

Inovativna rešenja u ekstraktivnoj metalurgiji kompleksnih primarnih i sekundarnih sirovina

ŽELJKO J. KAMBEROVI, Univerzitet u Beogradu,

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

MARIJA S. KORA, Univerzitet u Beogradu,

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

MILISAV B. RANITTOVI, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet,

Inovacioni centar, Beograd

NIKOLA S. MAJINSKI, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet,

Inovacioni centar, Beograd

NATAŠA M. GAJI, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet,

Inovacioni centar, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 628.477.6.043/.045

DOI: 10.5937/tehnika1602221K

U ovom radu predstavljena je kompilacija naučnih rezultata (teorijskih i eksperimentalnih) sa osnovnim ciljem da direktno promoviše sinergiju različitih industrijskih aktivnosti u metalurgiji, koja u krajnjem ishoduje profitabilnom transformacijom različitih nusprodukata i otpadnih materijala u izvore vrednih metalnih materijala. Kao što je prikazano, fokusiraju i se na tretman specifičnih nusprodukata iz primarne proizvodnje cinka i bakra, kao i na tretman specifičnih otpadnih tokova poput e-otpada ili odbrambenih automobilskih katalizatora, doprinosi se strategiji održivog razvoja kako Srbije, tako i regiona. U pogledu održivog razvoja, metalurgija je tradicionalni deo rešenja, a ne deo problema, zato je potrebno iskoristiti priliku i vekovnu tradiciju.

Ključne reči: reciklaža, inovacije, e-otpad, auto-katalizatori, nusprodukti

1. UVOD

Razvoj savremenog društva, istorijski je povezan sa korišćenjem metala dostupnih u ovom stanju. Izuzetno široka oblast primene, od proizvodnje pijače i vode (filtrski sistemi), preko prehrambene industrije (ambalaža) i automobilske industrije, pa sve do modernih industrijskih grana poput, industrije obnovljivih izvora energije i informacionih tehnologija, najbolje oslikava njihov značaj. Ovaj ubrzan tehnološki razvoj i rastu tražnja za različitim visoko tehnološkim uređajima, istovremeno povećava globalnu potrebu za metalima, kako u kvantitativnom, tako i kvalitativnom smislu, što za posledicu ima sve intenzivnije korišćenje prirodnih resursa i generisanje ogromnih količina različitih otpadnih materijala i nusprodukata.

Za razliku od metala poput, železa, bakra, cinka i

aluminijuma, koja se godišnja proizvodnja samo u primarnom sektoru meri stotinama miliona tona proizvedenog metala, neverovatno napredak na polju visokosofisticiranih tehnologija, doveo je do pojave nove grupe metala, od izuzetnog strateškog značaja. Ovi metali, čak i u malim količinama drastično utiču na specifična svojstva materijala, koja su od posebnog značaja za funkcionisanje savremenih proizvoda i/ili uređaja.

Bez obzira da li se nalaze u obliku specijalnih legura ili kompozitnih materijala, kakve srećemo npr. u poluprovodni kim ili tranzistorskim komponentama, čak i najmanje količine ovih metala oblikuju savremene tehnološke trendove zbog čega se danas ova grupa metala sa pravom naziva Tehnološki metali (TM)

Kao odgovor na rastući značaj ove male grupe metala, Evropska komisija je 2010. godine započela program „Raw Materials Initiative“, označavajući i ukupno 41 mineral i metal kritičnim sa aspekta specifičnosti značaja ovih materijala na ukupnu ekonomiju Evropske unije [1]. Šta više, TM poput Sb, Co, Ga, Ge, In, Ta, platinske grupe metala (PGMs) i retkih metala (REE) usled činjenice da su zemlje EU u potpunosti uvozno

Adresa autora: Željko Kamberovi, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Karnegijeva 4

Rad primljen: 11.02.2016.

Rad prihvaćen: 19.02.2016.

zavisne, označeni su kao materijali sa najvišim stepenom kritičnosti [2].

U poslednjih nekoliko decenija, usled stalnog povećanja proizvodnih kapaciteta, značajne količine otpadnih materija svakodnevno se generišu [3]. Pojedine vrste, čak i u slučaju posedovanja opasnih karakteristika, sadrže vredne materijale, poput metala, što nameće novu percepciju u tradicionalnom konceptu upravljanja otpadom, gde su ovi materijali danas kvalifikovani kao specifični nusprodukti [4]. Ovo je posebno važno u slučaju istorijskih deponija opasnog otpada iz primarne

proizvodnje cinka i bakra, deponovani u periodu koji je karakterisala upotreba zastarelih i manje efikasnih tehnologija, u odnosu na one koje su danas u upotrebi. Osim toga, materijali poput odbačenih električnih i elektronskih uređaja (e-otpada) i odbačenih automobilskih katalizatora, danas predstavljaju glavne izvore osnovnih i plemenitih metala (slika 1). Svi ovi materijali, u odnosu na primarne sirovine, sadrže značajno veće količine vrednih metala, pa je stoga reciklaža i ponovna upotreba ovih specifičnih otpadnih materijala prepoznata kao ključni faktor budućeg održivog razvoja [5].



