

Boksit i njegova primjena u industriji

Omazić, Martin

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:687929>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI STUDIJ RUDARSTVA

BOKSIT I NJEGOVA PRIMJENA U INDUSTRIJI

Završni rad

Martin Omazić

R-4176

Zagreb, 2020.



KLASA: 602-04/20-01/93
URBROJ: 251-70-11-20-2
U Zagrebu, 18.09.2020.

Martin Omazić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/93, UR.BR. 251-70-11-20-2 od 28.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

BOKSIT I NJEGOVA PRIMJENA U INDUSTRIJI

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispit izv. Prof. dr. sc. Stanko Ružičić, izvanredni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Izv.prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Doc. dr. sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

BOKSIT I NJEGOVA PRIMJENA U INDUSTRIJI

Martin Omazić

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U završnom radu obrađen je proces pridobivanja, oplemenjivanja, eksploatacije te upotrebe boksita. Detaljno je pregledana svjetska i domaća literatura vezana uz postanak boksita i procese pridobivanja aluminijske ruda iz boksita. U procesu pridobivanja aluminijske ruda velike probleme stvara crveni mulj. Kao primjer utjecaja proizvodnje aluminijske ruda iz boksita opisana je ekološka katastrofa u Ajki, te napuštena tvornica glinice u Obrovcu. U radu je naveden i opisan jedan od najvećih rudnika boksita na svijetu, rudnik Huntly koji se nalazi u zapadnoj Australiji i koji proizvodi veliki udio aluminijske ruda i glinice u Australiji. Kao hrvatski primjer opisan je najstariji rudnik boksita na svijetu u Minjeri. Za zaključiti je da boksit kao industrijska sirovina ima i dalje svoju veliku upotrebu i potražnju. Uslijed proizvodnje aluminijske ruda treba uzeti u obzir sve parametre kako bi se spriječile ponovne ekološke katastrofe poput Ajke.

Ključne riječi: boksit, pridobivanje aluminijske ruda, upotreba boksita, crveni mulj

Završni rad sadrži: 25 stranica, 12 slika i 33 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: 1. Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

Ocjenjivači: 1. Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić
2. Izv. prof. dr. sc. Ivo Galić
3. Doc. dr. sc. Ana Maričić

Datum obrane: 28. rujna, 2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE BOKSITA	2
2.1. Mineraloške značajke boksita	2
2.2. Postanak boksita	3
2.2.1 Lateritni boksiti	4
2.2.2 Krški boksiti	5
3. NALAZIŠTA BOKSITA	7
3.1. Boksit u svijetu	7
3.1.1 Rudnik boksita Huntly	8
3.1.2 Ležište boksita u Jajcu (BiH)	9
3.2. Boksit u Hrvatskoj	10
3.2.1 Minjera	12
4. PRIMJERI UPOTREBE BOKSITA	14
4.1. Upotreba boksita za proizvodnju aluminija	14
4.2. Upotreba boksita kao abraziva.....	14
4.3. Upotreba boksita kao propant	14
4.4. Upotreba boksita u proizvodnji aluminatnog cementa	15
4.5. Zamjena za boksit	15
5. PROCES PRIDOBIVANJA ALUMINIJA IZ BOKSITA	16
5.1 Bayer-ov proces	16
5.2 Hall-Heroult proces.....	19
6. UTJECAJ CRVENOG MULJA NA OKOLIŠ.....	21
6.1. Izljev crvenog mulja u Ajki	21
6.2. Tvornica glinice u Obrovcu	23
7. ZAKLJUČAK.....	24
8. LITERATURA.....	25

POPIS SLIKA

Slika 1-1 Primjer boksita (Geology.com, 2020)	1
Slika 2-2 Sastav boksita prema Doliću (2015).....	3
Slika 3-4 Ležišta boksita u svijetu (Merchant Research and Consulting Ltd., 2020).....	7
Slika 3-5 Rehabilitacija zemljišta, Huntly, Australija (The International Aluminium Institute, 2020).....	9
Slika 3-6 Poljane (Rudnici boksita Jajce, 2020)	10
Slika 3-7 Zemljovid ležišta i pojave aluminijevih ruda u Hrvatskoj (Dolić, 2015).....	11
Slika 3-8 Minjera-najstariji rudnik boksita (Božičević, 2018)	12
Slika 5-9 Bayer-ov proces (Tabereaux, 2010)	19
Slika 5-10 Hall Heraultov proces (Aluminium production, 2009)	20
Slika 6-11 Izljev crvenog mulja u Ajki (World Library Foundation, 2020).....	22
Slika 6-12 Nekadašnja tvornica glinice u Obrovcu (Dakić, 2005.)	23

