju Referata Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud.
- 14.03.2016. – Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu donose zaključak kojim se nalaže Fakultetu da dostavi korigovan Izveštaj Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i podobnosti kandidata
- 14.04.2016. – Fakultet je ponovo razmatrao predlog teme doktorske disertacije i kandidatu odobrio piše doktorsku disertaciju na engleskom jeziku; Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije.
- 14.04.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Fakulteta doneta je Odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije. Za mentora je određen dr Željko Kamberović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.
- 16.05.2016. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, pod nazivom: Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects).

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove disertacije pripadaju naučnoj oblasti Metalurgija, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Mentor dr Željko Kamberović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, je na osnovu objavljenih publikacija i iskustva kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rudarstva, rođen je 1974. godine u Tripoliju, Libija. Osnovne studije na Univerzitetu u Tripoliju započeo je školske 1993/94. godine. Na istom Univerzitetu je 1997. dobio diplomu inženjera rudarstva, 2002. godine upisuje Master studije rudarstva i diplomu mastera stiče 2004.

Nakon dobijanja diplome inženjera i u toku master studija u periodu 2002-2007. radi kao inženjer i asistent u nastavi u Tehničkom istraživačkom centru na odseku za rudarsko inženjerstvo Univerziteta u Tripoliju. U periodu 2007-2009. radi kao predavač na odseku za rudarsko inženjerstvo na predmetima Priprema mineralnih sirovina i Mehanika stena. Na matičnom Univerzitetu radi na sistemu za registraciju studenata na Katedri za rudarstvo (2002-2006.), zatim, kao Šef odeljenja za registraciju Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Tripoliju (2006-2007.) i Koordinator za studije i polaganje ispita na Katedri za rudarstvo, i član odbora za studije i polaganje ispita Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Tripoliju (2008-2009.).

Izradu doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, na Katedri za metalurško inženjerstvo započinje 2009. godine.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud., pod nazivom Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects) napisana je na ukupno 177 strana i sadrži 7 poglavlja, 47 slika (grafičkih

prikaza), 55 tabela i 119 literaturnih navoda. Doktorska disertacija se sastoji od sledećih poglavlja: Uvod, Pregled literaturnih rezultata, Metodologija i postavka eksperimenta, Rezultati, Diskusija, Zaključak i Literatura. Disertacija je napisana na engleskom jeziku, a pored navedenog, sadrži i izjavu zahvalnosti i 3 obavezna priloga, tj. izjave.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu kandidat je, pored predstavljanja podataka o svetskoj proizvodnji čelika i različitim postupcima za njegovo dobijanje, prikazao značaj reciklaže čeličnog otpada u ovoj oblasti. Istaknuto je da za globalnu proizvodnju čelika sve veći značaj ima proizvodnja elektrolučnim postupkom, zbog svoje prilagodljivosti tržišnim zahtevima čelika. S obzirom da kod ovog postupka čelični otpad predstavlja dominantan uložak, to se njegovim kvalitativno-kvantitativnim karakteristikama daje sve veći značaj u svetu. Ističe se da se tokom elektrolučnog postupka proizvodnje čelika obrazuju značajne količine nus-proizvoda, od kojih je najznačajnija prašina iz vrećastog filtera (EAFD - *Electric Arc Furnace Dust*) sa sadržajem Zn od 10-40 % pri proizvodnji ugljeničnih čelika. Zbog svojih fizičko-hemijskih karakteristika EAFD je klasifikovana kao opasan otpad (kataloški broj 10 02 07*).

U okviru uvodnog dela dat je i prikaz prosečnog hemijskog i mineralnog sastava, kao i fizičkih osobina svih materijala koji su korišćeni u eksperimentalnim delu, sa posebnim osvrtom na EAFD, s obzirom da je primarni zadatak ove disertacije optimizacija tretmana EAFD u zavisnosti od sadržaja korisnih metala i toksičnih komponenti, kao smernice za industrijsku primenu.