Slika 1 - Prosečan sadržaj TM u različitim otpadnim materijalima

U tom smislu, u cilju obezbeđenja pouzdanog i održivog snabdevanja ovim specifičnim materijalima, inovativna rešenja moraju biti razvijana i implementirana u celovitom lancu od razvoja, proizvodnje, marketinga i komercijalizacije, do pružanja krajnjih, servisnih usluga.

Sa druge strane, ova tranzicija zahteva uspostavljanje tesnih veza i odnosa multi-komponentnih

sektora podstičući inovacije i preduzetništvo, a što je moguće podstići jedino potpunom implementacijom Triple Helix koncepta [6]. Šta više, odnosi između komponenti koncepta, univerzitet – industrija – državni aparat (slika 2), su od ključnog značaja za uspešan odgovor na izazove koje nameće multidisciplinarnost i složenost savremenih tehnoloških procesa, a koje komponente individualno ne mogu rešiti [7].



Slika 2 - Triple helix: odnosi akademske zajednice-industrije i vlade

Na taj na in, implementacija Triple Helix koncepta direktno utiče na preorijentaciju sadašnjeg „Industrijskog društva“ u buduće „Društvo znanja“, što je identifikovano kao ključni odgovor na što hitnije uspostavljanje održivih proizvodnih modela, kroz održivo rudarstvo, održivu proizvodnju i konačno održivo snabdevanje.

Upravo zato, strateška orijentacija, razvoj i implementacija novih procesnih tehnologija ne može imati uticaja samo na obezbeđivanje stabilnog i sigurnog snabdevanja materijalima, već i omogućiti i uspostavljanje održivih metalurških tehnologija procesiranja, u smislu uspostavljanja tehnoloških rešenja za tretman savremenih kompleksnih i polimetaličnih materijala sa minimalnim uticajima po životnu sredinu.

U metalurškom smislu, hidrometalurške i elektrometalurške metode predstavljaju bazu u uspostavljanju sinergije sa primarnim procesima, unapređeni mehaniki i minimalni pirometalurški predtretman materijala. Ipak, jasno definisani odnosi između u svih komponenti koncepta, od ideje do pune implementacije, od ključnog su značaja za izazove koji proističu iz izuzetno visokog stepena kompleksnosti i multidisciplinarnosti savremenih tehnoloških procesa, što u krajnjem vodi ka vidnom i izraženom nedostatku uspešno implementiranih tehnoloških rešenja na industrijskom nivou.

U ovom radu, prikazani su rezultati različitih studija i razvojno-istraživačkih projekata istraživačke grupe TMF-a, kao i rezultati ostvareni kroz saradnju sa komplementarnim institucijama i partnerima iz Srbije i zemalja u okruženju, pružaju i aktivan doprinos obavezama koje univerzitetsko-akademska komponenta koncepta zahteva.

Efikasnost naučno-istraživačkog rada obezbeđena je primenom specifične metodologije, koja sumarno predstavlja:

- Paralelno istraživanje: različiti tehnološki aspekti obrađivani su od strane različitih članova grupe, omogućavajući i efikasan bottom-up pristup u cilju dostizanja zadatog cilja istraživanja;
- Centralizovan model: definisanje centralizovanog modela koji omogućava povezivanje svih istraživačkih aktivnosti članova neophodnog za proboj tehnologija;
- Od ideje do pilota: sve aktivnosti od ideje, preko laboratorijskih ispitivanja i detaljne analize procesa do konačne potvrde tehnološkog rešenja na nivou pilot postrojenja;
- Prisustvo industrijskog partnera: postojanje korisnika istraživanja nameće potrebu za sprovođenjem aktivnosti koje ishoduju originalnim i primjenjivim tehnološkim rešenjima i sa jasnim tržišnim potencijalom.

Efikasnost inovativnog procesa zavisi fundamentalno od organizacionog konteksta u kojem se inovacija primeniti. Drugim rečima, da bi bili efikasni, inovacioni procesi moraju biti ispravno organizovani. To počinje sa fokusom organizacije na razmatranju svoje uloge u održivom upravljanju inovacijama. Koncept održivog upravljanja inovacijama se prvashodno odnosi na poslovanje preduzeća, što dalje ukazuje da je problem menadžmenta inovacijama duboko usmeren na ono na koji kompanije upravljaju svojim spoljnim odnosima [8].

Analizom menadžmenta inovacijama bi trebalo utvrditi na koji način je on ugrađen u mrežu odnosa sa regulatornim i društvenim institucijama, lancem vrednosti i društveno-tehnološkim režimom. Na taj način je održiva inovacija povezana i sa korporativnom strategijom i postaje održivi sistem koga je potrebno posmatrati kao proces evolucionog uključivanja, ne samo inovativne finise, nego i šireg konteksta institucija, infrastrukture i potrošačke prakse.