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I ODGOVARAJUĆIH SI JEDINICA

Kemijski simboli

Al_2O_3 - aluminijev oksid

Na - natrij

K - kalij

P - fosfor

Mg - magnezij

Si - silicij

Cr - krom

Pb - olovo

SiO_2 - silicijev oksid

Na_3AlF_6 - kriolit

NaOH - natrijev hidroksid

$\text{Al}(\text{OH})_3$ - aluminijev hidroksid

CO_2 - ugljikov dioksid

SI jedinice

$^{\circ}\text{C}$ - jedinica za temperaturu

kg - jedinica za masu

mg - jedinica za masu

m - jedinica za duljinu

cm - jedinica za duljinu

1. UVOD

Boksit je sedimentna rezidualna stijena sastavljena uglavnom od minerala koji sadrže aluminij, a to su gibbsit, bemit i dijaspor. Nastaje kada se lateritna tla jako ispiru od silicijevog dioksida i drugih topljivih materijala u vlažnoj tropskoj ili suptropskoj klimi (King, 2020). Boksit je najvažniji izvor aluminija: oko 85% ukupne svjetske proizvodnje boksita odlazi na proizvodnju glinice (primjenom Bayer-ovog procesa), a glavna proizvedene glinice koristi se kao sirovina za proizvodnju aluminija Hall Heroultovim procesom. Glinica je zapravo aluminijev oksid, kemijski spoj koji se sastoji od molekula aluminija i kisika (Al_2O_3).

Boksit se pojavljuje širom svijeta, a najveće rezerve nalaze se u Gvineji, Australiji, Vijetnamu, Brazilu i Jamajci. Jedan od najvećih rudnika boksita u svijetu je rudnik Huntly smješten u zapadnoj Australiji, te će biti detaljno opisan u ovom završnom radu.

Boksit je izrazito važna ruda za Hrvatsku jer se ležišta boksita nalaze diljem Hrvatske i s razlogom je nazvan "nacionalnim mineralom". Još jedan razlog zašto je boksit bitan za Hrvatsku je taj što se najstariji rudnik boksita nalazi u Hrvatskoj, točnije u Minjeri, gdje je utvrđeno da je baš tu otkopavan i upotrebljavan boksit, puno ranije nego li je ta ruda otkrivena u Les Bauxu 1821. godine.

U ovom završnom radu obradit će se boksit (Slika 1-1). Naglasak će biti na njegovim mineraloškim svojstvima i njegovoj primjeni u industriji, te će se opisati proces pridobivanja aluminija iz boksita, kao i utjecaj crvenog mulja na okoliš.



Slika 1-1 Primjer boksita (Geology.com, 2020)

2. TEORIJSKE OSNOVE BOKSITA

U ovome poglavlju obradit će se teorijske osnove boksita, a to se prvenstveno odnosi na njegove mineraloške značajke i način njegova postanka. Također će se obraditi i osnovna podjela boksita, kao i sami opisi lateritnih i krških boksita.