Takođe, istaknuti su najznačajniji postupci tretmana EAFD, od kojih većina nije dostigla veću industrijsku primenu, što predstavlja veliki ekološki problem na svetskom nivou. Svi navedeni postupci se mogu podeliti u dve osnovne grupe: prva se odnosi na postupke koji omogućavaju iskorišćenje svih korisnih komponenti sadržanih u njoj, dok drugu grupu čine postupci prevođenja ovog opasnog otpada u solidifikat koji se trajno odlaže.

U drugom poglavlju dat je pregled dostupnih literaturnih podataka i stanje tehnike, naročito karakteristike postojećih postupaka proizvodnje u mini čeličanama i generisanja otpada u sekundarnoj metalurgiji gvožđa, kao i prikaz karakteristika plazma tehnologije u savremenoj metalurškoj praksi.

Ipak, s obzirom na predmet ove disertacije, detaljno je opisan elektrolučni postupak dobijanja čelika. Prikazani su fizičko-hemijski procesi proizvodnje, toplotna efikasnost procesa sa naročitim osvrtom na detaljan opis mehanizma obrazovanja EAFD, kao i postupaka prečišćavanja gasova iz procesa, sa konstrukcionim rešenjima.

Poseban deo u okviru ovog poglavlja odnosi se na fizičko-hemijske, mineraloške i morfološke karakteristike EAFD. Uticaj karakteristika na životnu i radnu sredinu je takođe prikazan, kao i razlog kategorizacije ove sirovine kao opasnog otpada. Naročito je istaknut uticaj povišenih koncentracija pojedinih teških metala na ljudsko zdravlje.

Analizirani načini tretmana predmetnog otpada se mogu svrstati u dve osnovne kategorije i to priprema i deponovanje u obliku solidifikata (S/S proces - *Solidification/Stabilization*) i pirometalurški tretman uz valorizaciju korisnih komponenti sadržanih u EAFD, na prvom mestu Zn i Pb. Detaljno su opisani tehno-ekonomski uslovi i ekološka ograničenja koji utiču na izbor postupaka, kao i sam način izvođenja tretmana.

U trećem poglavlju prikazane su metode i karakteristike opreme koja je korišćena za detaljnu karakterizaciju laboratorijskih i poluindustrijskih uzoraka EAFD koja se obrazuje u elektrolučnom procesu domaće čeličane, kao i produkata njenog tretmana. Prethodno se pre svega odnosi na

primenu analitičkih metoda, optičke mikroskopije (OM), rentgenostrukturalna ispitivanja (XRD), elektronske skenirajuće mikroskopije (SEM), određivanje toksičnosti standardnim testom luženja (TLCP), itd. U okviru laboratorijskih i poluindustrijskih ispitivanja tretmana EAFD korišćena je metodologija planiranog eksperimenta. Optimizovan je broj eksperimenata solidifikacije i termičkog tretmana u kombinaciji sa drugim sinergetskim železonošnim sirovinama (nestandardni magnetitni koncentrat, piritne ogoretine, kovarina), elektronskim otpadom (LCD staklo) i letećim pepelom iz termoelektrane. U cilju optimizacije tehnoloških parametara tretmana EAFD ispitivani su najznačajniji uticajni tehnološki parametri za konkretne postupke tretmana, S/S i dvostepeni termički tretman. Prikazane su postavke eksperimentalnog istraživanja, sa intervalima ispitivanih procesnih parametara.

U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati kompleksnih ispitivanja svih polaznih sirovina, kao i produkata koji su dobijeni različitim postupcima njihovog tretmana. Zbog velikog broja, rezultati su sistematizovani prema postupku tretmana EAFD i prikazani su u tabelarnom i grafičkom obliku. Najpre su prikazani rezultati fizičko-hemijskih i faznih ispitivanja EAFD. Zatim su prikazani rezultati dobijenih solidifikata u kojima je deo veziva (Portland cementa), kreča i finog agregata zamenjen sa EAFD. U slučaju stabilizacije u cementnoj matrici udeo EAFD u mešavini je iznosio maksimalno 90%, dok je odnos cementa i kreča variran i to u odnosima 1:0, 1:1 i 3:1. Pri izradi betonskih mešavina zamena finog agregata sa EAFD je iznosila maksimalno 60%; od ostalih parametara varirana je zamena dela cementa letećim pepelom u količini od 10-25%, kao i brzina mešanja. U cilju dobijanja optimalnih mehaničkih svojstava i stabilizacije teških metala, izrađivane su različite smeše za solidifikaciju uz pojedinačno variranje učešća EAFD, i ispitivane su mehaničke osobine solidifikata, shodno domaćoj i međunarodnoj zakonskoj regulativi i standardima, sa posebnim osvrtom na TCLP testove.