Predstavljena kompilacija naučnih rezultata (teorijskih i eksperimentalnih) direktno promovise sinergiju različitih industrijskih aktivnosti u metalurgiji koja u krajnjem ishoduje profitabilnom transformacijom različitih nusprodukata i otpadnih materijala u izvore vrednih metalnih materijala. Fokusiraju se na tretman specifičnih nusprodukata iz primarne proizvodnje cinka i bakra, kao i na tretman specifičnih otpadnih tokova poput e-otpada ili odbacivanja automobilskih katalizatora, TMF grupa aktivno učestvuje u strategiji održivog razvoja EU.

2. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

2.1 Reciklaža otpadnih štampanih ploča

Pirometalurške metode, koje podrazumevaju topljenje u elektrolu, plazmalu ili plamenim pećima i reakcije u gasnoj fazi na povišenim temperaturama predstavljaju tradicionalne metode dobijanja obojenih i plemenitih metala iz e-otpada. Ipak, potreba za proizvodnim modelima kojim je omogućena što manja emisija otpadnih materijala, ugljen dioksida pre svih, nameće potrebu za značajnim unapređenjima postojećih tehnoloških rešenja.

Sa druge strane, kao posledica izraženih sličnosti procesa primarne proizvodnje bakra [9], cinka [10] i olova [11] iz kompleksnih i polimetaličnih ruda kao i tretmana otpadnih voda [12] iz istih, većina savremenih istraživanja fokusirana su na implementaciju analognih hidrometalurških metoda u procesima valorizacije vrednih materijala iz e-otpada [13].

Najveći broj dostupnih studija fokusiran je na izdvajanje pojedinačnih metala ili specifičnih grupa metala, ali bez ispitivanja kompatibilnosti različitih procesnih operacija i mogućih negativnih uticaja

izme u primenjenih koraka sukcesivnog luženja i dobijanja metala nakon procesa luženja.

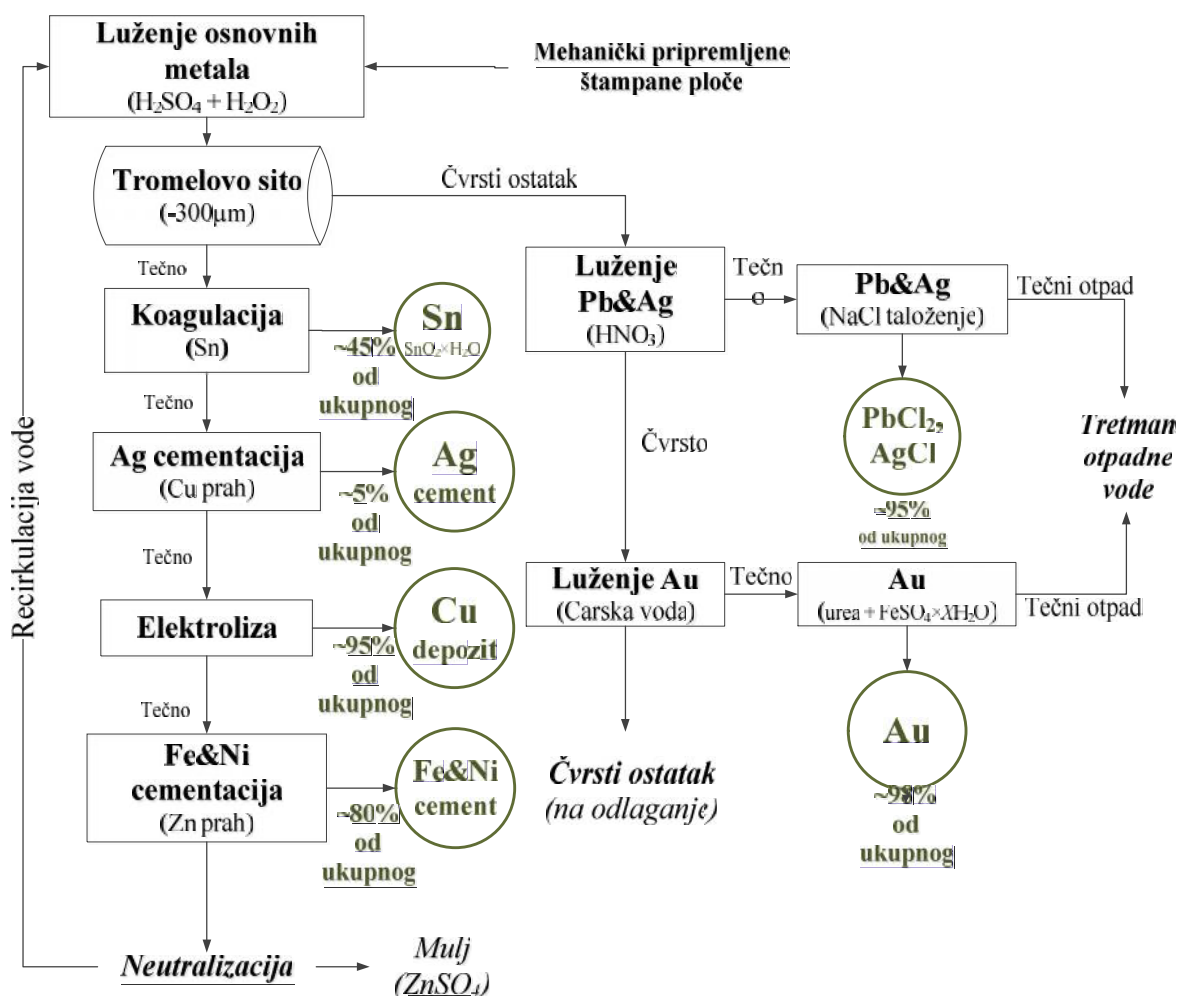
U ovom radu prikazan je potpuno optimizovan proces selektivnog izdvajanja osnovnih i plemenitih metala iz otpadnih štampanih plova, primenom jednostavnih hidrometalurških operacija. Razvoj procesa sproveden je kroz četiri faze, a koje obuhvataju:

- Modelovanje procesa: modelovanje i simulacija sprovedena je kroz kompleksnu analizu hemizma i određivanje glavnih termodinamičkih parametara procesa upotrebom HSC Chemistry softvera.
- Optimizacija procesa: optimizacija procesnih parametara svakog od koraka luženja i dobijanja metala iz rastvora nakon luženja sprovedena je kroz seriju laboratorijskih testova, ispitujući i uticaj različitih procesnih parametara poput, temperature i vremena luženja, koncentracije izluživača i oksidacionog sredstva, na ukupnu efikasnost procesa. Optimizovani procesni koraci su potom testirani na nivou pilot postrojenja.

- Definisanje dijagrama toka procesa: svi rezultati dobijeni u prethodna dva koraka korišćeni su za definisanje integralnog hidrometalurškog postupka za valorizaciju osnovnih i plemenitih metala iz otpadnih štampanih plova.

- Preliminarna tehno-ekonomska analiza: procena ekonomskih parametara procesa izvršena je simulacijom tretmana jedne tone otpadnih štampanih plova definisanim tehnološkim postupkom, primenom SuperPro Designer softvera. Dobijeni izveštaji analize troškova su korišćeni za određivanje relevantnih ekonomskih parametara poput, troškova materijala, energije, radne snage i dr.

Na osnovu dobijenih rezultata, efikasnost selektivnog dobijanja Cu, Zn, Pb, Ag i Au iznosi iznad 95%, dok u slučaju Ni i Sn iznosi 80%, odnosno 45% (slika 3). Tehničko-tehnološka izvodljivost optimizovanog hidrometalurškog procesa testirana je na nivou pilot postrojenja, omogućavajući određivanje parametara za razvoj preliminarne tehno-ekonomske procene procesa.



Slika 3 - Blok dijagram integralnog hidrometalurškog postupka za dobijanje osnovnih i plemenitih metala iz otpadnih štampanih plova

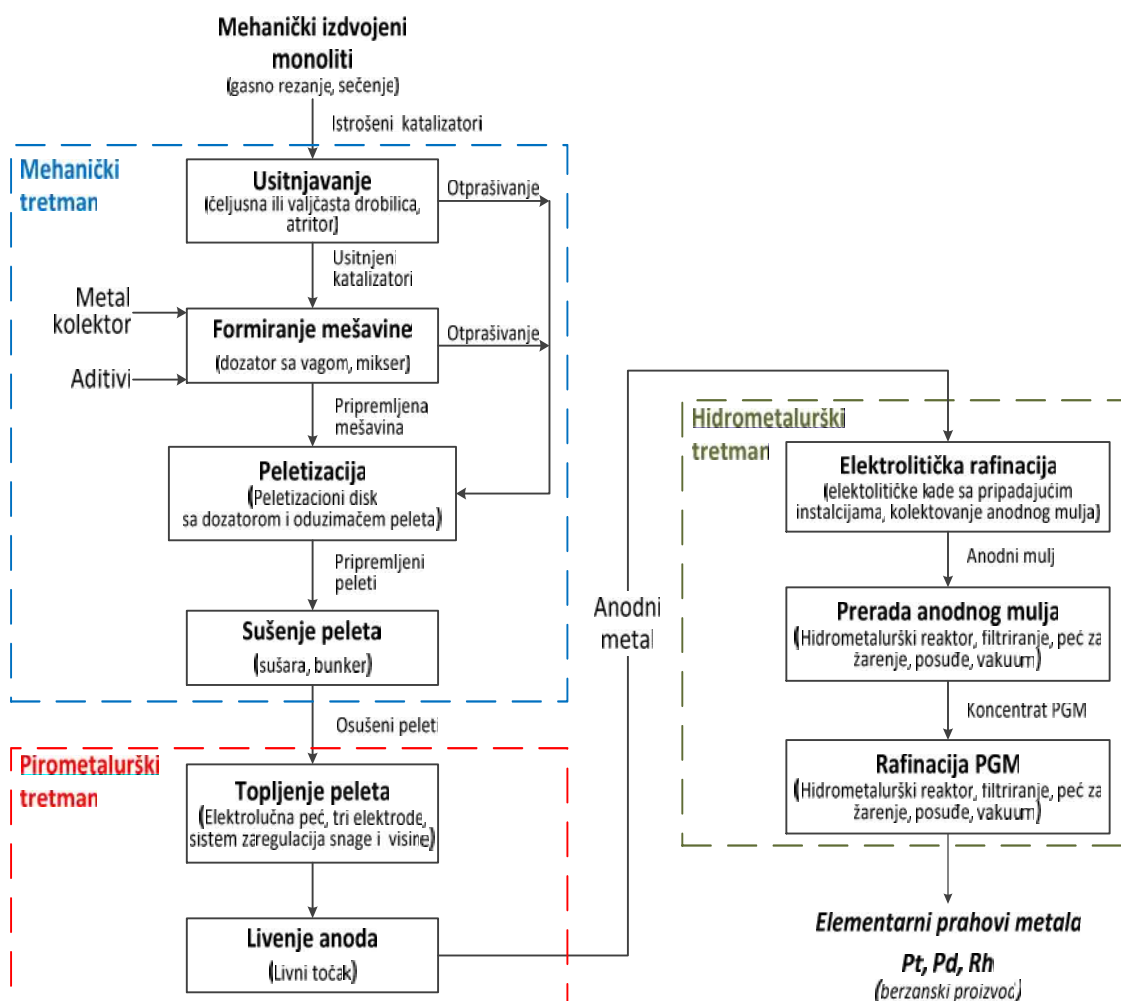
Nakon eksperimentalne verifikacije izvodljivosti procesa, tehnno-ekonomska analiza izvršena je simulacijom tretmana jedne tone mehanički pripremljenih štampanih ploča, koristeći SuperPro Designer softver. Dobijeni izveštaj analize troškova, korišten je u cilju određivanja operativne troškove za tretman jedne tone otpadnog materijala, kao što su: sirovine 795 €, energenti 100 €, radna snaga 90 € i troškovi odlaganja otpada 550 €. Preliminarna tehnno-ekonomska analiza nije obuhvatala analizu ukupnih kapitalnih troškova (direktnih i indirektnih).