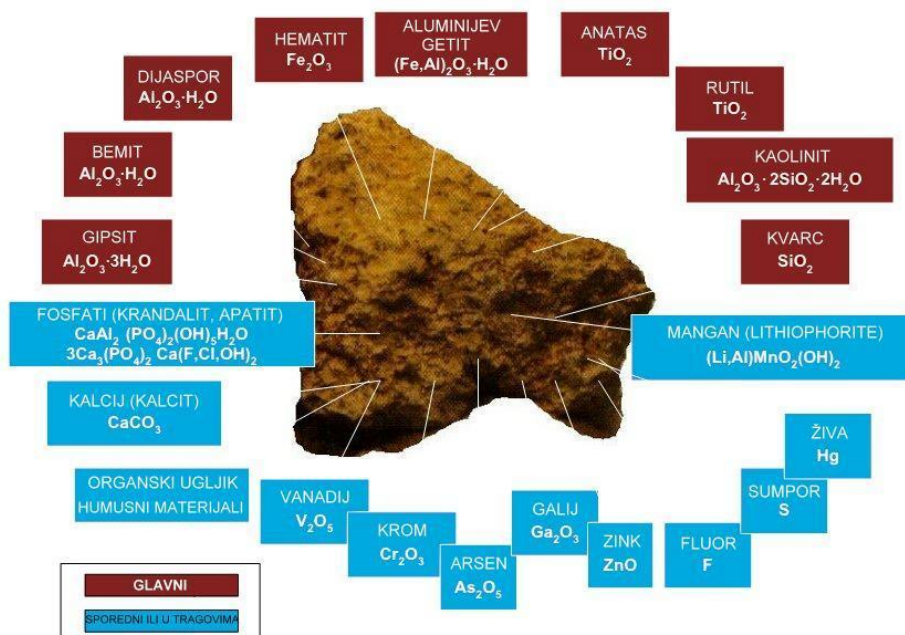
2.1. Mineraloške značajke boksita

Boksit je vrsta rezidualne sedimentne stijene koja pretežno sadrži minerale iz skupine aluminijevih hidroksida i hidroksida željeza (gibbsit, bemit, dijaspor, getit, hematit). Osim aluminijevih hidroksida i hidroksida željeza može sadržavati hematit, magnetit, kvarc, minerale glina i druge minerale u različitim postocima ili tragovima, pa zbog toga nema specifičan sastav. Naziv “boksit” datira još iz 1821. godine, a uveo ga je francuski geolog i inženjer rudarstva Pierre Bethier. On je na krškom reljefu Južne Francuske, Les Baux proučavao glinoviti sediment sastavljen uglavnom od aluminijevih i željezovih oksida osiromašen silicijem.

Boja boksita se mijenja ovisno o njegovom kemijskom i mineraloškom sastavu. Može varirati od bijele, sive, čelično žute, smeđe i crvene. Različit intenzitet crvene boje ovisi o količini i vrsti prisutnih minerala željeza. Boksit je porozan, fine zrnate strukture i kompaktan, te ima nepravilan lom. Česte su oolitske strukture sa zaobljenim odlomcima stijena ugrađenim u stijensku masu, te se može prostirati unutar cijelog ležišta.

Po kemijskom sastavu, boksiti su složena polikomponentna sirovina. Pored osnovnih komponenti boksiti u manjim količinama sadrže i druge elemente poput natrija (Na), kalija (K), fosfora (P), kroma (Cr), olova (Pb) i ostalih. Boksiti skoro uvijek sadrže organske supstance, te manje ili veće količine sumpora. Prema nekim autorima, u boksitu je potvrđeno prisustvo 42 kemijska elementa (Dolić, 2015).

Aluminij je u boksitu prisutan u obliku aluminijevih hidroksidnih minerala: gibbsit, bemit i dijaspor (Slika 2-2).



Slika 2-2 Sastav boksita prema Doliću (2015).

2.2. Postanak boksita

Boksit nastaje kemijskim trošenjem u uvjetima vlažne tropske i suptropske klime. Najčešća podjela boksita (Bardossy et al., 1995) su:

- lateritni boksiti nastali in situ kemijskim trošenjem kojima je podloga sastavljena od alumosilikatnih stijena;
- krški boksiti nastali kemijskim trošenjem na karbonatnoj podlozi;
- Tikhvin-tip boksita koji su produkt erozije laterita.

Prema Bardossy (1982) čak 88% ležišta boksita u svijetu pripada lateritnim boksitima, 11% krškim boksitima, a Tikhvin-tipu boksita samo 1%.

Lateritni i krški boksiti najviše se razlikuju po mineraloškom sastavu. Lateritni boksiti kao glavni mineral imaju gibbsit, a krški boksiti gibbsit, dijaspor i böhmit. Boksiti su stijene s najvećim udjelom vode kemijski vezane u strukturi minerala pa tako udio vode u gibbsitu može biti do 30%, a u böhmitu i dijasporu od 11-14%. Pravi krški boksiti sadrže manje od 10% SiO₂ (u obliku minerala glina, većinom kaolinita) dok se kod laterita SiO₂ javlja u relativno visokom postotku u obliku rezidualnih zrna kvarca (Bardossy et al., 1995). Krški boksiti s područja Dinarida mogu sadržavati 20% SiO₂, a neki čak i više (Strmendolac kod

Trilja). Jurski i trijaski boksiti s visokim sadržajem silicija imaju tvrdoću po Mohsovoj skali i do 9 pa ih uspoređujemo s korundom, dok su kredni i neogenski boksiti puno manje tvrdoće, od 1 do 3.