Nakon prikazanih rezultata solidifikacije, dati su rezultati mogućnosti primene EAFD i LCD stakla u postupku dobijanja lakotopivih sinterovanih materijala. Pri izradi sinter mešavine odnosi EAFD:LCD bili su: 3; 2,2; 1,7 i 1,2. Ispitivane su dve temperature sinterovanja karakteristične za ove postupke, 600 i 800°C.

U okviru disertacije ispitane su mogućnosti primene u metalurgiji gvožđa i čelika, odnosno u procesu sinterovanja železnih ruda. Izvršeno je modelovanje procesa, kao i uspostavljanje funkcionalnih zavisnosti između polaznog sastava sinter mešavine i njegove reduktivnosti. Ispitivane su tri različita sadržaja FeO u gotovom sinteru u intervalu od 15-20%, kao i četiri različita baziciteta u opsegu od 1,2-1,35. Reduktivnost sintera je računata korišćenjem empirijske jednačine.

Na kraju su prikazani i rezultati peletizacije EAFD mešavina sa sinergetskim sirovinama (nestandardni magnetitni koncentrat, piritne ogoretine, kovarina) u različitim odnosima sa konstantnim sadržajem železa u mešavini od 45% i bazicitetom od 0,75. Pritisna čvrstoća i abraziona postojanost su ispitane na sirovim peletama kao osnova za poluindustrijska ispitivanja. Modelovanje i uvećana laboratorijska ispitivanja dvostepenog procesa tretmana peletizirane mešavine EAFD i sinergetskih sirovina izvršena je u poluindustrijskoj elektrolučnoj peći i indukcionoj peći u cilju razdvajanja troske i metala, kao i definisanja sastava gasovite faze. Uvećana laboratorijska ispitivanja su izvršena pri sledećim uslovima: prvi stepen temperatura 850-1200°C, vreme 30-90 min, a drugi stepen na temperaturi od 1490°C, vreme 6h.

U petom poglavlju diskutuju se rezultati karakterizacije svih sirovina koje su solidifikovane ili termički obrađene sa ciljem dobijanja inertnog materijala za odlaganje ili materijala za dalju industrijsku primenu. Objasnjeni su uticaji različitih faktora na karakteristike solidifikata i dobijenih proizvoda. Optimizovani su sastavi solidifikata koji pokazuje najbolja mehanička svojstva uz zadovoljavajuće rezultate TCLP testa. Kod mešavina za keramičku industriju ustanovljena je

zavisnost između odnosa EAFD i LCD stakla i pritisne čvrstoće i rezultata TCLP testa. Prikazani su rezultati optimizacije mešavine za peletizaciju, koja je pored EAFD sadržala i piritne ogoretine, kovarinu i nestandardni magnetitni koncentrat, kao sinergetske sirovine. Rezultati pirometalurškog tretmana optimalne mešavine sinergetskih sirovina, kao i jasno definisani tehnološki parametri topljenja u elektrolučnoj i indukcionoj peći dokazuju mogućnost valorizacije cinka, kao sporedne korisne komponente ovih mešavina, čime se pojačavaju ukupni ekonomski efekti ispitivanog procesa. Naime, dobijeni su finalni proizvodi za dalju komercijalizaciju i to iz metalnog dela - čelični uložak, iz troske - odličan materijal za keramičku i građevinsku industriju i iz gasovite faze - cink.