2.2 Reciklaža otpadnih automobilskih katalizatora

Automobilski katalizatori sadrže značajne količine vrlo vrednih metala poput Pt, Pd, i Rh, što nam je potrebna za razvojem visoko efikasnih procesa za valorizaciju istih. Savremeni procesi za valorizaciju ovih metala iz otpadnih katalizatora uključuju pripremu katalizatora (usitnjavanje i peletizacija uz dodatak aditiva i metala kolektora), topljenje, anodnu rafinaciju i tretman dobijenog anodnog mulja. Prateći i savremene

trendove, razvijen je i uspješno testiran generalni tehnološki postupak reciklaže metala (Pt, Pd i Rh) iz otpadnih automobilskih katalizatora na nivou pilot postrojenja, blok dijagram tehnološkog postupka prikazan je na slici 4.

Priprema materijala (mešanje i aglomerizacija) izvršena je upotrebom polu-industrijskog peletizatora (Ø1000×220 mm, nagib 45°, brzina 15 min⁻¹). Usitnjeni otpadni katalizatori, aditivi i Fe (metal kolektor) su mešani i peletizovani uz dodatak kretnog mleka kao vezivnog sredstva. Pre daljeg tretmana, dobijeni peleti su sušeni u periodu od 48 h na sobnoj temperaturi. Valorizacija metala, Pt, Pd, i Rh, iz pripremljenih peleta izvršena je upotrebom polu-industrijske elektrolyse, posebno dizajnirane od strane stručnjaka ICTMF i Eling Loznica, snage 100 KW, kapaciteta 50-100 kg/šarža, opremljene sistemom za hlađenje i tretman procesnih gasova. Primer materijalnog bilansa dobijenog korištenjem željeza kao metala kolektora, koji sadrži preko 94% metala (Pt, Pd i Rh) prikazan je u tabeli 1.



Slika 4 - Kombinovan piro-hidrometalurški postupak za valorizaciju metala (Pt, Pd, Rh) iz otpadnih automobilskih katalizatora

Tabela 1. Materijalni bilans prerade autokatalizatora elektroly nim topljenjem

Ulaz	g	% kat.	kg/t kat.
Katalizatori	13.790	100,0	1.000
Aditivi na bazi železa	1.880	13,6	136
Kre no-koksnii aditivi	1.932	14,0	140
startna šljaka	50	0,4	4
Ukupno	17.652	128,0	1.280
Izlaz			
Metal	1.904	13,8	138
Šljaka	12.455	90,3	903
Filter produkti + depozit	148	1,1	11
Ukupno	14.507	105,2	1.052
Gubitak mase	3.145	22,8	228

2.3 Tretman nusprodukata iz primarne proizvodnje bakra

U primarnoj proizvodnji bakra nastaju velike količine rudarskih raskrivki i otadne vode iz topionice. Pored toga što predstavlja ekološki problem, raskrivke je potrebno tretirati i u cilju dobijanja bakra. Raskrivka nastala u rudniku Cerovo u Boru se procenjuje na 25 miliona tona sa srednjim sadržajem bakra od 0,18 do 0,25%, uglavnom u oksidnom obliku. Hidrometalurške metode (drobljenje, luženje, a zatim solvent ekstrakcija (SX) i elektroliza (EW)) se obično primenjuju u preradi siromašnih oksidnih ruda [14,15]. Otpadna voda u topionici bakra nastaje tokom tretmana SO₂ i procesne prašine u mokrim skruberima.