2.2.1 Lateritni boksiti

Lateritni boksiti su rezidualni produkti vrlo intenzivnog trošenja stijena bogatih aluminijem (sijeniti, kaolinske gline, šejlovi, dijabazi i dr.), pri čemu su cirkulirajuće otopine odnosile sve komponente (Na, K, Ca, Mg i Si) osim aluminija (Slovenec, 2011). Glavni geološki uvjeti za stvaranje boksita su (Shaffer, 1983):

- 1) velika propusnost stijena što omogućuje desilifikaciju;
- 2) tropska klima s jakim oborinama i izmjenjivanjem vlažnih i suhih razdoblja što pospješuje izluživanje;
- 3) niski do umjereni topografski reljef koji omogućuje drenažu i kolebanje nivoa vode temeljnice;
- 4) mala brzina erozije i dulji period stabilnosti koji omogućuju akumulaciju produkata trošenja.

U uvjetima povišene temperature i jakog izluživanja stijena meteorskim vodama, iz stijena se izlužuje i silicij. Aluminijev-oksidi se talože u vidu gela kao hidroksidi koji zatim kristaliziraju, najčešće kao gibbsit, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Jednako se ponaša i prisutno željezo koje pridonosi stvaranju goethita. Zbog malo veće mobilnosti aluminija, lateritni profili su zonalne građe: u njihovom donjem dijelu sa slabijom cirkulacijom vode, neposredno na neizmijenjenim matičnim stijenama nalazi se glinoviti laterit, u srednjem je dijelu zona sa alumohidroksidima (zona obogaćenja), a na površini je zona izgrađena od goethita i hematita. Matične stijene lateritnih boksita odlikuju se povećanim udjelom aluminija te umjerenim udjelom silicija i željeza.

Lateritni boksiti nalaze se u mnogim zemljama tropskog područja, a ističu se ležišta u Australiji, Indiji, Gani, Gvineji i Brazilu (Slika 3.). Velika ležišta sadrže više od stotina milijuna do nekoliko tona boksita. Oko 90% rudnih rezervi boksita nalazi se u tom tipu ležišta, a i većina proizvodnje potječe iz takvih ležišta (Nuić, 2010).

2.2.2 Krški boksiti

Krški boksiti su dobili naziv po tome što se nalaze u područjima u kojima prevladavaju karbonatne stijene. U neposrednoj podini ležišta su vapnenci, rjeđe dolomiti, a u krovini mogu biti različite sedimentne stijene. Rudna tijela boksita nastala su zapunjavanjem krških udubljenja, te su zato nepravilnog ili lećastog oblika, rjeđe slojevita, pa je kontaktna ploha s podinskim karbonatnim stijenama veoma nepravilnog oblika, a s krovinskim stijenama pretežno ravna u primarnom položaju. Veličina rudnih tijela je različita i varira od malih rudnih pojava do onih koji sadrže više milijuna tona boksita (Nuić, 2010). Krški boksiti nastali su intenzivnim površinskim trošenjem alumosilikatnih minerala, ali pitanje njihovog podrijetla nije jednoznačno riješeno (Slovenec, 2011). Prema Šinkovec (1988) postoje različite pretpostavke o podrijetlu ovih minerala:

- 1) ishodišni minerali predstavljali su primjese u matičnim karbonatnim stijenama; otapanjem karbonatnih stijena ti minerali stvaraju na površini sloj poznat kao *terra rossa* (zemlja crvenica), koji procesima lateritizacije prelazi u boksit;
- 2) ishodišni minerali su produkti površinskog trošenja okolnih alumosilikatnih stijena koji su vodom ili vjetrom preneseni na karbonatno područje;
- 3) moguće je da je ishodišni materijal vulkanski pepeo donesen vjetrom.