U zaključnom delu izabrana su optimalna tehničko-tehnološka rešenja za solidifikaciju/stabilizaciju opasnog otpada. Planirano istraživanje je dalo karakterizaciju ulaznih materijala, međuprodukata i izlaznih tokova, definisani su optimalni tehnološki parametri i sinergetski efekat mešavine ulaznih sirovina. U S/S procesu definisan je optimalan sastav mešavine; zamenski udeo cementa u malter mešavini sa EAFD, bez narušavanja pritisne čvrstoće proizvoda i zadovoljavajućom stabilizacijom teksičnih komponenti i sprečavanjem migratornosti. Definisana je upotreba EAFD za proizvodnju betona kao zamene sitne agregatne frakcije, bez uticaja na mehanička svojstva betona uz optimalne rezultate testa izluživanja toksičnih metala (Pb, Zn). Utvrđena je tehnološka mogućnost sinergetskog termičkog tretmana EAFD sa otpadnim LCD staklom tako da se omogućava dobijanje lakotopivog materijala, čiji TCLP test za Cd, Cr, Pb daje izluženja niža od limita. Razvijeni algoritam za modelovanje raspodele komponenti šarže u tečne faze, metal i šljaku, i gasovitu fazu, uključujući čvrste supstance, je potvrđen u uvećanim eksperimentalnim istraživanjima. Zaključeno je da dvostepeni tehnološki postupak pirometalurškog tretmana višekomponentne mešavine, koju čine pelete na bazi: EAFD, kovarine, piritnih ogoretina i nestandardnog magnetitnog koncentrata u prisustvu reducenta i topitelja, omogućava maksimalnu tehnološki moguću separatnu valorizaciju Zn i Pb uz dobijanje železonosnog proizvoda. Parametri prvog stepena tretmana su temperatura 950°C i vreme 60 min, a drugog temperatura 1490°C i vreme 6h. Utvrđena je tehno-ekonomska granica za održiv tretman EAFD u zavisnosti od sadržaja korisnih metala i toksičnih komponenti, što predstavlja smernice za industrijsku primenu predloženih rešenja, uz poštovanje zahteva čistije proizvodnje.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Razvoj postupaka valorizacije korisnih komponenti iz nusproizvoda sa povećanim sadržajem železa, cinka, olova itd., koji se generišu u primarnim metalurškim procesima započeo je sedamdesetih godina prošlog veka.

Tokom proteklog perioda uvedena je zakonska regulativa vezana za tretman međuprodukata, među kojima je i EAFD (*Electric Arc Furnace Dust*), kojom se reguliše upravljanje otpadom na način kojim se ne ugrožava zdravlje ljudi i životna sredina. Jedan od značajnijih zahteva ovih zakona je ponovno iskorišćenje i reciklaža ovih materijala, kao i razvoj postupaka i metoda za odlaganje opasnog otpada. Uvidom u dostupnu literaturu i stanje tehnike može se uočiti da tretman i ponovno iskorišćenje korisnih komponenti iz EAFD, na prvom mestu cinka, uzima primat u odnosu na deponovanje. Za pirometalurški tretman EAFD razvijeno je više metoda, od kojih je najznačajniji Velc (Waelz) postupak i koji ima u svetu najrasprostraniju industrijsku primenu. Pored brojnih prednosti ovog postupka, nedostatak je mešoviti Zn i Pb oksidi koji nastaje kao produkt ispravanja i koji zahteva dodatni tretman.