Projektovana količina otpadne vode iz Nove topionice bakra RTB Bor je 8,66 m³/h, veoma kisela, sa sadržajem 142,7 g/L H₂SO₄ i 0,53 g/L rastvorenog bakra [16]. Najbolja dostupna tehnologija za tretman otpadne vode iz primarne proizvodnje bakra je neutralizacija kiseline i obaranje jona metala u obliku hidroksida korišćenjem hidratisanog krečnja (Ca(OH)₂). Ovo je široko korišćena metoda usled niske cene, a visoke efikasnosti krečnja. Međutim, glavni nedostatak ove metode je nastajanje velike količine otpadnog mulja koji se smatra opasnim otpadnom i zahteva tretman pre odlaganja [17,18].

U okviru tretmana specifičnih nusproizvoda iz primarne proizvodnje bakra, istaživačka grupa je razvila integralni tretman oksidne raskrivke i efluenta iz primarne proizvodnje bakra. Integralni tretman obuhvata neutralizaciju kiselih otpadnih voda iz topionice bakra korišćenjem raskrivke iz rudnika Cerovo, pri čemu dolazi do istovremenog luženja bakra iz oksidnih ruda, sa ciljem dobijanja rastvora pogodnog za dalji proces dobijanja bakra primenom SX/EW procesa. Proces neutralizacije kiseline/luženja bakra je simuliran u SuperPro Designer programu u kombinaciji sa HSC Chemistry softverskim paketom. Parametri simulacije su

postavljeni tako da se kao izlaz iz procesa dobije rastvor na pH=2.

Sastav oksidne raskrivke iz rudnika Cerovo: SiO₂ + Al₂O₃ 75,6%, Fe (kao oksid) 5,3%, Fe (kao sulfid) 3,5%, Cu (kao oksid) 0,16%, Cu (kao sulfid) 0,11% i karbonati 14,5%. Projektovane karakteristike otpadne vode iz Nove topionice bakra RTB Bor su sledeće: Sadržaj kiseline (H₂SO₄) 142,7 g/L, pH -0,464, rastvoreni Cu 0,53 g/L.

Karakteristike rastvora nastalog tokom procesa neutralizacije kiseline/luženja bakra, kao izlaz iz simulacije, su sadržaj kiseline (H₂SO₄) 0,63 g/L, pH 2,00, Cu 1,68 g/L.

Rezultati simulacije su pokazali da je za tretman 1 L otpadne vode potrebno 0,95 kg oksidne raskrivke kako bi se postigao rastvor pH vrednosti 2 i 99% neutralizacije kiseline. Neutralizacija kiseline pre SX procesa je neophodna jer visoka kiselost može da inhibira proces. Negativni uticaj ne isticaj u procesu, pogotovu stvaranje arsina i taloženje arsena tokom EW procesa se izbija primenom SX procesa pre elektrolize [20].

Prvi ostatak sadrži sve minerale iz otpadne vode i raskrivke koji su nerastvorni u sumpornoj kiselini, Tabela 2, i trebalo bi da se tretira postupkom solidifikacije/stabilizacije.

Tabela 2. Sastav vrstog ostatka nakon tretmana

Komponenta	mas. %	Komponenta	mas. %
Al ₂ O ₃	18,89	Fe ₂ O ₃	6,14
Cu	0,09	FeS ₂	4,00
CuS	0,59	SiO ₂	69,88

2.4 Tretman nusprodukata iz primarne proizvodnje cinka

Tokom primarne proizvodnje cinka luženjem koncentrata cink(II)-sulfida, dobijaju se jarosit [19, 20] i cink-sulfatni talog [21]. Ovi nusprodukti, cink oksid

jarosit – PbAg i cink-sulfatni talog, sadrže značajnu količinu vrednih metala (Ag, In, Ge), zbog čega efikasno izdvajanje ovih metala predstavlja jedan od najvećih tehnoloških izazova.

U okviru nastanka sporednih produkata tokom primarne proizvodnje cinka, TMF grupa istraživača je ispitala mogućnost valorizacije tih materijala u Waelz procesu. Proučavana je simulacija Waelz procesa upotrebom Softverskog paketa za Waelz proces (SPW). SPW je matematički model koji služi za kalkulaciju procesnih parametara prilikom tretmana cinkonosnih materijala u Waelz procesu. Korisni materijali su bili cink oksid jarosit – PbAg (Koncentrat A) i cink-sulfatni talog (Koncentrat B). U cilju verifikacije rezultata dobijenih simulacijom, izvedeni su eksperimenti.