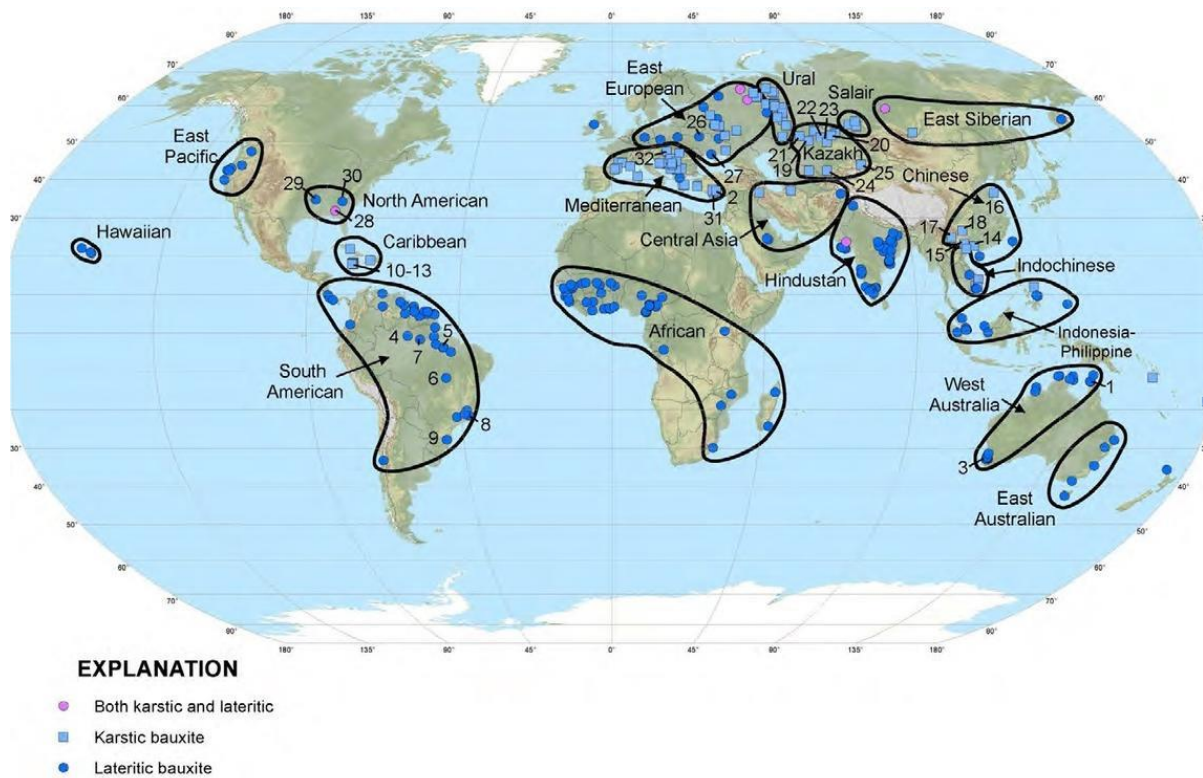
Glavne pojave boksita podudaraju se s globalno visokim temperaturama, pratećim eustatičkim visokim razinama mora, pozitivnim anomalijama magmatske aktivnosti i učestalim oceanskim anoksičnim događajima (Mindszenty, 2016).

Krških boksita ima u mediteranskim zemljama (Francuska, područje bivše Jugoslavije, Grčka i Turska), te u Mađarskoj gdje su oni mezozojske i tercijarne starosti, zatim Rusija (paleozojske i mezozojske starosti), a najmlađa i najveća ležišta nalaze se na Jamajci (Nuić, 2010).

Većina svjetskih ležišta krških boksita nalazi se u ovih 7 područja (Bardossy, 1982) (Slika 2-3).

1. Karipski otoci (Jamajka, Dominikanska republika, Haiti)
2. sjeverni dio Sredozemlja (Francuska, Italija, Mađarska, Hrvatska, BiH, Grčka, Turska i Crna Gora)

3. središnja Azija i područje Urala (Rusija, Kazahstan)
4. istočna Azija (Kina, Vijetnam)
5. područje od Irana do Himalaje (Iran, Pakistan, Afganistan)
6. jugozapadni dio Tihog oceana (Solomonski otoci, Filipini)
7. jugoistočni dio SAD-a



Slika 2-3 Rasprostranjenost ležišta krških i lateritnih boksita (Schulte & Foley, 2014)