Ova doktorska disertacija analizira kako tehnološke, tako i ekonomske i ekološke aspekte tretmana EAFD, sa stanovišta optimizacije ispitivanih tehničko-tehnoloških rešenja u zavisnosti od karakteristika ulaznih materijala. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja može se uočiti da je za

EAFD sa nižim sadržajima korisnih komponenti adekvatiji S/S tretman (*Solidification/Stabilization*) i stabilizacija u betonskim mešavinama, dok za više sadržaje Zn pirometalurški tretman predstavlja optimalno rešenje. Dvostepeni pirometalurški postupak, modelovan i verifikovan kroz uvećana laboratorijska ispitivanja predstavlja adekvatnu alternativu Velc postupku, jer omogućava razdvajanje cinka i olova u gasovitim produktima, čime podiže tržišnu vrednost finalnih produkata. Ispitivani sinergetski efekti pirometalurškog tretmana mešavine EAFD sa drugim sekundarnim železonosnim sirovinama, kao što su kovarina, piritne ogoretine i nestandardni magnetitni koncentrat u prisustvu reducenta i topitelja, čine predmetno ispitivanje veoma značajnim i aktuelnim sa aspekta prerade sinergetskih sirovina i zaštite životne sredine.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji citirano je ukupno 119 referenci. Veliki broj citiranih referenci predstavljaju naučni radovi publikovani u poslednjih nekoliko godina, što ukazuje na aktuelnost teme ove doktorske disertacije. Najveći broj citiranih radova čine radovi međunarodnog značaja sa tematikom relevantnom za izradu doktorske disertacije. Među citiranim referencama, najzastupljenija je tema valorizacije cinka iz sekundarnih sirovina, kao ekonomski najpovoljnijeg postupka tretmana. Razmatrani su i naučni radovi koji se odnose na različite metode stabilizacije EAFD metodama solidifikacije, vitrifikacije i izrade maltera i betona.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Zbog kompleksnosti iznalaženja optimalnog postupka koji će obezbediti maksimalno iskorišćenje svih korisnih komponenti sadržanih u EAFD i njoj srodnih materijala koji se obrazuju u primarnim metalurškim procesima neophodno je poznavati sve njihove karakteristike. Ovo se pre svega odnosi na fizičko-hemijske, morfološke, strukturno-teksturne karakteristike, kao i fazni sastav. Za kompleksnu karakterizaciju, kakvu zahtevaju ovi materijali, primenjuvane su najsavremenije analitičke metode, optičke mikroskopije, rentgenostrukturna ispitivanja, kao i elektronske skanirajuće mikroskopije. Pored ovih metoda, koje su korišćene za karakterizaciju polaznih sirovina, korišćene su i metode za ispitivanje mehaničkih osobina dobijenih proizvoda primenom optimalnih tehnologija. U cilju dobijanja rezultata za bezbedno odlaganje i karakterizacije dobijenih solidifikata, rađeno je određivanje toksičnosti standardnim testom luženja, TLCP. Optimizacija postupaka tretmana po sastavu različitih mešavina čiju osnovu čini pripremljena ili nepripremljena EAFD postignuta je primenom metodologije planiranog eksperimenta. Ona je omogućila da se eksperimentalna ispitivanja ostvare sa optimalnim brojem eksperimenta, a da se pri tome definišu zavisnosti uticajnih parametara na tehnološka rešenja i kvalitet proizvoda.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Istraživanja koja su sprovedena u okviru ove disertacije i dobijeni rezultati omogućili su iznalaženje potpuno novih tehnoloških rešenja koja se odnose na bezbedno odlaganje ili korišćenje solidifikata, kao i potpuno iskorišćenje korisnih komponenti iz EAFD koja predstavlja opasni otpad, pre svega železa, zatim cinka i olova. Ova tehnološka rešenja su u najvećoj meri potvrđena u poluindustrijskim uslovima, što predstavlja dobru osnovu za industrijsku primenu u metalurgiji obojenih metala, gvožđa i čelika, kao i građevinskoj industriji.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud. je tokom izrade doktorske disertacije pokazao sposobnost planiranja i realizacije eksperimenata. Izrazite istraživačke kvalitete iskazao je korišćenjem različitih instrumentalnih metoda, a pri analizi rezultata pokazao je samostalnost,

sistematičnost i kreativnost. Na osnovu dosadašnjeg rada i postignutih rezultata kandidata, Komisija smatra da kandidat poseduje kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U okviru ove disertacije izrađena su nova tehničko-tehnološka rešenja za solidifikaciju/stabilizaciju opasnog otpada, kao i mehano-hemijski tretman sa valorizacijom korisnih komponenti. Eksperimentalno istraživanje je vođeno u cilju sveobuhvatne karakterizacije ulaznih materijala, međuproizvoda i izlaznih tokova, definisanje optimalnih tehnoloških parametara, sinergetskog efekta i elemenata čistije proizvodnje.