SPW služi za kalkulaciju procesnih parametara prilikom tretmana cinkonosnih materijala u Waelz procesu. To je matematički model koji služi za utvrđivanje realnih vrednosti parametara i relacija koje se usvajaju u sistemu automatizovanog upravljanja procesom. Raspodela elemenata iz šarže u produkte (prašinu i klinker) je napravljena na osnovu istorijskih rezultata iz realne proizvodnje. Pored toga, SPW se koristi za procenu

Tabela 3. Hemijska analiza koncentrata A i Koncentrata B

Element	Zn	Pb	Fe	Ag	Cu	S	K	Na	Mg	Al	Ca
Koncentrat A, %	7.40	6.43	25.5	0.02	0.48	9.00	0.37	0.07	0.08	1.47	0.74
Koncentrat B, %	22.9	4.83	33.0	0.01	0.95	1.92	0.14	0.03	0.16	1.33	0.56
SPW, %	5.94	7.42	92.3	49.1	92.3	31.3	92.3	91.7	93.0	92.4	93.1
Eksperiment, %	9.46	3.32	64.9	92.3	89.5	12.7	99.0	98.9	38.8	93.3	30.1

Prikazani koncept bi mogao biti primenjen na trokomponentni sistem uključujući i prašinu iz elektrolize i (EAFD) kao izvora cinka i olova. Osim toga, jedan deo koksa može biti supstituisan različitim tipovima otpadne plastike, kao alternativnog goriva i reducenta.

4. ZAKLJUČAK

Da bi se obezbedilo pouzdano i održivo snabdevanje TM, potrebno je razviti inovativna rešenja duž celog lanca od razvoja, proizvodnje, marketinga i komercijalizacije, do pružanja krajnjih, servisnih usluga. Sa druge strane, ova tranzicija zahteva uspostavljanje tesnih veza i odnosa multi-komponentnih sektora podstičući i inovacije i preduzetništvo, a što je moguće podstići i jedino potpunom implementacijom Triple Helix koncepta.

Odnosi između komponenti koncepta, univerzitet – industrija – državni aparat, su od ključnog značaja za suočavanje sa izazovima koji dolaze iz visoke složenosti procesa i multidisciplinarnog pristupa, a koje komponente individualno ne mogu rešiti. Dakle, utvrđivanje jasnih programa fokusiranih na održivo rudarstvo i proizvodnju, zamena kritičnih metala i

uticaja ulova novih sirovina na tehnološke pokazatelje.

Nakon dobijanja rezultata modelovanja izvedeni su eksperimenti. Definisana količina Koncentrata A (750 g) i Koncentrata B (250 g) je izmerana i peletizirana zajedno sa finim koksom (<1mm) i krečkom. Količina finog koksa i krečak je bila 20 % i 10% u odnosu na smešu Koncentrat A/Koncentrat B, respektivno. Ostatak koksa (>1mm), 260 g je direktno dodato u peć. Ukupna količina koksa je bila 46 % (460 g) u odnosu na smešu Koncentrat A/Koncentrat B.

Eksperimenti su izvedeni u kratkoj rotacionoj pećnici u cilju optimizacije temperaturnog režima, obloge pećnice i količine materijala. Pećnica je opremljena sistemom za prikupljanje procesnih gasova i otprašivanje. Iznad otvora pećnice montirana je hauba, koja preko sistema cevovoda i hladnjaka, sprovodi gasove do vre astog filtera.

Rezultati hemijske analize Koncentrata A i Koncentrata B, kao i transfer elemenata iz ulazne šarže u klinker, dobijen simulacijom procesa koristeći SPW i nakon analize eksperimentalnih rezultata, je prikazana u tabeli 3.

ponovno dobijanje metala iz sekundarnih izvora bi trebalo da bude glavni prioritet. Drugi odnos, po inženjerskom na univerzitetskom nivou daju društvenim izazovima i konceptu održivosti centralnu ulogu u svim nastavnim planovima i programima. Treći odnos je stvaranje preduzetničkog i inovativnog mentaliteta u svim komponentama spirale.

Preduzetničke institucije (inovacioni centri, centri za transfer znanja, itd.) imaju proaktivnu poziciju u primeni znanja i stvaranju novog znanja, i zauzimaju centralnu poziciju u uspešnoj implementaciji koncepta spirale.

Srbija ima dugu tradiciju u primarnoj proizvodnji cinka i olova. Rezultat toga je generisanje ogromne količine različitih nusprodukata koji su danas klasifikovani kao vredne sekundarne sirovine, pre nego tipičan otpad. Povrh toga, nadolazeći i neizbežan rast takozvanog urbanog otpada (elektronski i električni otpad, katalizatori) je veoma primetan i u Srbiji.