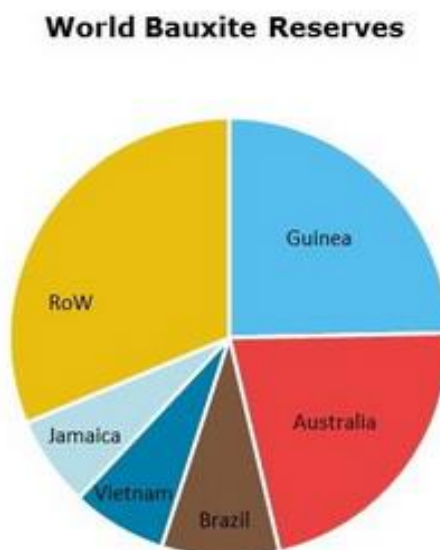
3. NALAZIŠTA BOKSITA

U ovome poglavlju obradit će se najpoznatija nalazišta boksita u svijetu i Hrvatskoj. Opisat će se jedan od najvećih rudnika boksita u svijetu, a to je Huntly u Australiji te ležišta boksita u Jajcu (BiH), dok će se kao primjer ležišta boksita u Hrvatskoj opisati najstariji rudnik boksita na svijetu u Minjeri.

3.1. Boksit u svijetu

Boksit se nalazi u velikim količinama na mnogim lokacijama širom svijeta. U 2017. godini deset vodećih zemalja proizvođača boksita bile su: Australija, Kina, Brazil, Indija, Gvineja, Jamajka, Rusija i Kazahstan. Svaka od ovih zemalja ima dovoljno rezervi za dugogodišnju proizvodnju. Neki imaju rezerve za više od 100 godina proizvodnje (King, 2020).

Ukupne svjetske rezerve boksita procjenjuju se na gotovo 55-75 milijardi metričkih tona (BMT). Zemljopisno, Afrika zapovijeda najvećim udjelom u globalnim rezervama boksita - oko 32%, slijede Oceanija i Južna Amerika i Karibi s udjelom od oko 23%, odnosno 21%. Prema širokoj procjeni geološkog potencijala, mineralizacija boksita prilično je česta u cijelom svijetu. Međutim, svjetske rezerve boksita koncentrirane su u samo 13 zemalja. Nadalje, pet zemalja (Gvineja, Australija, Brazil, Vijetnam i Jamajka) imaju više od 70% ukupne svjetske količine boksita (Aster, 2018) (Slika 3-4).



Slika 3-4 Ležišta boksita u svijetu (Merchant Research and Consulting Ltd., 2020)

3.1.1 Rudnik boksita Huntly

Jedan od najvećih rudnika boksita u svijetu je rudnik Huntly i nalazi se na jugozapadu zapadne Australije, 41 kilometar od Perth. Otvoren je 1976. godine i pod vlasništvom je Alcoa-e (*eng. Aluminium Company of America*), američke tvrtke koja je vodeći svjetski proizvođač aluminija. U ovom rudniku se eksploatira boksit za preradu u rafinerijama Kwinana i Pinjarra. Uz Huntley, treba spomenuti i rudnik Willowdale, koji se također nalazi u zapadnoj Australiji i pod vlasništvom Alcoa-e. Rude boksita iz rudnika Huntly i Willowdale godišnje proizvedu 10 milijuna tona glinice. Ova dva rudnika proizvode blizu 30 % ukupne australske proizvodnje aluminija i 45 % ukupne proizvodnje glinice. Oni značajno doprinose ukupnoj proizvodnji glinice u Alcoa-inoj tvornici boksita u zapadnoj Australiji koja čini oko 11 posto svjetskih potreba.

Profil tla u ovom rudniku sastoji se od više slojeva. Gornji sloj debljine 15 cm sadrži puno hranjivih sastojaka potrebnih za kasniju adekvatnu sanaciju šume. Sljedeći, prekrivajući sloj sadrži od 20 do 80 cm tla sa valuticama šljunka koji se nalazi iznad sloja tvrde nepropusne stijene. Oba sloja moraju se ukloniti strugačima i malim bagerima prije miniranja tvrde nepropusne stijene. Rudno tijelo boksita, koje se nalazi ispod sloja nepropusne stijene, uklanja se bagerom i utovaruje u teretne kamione koji se odvoze do drobilice. Drobilica usitnjava rudu boksita na prikladniju veličinu za transport transporterom do rafinerije.