Najznačajniji naučni doprinosi ove disertacije su:

- U S/S procesu definisan je optimalan sastav mešavine; zamena 20% cementa u malter mešavini sa EAFD, bez narušavanja pritiskne čvrstoće proizvoda i zadovoljavajućom stabilizacijom toksičnih komponenti i sprečavanjem migratornosti.
- Definisana je upotreba EAFD za proizvodnju betona kao zamene do 15% sitne agregatne frakcije, bez uticaja na mehanička svojstva betona uz optimalne rezultate testa izluživanja toksičnih metala (Pb, Zn).
- Tehnološki parametri sinergetskog termičkog tretmana EAFD sa otpadnim LCD staklom definisani su tako da se omogućava dobijanje lakotopivog materijala, čiji TCLP test za Cd, Cr, Pb daje izluženja manja od limita, odnosno 1, 5 i 5 mg/L respektivno. Definisana je temperatura od 750°C, vreme od 60 min i udeo LCD u mešavini od 35-40%.
- Definisan je algoritam za modelovanje raspodele komponenti šarže u tečne faze, metal i šljaku, i gasovitu fazu uključujući čvrste supstance.
- Definisan je novi dvostepeni tehnološki postupak pirometalurškog tretmana višekomponentne mešavine, koju čine pelete na bazi: EAFD, kovarine, piritnih ogoreтина i nestandardnog magnetitnog koncentrata u prisustvu reducenta i topitelja, koji omogućava maksimalnu tehnološki moguću separatnu valorizaciju Zn i Pb uz dobijanje železonosnog proizvoda. Parametri prvog stepena tretmana su temperatura 950°C i vreme 60 min, a drugog temperatura 1490°C i vreme 6h.
- Utvrđena je tehno-ekonomska granica za održiv tretman EAFD u zavisnosti od sadržaja korisnih metala i toksičnih komponenti, što predstavlja smernice za industrijsku primenu predloženih rešenja.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Na osnovu jasno definisanih predmeta i ciljeva istraživanja, određena je metodologija istraživanja koja je i primenjena u doktorskoj disertaciji. Polazeći od činjenice da ekonomski faktor ima značajnu ulogu na tržištu, naročito u metalurgiji čelika, ali i ostalim granama industrije, rešavanje ekoloških problema koji proističu iz obrazovanja značajnih količina otpada u pravcu reciklaže ili valorizacije korisnih komponenti mogu značajno smanjiti ukupne troškove primarne proizvodnje. Veliki je broj istraživanja u ovoj oblasti, ali ona uglavnom obuhvataju tehnološka rešenja za selektivnu valorizaciju korisnih komponenti. Poznati su procesi koji se oslanjaju na usitnjavanje, okrupnjavanje i dehidraciju otpada u cilju reciklaže i boljeg iskorišćenja železa. Međutim, železonosne sirovine veoma često sadrže sporedne elemente zbog čega je reciklaža vrlo ograničena. Ovo se pre svega odnosi na sadržaj cinka i olova, čije je poreklo u njima usko povezano sa primenom pocinkovanog uložka iz automobilske industrije. Poznata je činjenica da prisustvo cinka u metalurškim pećima znatno doprinosi smanjenju veka vatrostalne obloge. Slična je situacija i sa olovom, koji dodatno doprinosi smanjenju veka donjih delova peći gde se ono skuplja. Predložena tehnološka rešenja u ovoj disertaciji daju značajan doprinosi rešavanju problema istovremene

valorizacije železa, s jedne strane, i cinka i olova sa druge strane, primenom pirometalurških metoda razdvajanja ovih metala sa izrazito različitim osobinama. Optimalnom tehnološkom rešenju prethodila su obimna laboratorijska i poluindustrijska ispitivanja, kao i detaljna analiza rezultata i modelovanje pojedinih faza ovog procesa. Iako je poznata činjenica da u svetu ne postoje integralne železare, ili samo čeličane sa istim tehnološkim parametrima, tehnološka rešenja koja su ustanovljena u okviru ove disertacije mogu biti primenljiva kod bilo kog proizvođača gvožđa i čelika u svetu.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud. je rezultate istraživanja tokom izrade ove disertacije potvrdio objavljivanjem radova u časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim skupovima.

1. Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

- 1.1. **H. Issa**, M. Korać, Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, T. Kovačević, A two-stage metal valorisation process from electric arc furnace dust (EAFD), *Metalurgija* 55(2), 2016, 149-152; ISSN 0543-5846; IF 0,959 (2014: 29/74);

2. Rad u međunarodnom časopisu (M23)

- 2.1. **Hatim Issa**, Marija Korać, Milorad Gavrilovski, Milan Pavlović, Željko Kamberović, Possibility of Carbon Steel EAFD Solidification/Stabilization in Concrete, *Revista de Chimie*, 63 (10), 2012, 1008-1012; ISSN 0034-7752; IF 0,538 (2012: 122/152);
- 2.2. **Issa Hatim**, Kamberovic Zeljko, Gavrilovski Milorad, Korac Marija, Andjic Zoran, Modeling of metallurgical properties of sinter mixtures of nonstandard raw iron-bearing materials, *Metalurgia International*, 18, (2013), 5-8; ISSN 1582-2214; IF 0,134 (2012: 67/76);
- 2.3. Milisav Ranitović, Željko Kamberović, Marija Korać, Milorad Gavrilovski, **Hatim Issa**, Zoran Anđić, Investigation of Possibility for Stabilization and Valorization of Electric Arc Furnace Dust and Glass From Electronic Waste, *Science of Sintering*, 46 (1), 2014, 83-93; ISSN 0350-820X; IF 0,575 (2014: 49/74);

3. Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

- 3.1. **H.Issa**, Ž. Kamberović, M. Gavrilovski, M. Korać, Z. Anđić, Modeling of metallurgical properties of sinter mixtures of nonstandard raw iron-bearing materials, 4th International Conference on Materials Science and Technologies-ROMAT 2012, Proceedings ISSN 2285-7133, Bucharest, Romania, 17-19. October, 2012, 21-25

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega izloženog Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud. pod nazivom Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects), predstavlja značajan i originalan naučni dopirinos u oblasti Metalurgija, što je i potvrđeno objavljivanjem radova u naučnim časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim skupovima. Komisija iznosi mišljenje da je kandidat tokom izrade disertacije pokazao samostalnost u naučno-istraživačkom radu i da su ciljevi doktorske disertacije u potpunosti ostvareni. Komisija smatra da prikazani rezultati istraživanja doprinose povećanju znanja o mogućnostima tretmana prašine iz elektrolučne peći, postupcima stabilizacije ili pirometalurškog tretmana, do komercijalnih

proizvoda, uz poštovanje sve striktnijih ekoloških zahteva, i sa osvrtom na ekonomske efekte ispitivanih procesa.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih i prikazanih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da podnetu doktorsku disertaciju, pod nazivom Mehano-hemijski i termički tretman železonosnih otpadnih materijala: ekološki doprinosi i sinergetski efekti (Mechano-chemical and thermal treatment of iron bearing waste materials: ecological benefits and synergetic effects) kandidata mr Hatim Abdalla Sasi Issa, dipl. inž. rud., prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, i da se nakon završetka ove procedure kandidat pozove na usmenu odbranu disertacije pred Komisijom u istom sastavu.

ČLANOVI KOMISIJE

dr Željko Kamberović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Miljana Popović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Marija Korać, naučni savetnik
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

dr Milorad Gavrilovski, naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta

dr Zoran Anđić, viši naučni saradnik
Univerziteta u Beogradu, Inovacioni centar Hemijskog fakulteta