Stoga, potrebna su inovativna rešenja duž celog vrednosnog lanca kao i njihova uspešna implementacija koja je značajna ne samo zbog očuvanja životne sredine

ve tako e i zbog održanja prirodnih resursa i njihovog efikasnog koriš enja

5. ZAHVALNOSTI

Rezultati prezentovani u ovom radu su deo rezultata projekta Inovativna sinergija nusprodukata, minimizacije optada i istije proizvodnje u metalurgiji, TR-34033 finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, EU-Commission, DG Enterprise and Industry, Brussels, 85, 2010.
- [2] Stopić S, Kamberović Ž, Balomenos E, Panias D, Friedrich B, The Role of Hydrometallurgy in the Production of Critical Metals, in Proc. 1st Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe, Belgrade, Serbia, pp. 187-193, 23-25 May 2013.
- [3] U. U. Jadhav, H. Hocheng, A review of recovery of metals from industrial waste, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 54, No. 2, pp. 159-167, 2012.
- [4] Reuter M, Hudson C, van Schaik A, Heiskanen K, Meskers C, Hagelūken C, Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel, UNEP, 2013.
- [5] Hagelūken C, Meskers C, Complex life cycles of precious and special metals, Linkages of Sustainability, Strūngmann Forum Report, MIT Press, Cambridge, pp. 163-197, 2010.
- [6] Ranga M, Etkowitz, H, Triple Helix Systems: An Analytical Framework for Innovation Policy and Practice in the Knowledge Society, Industry and Higher Education, Vol. 27, No. 4, pp. 237-262, 2013.
- [7] Hennebel T, Apelian D, Meskers C, Vasseur K, Campforts M, Van Camp M, Towards a Resource Resilient Society via the Triple Helix Concept, In Proc. Conference of Metallurgists-COM 2015, Toronto, Canada, doi: 10.13140/RG.2.1.4807.6002, 23-26 August 2015.
- [8] Majinski N, Održivi marketing tehnološkog razvoja preduze a, Savez inženjera metalurgije Srbije, Beograd, 2015.
- [9] Sinadinović D, Vračar R, Kamberović Ž, On the Aqueous Oxidation of Polymetallic Cu-Zn-Pb Gold Bearing Sulphide Ore in an Autoclave, CIM Bulletin, Vol. 94, No. 1051, pp. 123-128, 2001.
- [10] Soki M, Marković B, Matković V, Živković D, Štrbac N, Stojanović J, Kinetics and mechanism of sphalerite leaching by sodium nitrate in sulphuric acid solution, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, Vol. 48, No. 2, pp. 185-195, 2012.
- [11] Erdem M, Yurten M, Kinetics of Pb and Zn leaching from zinc plant residue by sodium hydroxide, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, Vol. 51, No. 1, pp. 89-95, 2015.
- [12] Pavlović J, Stopić S, Friedrich B, Kamberović Ž, Selective Removal of Heavy Metals from Metal-bearing Wastewaters in Cascade Line Reactor, Environmental Science and Pollution Research-ESPR, Vol. 14, No. 7, pp. 518-522, 2007.
- [13] Cui J, Zhang L, Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review, Journal of Hazardous Materials, Vol. 158, No. 2-3, pp. 228-256, 2008.
- [14] Stevanović Z, Antonijević M, Jonović R, Avramović Lj, Marković R, Bugarin M, Trujić V, Leach-SX-EW copper revalorization from overburden of abandoned copper mine Cerovo, Eastern Serbia, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, Vol. 45, No. 1, pp. 45-57, 2009.
- [15] Soki M, Milošević V, Stanković V, Matković V, Marković B, Acid leaching of oxide-sulfide copper ore prior the flotation – A way for an increased metal recovery, Hemijska industrija, Vol. 69, No. 5, pp. 453-458, 2015.
- [16] New flash furnace and sulphuric acid plant, Project #504311 RTB Bor, Serbia. Technical proposal, 2012
- [17] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries, European commission, 2014
- [18] Ivšić -Bajeta D, Kamberović Ž, Kora M, Gavrilovski M, Solidification/stabilization process of wastewater treatment sludge from primary copper smelter, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol. 78, No. 5, pp. 725-739, 2013.
- [19] Asokana P, Saxena M, Asolekar SR, Jarosite characteristics and its utilisation potentials, Science of The Total Environment, Vol. 359, No. 1-3, pp 232– 243, 2006.
- [20] Soki J, Sinadinović D, Kamberović Ž, Uticaj sastava rastvora na kvalitet Jarosit taloga sa stanovišta njegove valorizacije, XXVIII Oktobarsko savetovanje rudara i metaluga, Bor, Srbija, pp. 421-427, 1996.
- [21] Jha MK, Kumar V, Singh RJ, Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 33, No. 1, pp. 1-22, 2001.

SUMMARY**INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE EXTRACTION OF TECHNOLOGY METALS FROM COMPLEX PRIMARY AND SECONDARY RAW MATERIALS**

Presented compilation of scientific, theoretical and experimental results, promotes an innovative synergy of various metals and industrial activities in metallurgy, resulting in profitable transformation of by-products and waste materials into resources. Focusing on treatment of specific by-products from zinc and copper primary production, as well on specific waste streams like WEEE and waste automotive catalysts, group is actively contribute to the Serbia, region and EU sustainability policies. In terms of sustainable development, metallurgy is a traditional part of the solution rather than part of the problem, so it is necessary to take the chance and centuries-old tradition.

Key words: recycling, innovation, e-waste, car catalysts, byproducts