Jedan od najvažnijih aspekata eksploatacije boksita na površinskom kopu veličine rudnika Huntly je u tome da njegovi radovi na rehabilitaciji budu u skladu s rudarskim postupkom. To znači da rudnik Huntly svake godine mora sanirati oko 600 hektara miniranih površina. Takvi radovi su potrebni kako bi se osigurala obnova šumskog ekosustava na tom području (Slika 3-5).



Slika 3-5 Rehabilitacija zemljišta, Huntly, Australija (The International Aluminium Institute, 2020)

Proces rehabilitacije se razvijao i kontinuirano poboljšavao tijekom posljednjih 35 godina. Velike su se stijene zakopale, vertikalna lica jama izravnala, a dno jame oblikovano je tako da se uklapa u okolni krajolik, nakon što je raskomadano razbijanjem stijena izazvanog teškom rudarskom opremom.

Rudnik Huntly zauzima površinu od oko 7000 četvornih kilometara, a na trenutnoj razini proizvodnje očekuje se kontinuirano vađenje boksita na tom mjestu do 2044. g. (Mining Link, 2019).

3.1.2 Ležište boksita u Jajcu (BiH)

Ležišta boksita nalaze se i u susjednoj Bosni i Hercegovini, a posebno se ističu ležišta u Jajcu. Boksiti se na tom području eksploatiraju već pedeset godina i tako predstavljaju najznačajniju mineralnu sirovinu tog područja (Farkaš, 2006). U širem boksitonosnom području Jajca nalaze se brojna ležišta visokokvalitetnih boksita, a razlikuju se četiri oblasti: Crvene stijene, Poljane (Slika 3-6), Bešpelj i Liskovica. Crvene stijene i Poljane većim su dijelom istražena područja s površine, a preostale utvrđene zalihe boksita iskorištavaju se

podzemnim rudarskim radovima, dok su Bešpelj i Liskovica još uvijek nedovoljno istražena (Budeš et. al., 2018).



Slika 3-6 Poljane (Rudnici boksita Jajce, 2020)

3.2. Boksit u Hrvatskoj

Ležišta i pojave aluminijske rude boksita nalazilo se u većem dijelu Hrvatske u tolikom broju da je s pravom nazvan našim “nacionalnim mineralom” (Durn i Mileusnić, 2020.) (Slika 3-7). Boksitna rudišta nalaze se u Kordunu i okolnim područjima, u Lici, Istri, Bukovici, Promini i Moseću, od Sinja do Imotskog, a u novije vrijeme mineraloški zanimljive pojave otkrivene su i u našim sjevernim krajevima: Ravnoj gori, Papuku i Krndiji. Nije stoga neobično da je boksit istraživani više negoli ijedna druga ruda u Hrvatskoj (Marković, 2002).



Slika 3-7 Zemljovid ležišta i pojave aluminijevih ruda u Hrvatskoj (Dolić, 2015)

Ležišta boksita u Hrvatskoj postankom se dosta razlikuju, a to se odražava u načinu njihova pojavljivanja, veličini ležišta, mineralnom sastavu i kvaliteti. Prema postanku ležišta boksita i boksitičnih sedimenata na terenima RH mogu se pojednostavljeno svrstati u tri skupine:

- a) Ležišta boksita, glinovitih boksita, boksitičkih glina i glina trijaskke starosti (Slunj, Lika), potom jurska, pa i neogenska (Tounj, Peruća, Trilj);
- b) Boksite starijeg paleogena (Istra, otoci, Dalmacija) i mlađe palogenske starosti (Dalmacija) izdvaja se prema postanku kao posebnu skupinu i svrstava boksite “tip terra rossa” (zemlja crvenica);
- c) Boksitička ležišta nastala mehaničkim putem – pretaloživanjem drugih ležišta. Najčešće je riječ o beznačajnim nalazištima koja su slabo izražena, a poznatija od ostalih su ona pronađena unutar Promina naslaga (Drniš, Studenci) (Dolić, 2015).

3.2.1 Minjera

Boksit je u Minjeri u dolini Mirne jugozapadno od Buzeta, otkopavan još u XVI. stoljeću. Otkopavan je piritni boksit za dobivanje sumporne kiseline, alauna ili stipse. Procjenjuje se da je otkopano cca 150 000 tona boksita u 17 potkopnih otkopa duljine nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Francuski kemičar Pierre Berthier objavio je prvi podatak o kemijskom sastavu i fizikalnim svojstvima boksita uzorkovanog iz rude kraj mjesta Les Beauxa u Provansi, pa je ruda nazvana boksit. Novija istraživanja naših geologa i mineraloga, pokazuju da su istarska boksitna ležišta zapravo „locus typicus“ za rudu od koje se dobiva aluminij. Sukladno tome Minjera je lokalitet najstarijega geološko-mineraloškog opisa i najstarijega rudarskog iskopa rude boksita (Slika 3-8) (Vrkljan, 2019).



Slika 3-8 Minjera-najstariji rudnik boksita (Božičević, 2018)

Tijela poznatih piritnih boksita Minjere su zbog fino raspršenog dijagenetskog pirita sive do crne boje. Crni boksiti na Minjeri tvore tanki sloj u krovini sivih boksita ili se kao detritični fragmenti nalaze u sivom boksitu. Na samom kontaktu boksita s podinom nalaze se pjegavi žuto-crveni boksiti, a zbog paleogenskog subaerskog izlaganja mogu se naći i na vrhu ležišta. Sivi piritizirani boksiti imaju jednaku teksturu kao crveno obojeni paleogeni boksiti Istre (Durn et al., 2003).

Pridobivanje boksita u Minjeri bilo je isključivo jamskim radom, jer se rudarski rad obavljao ručno pa je jamska eksploatacija imala prednost nad površinskom. Otvaranje ležišta

potkopom koji je tada služio za izvoz rude omogućavala je konfiguracija terena. Taj način eksploatacije bio je povoljan zbog sklonosti pirita brzom razgradnji oksidacijom i hidratacijom. Dakle, podzemnim radom dolazilo se do nedirnutog piritnog boksita zaštićenog krovinskim naslagama (Sakač et al., 1995).

U piritiziranom boksitu Minjere utvrđeni su minerali: bemit, pirit, markazit, hematit, getit, kaolinit, dijaspor, hidrargilit, anatas, turmalin i cirkon. Glavni minerali su bemit i pirit dok je dijaspor zapažen samo u nekim uzorcima boksita (Šinkovec et al., 1994).

4. PRIMJERI UPOTREBE BOKSITA

U ovome poglavlju opisat će se najčešći primjeri upotrebe boksita te će se navesti neka alternativna rješenja koja mogu zamijeniti boksit. Naime, boksit se može koristiti za proizvodnju aluminijskog cementa, služi kao abraziv ili propant, a također se koristi za proizvodnju aluminatnog cementa.

4.1. Upotreba boksita za proizvodnju aluminijskog cementa

Boksit se uglavnom koristi za proizvodnju aluminijskog cementa, abraziva te kao propant. Boksit je glavna ruda aluminijskog cementa. Prvi korak u proizvodnji aluminijskog cementa je drobljenje boksita i njegovo pročišćavanje pomoću Bayerovog postupka. U Bayerovom procesu boksit se ispire vrućom otopinom natrijevog hidroksida koja iz boksita ispušta aluminijski hidroksid. Iz otopine aluminijski hidroksid se istaloži u obliku aluminijskog hidroksida $\text{Al}(\text{OH})_3$. Zatim se aluminijski hidroksid kalcinira u obliku aluminijskog oksida Al_2O_3 . Aluminijski oksid se topi iz glinice koristeći Hall-Heroult-ov proces. U Hall-Heroultovom procesu glinica se otopi u rastopljenoj kupelji kriolita (Na_3AlF_6). Rastaljeni aluminijski oksid se uklanja iz otopine elektrolizom. U ovom postupku se koristi velika količina električne energije, pa se aluminijski oksid obično proizvodi tamo gdje su troškovi električne energije mali (King, 2020).

4.2. Upotreba boksita kao abraziva

Kalcinirana glinica je sintetički korund, koji je vrlo tvrd materijal (tvrdoća 9 na Mohsovoj skali tvrdoće). Kalcinirana glinica se drobi, odvaja po veličini i koristi kao abraziv. Brusni papir, prah za poliranje i suspenzija za poliranje izrađeni su od kalcinirane glinice.

Sinterirani boksit često se koristi kao abraziv za pješkarenje. Nastaje drobljenjem boksita u prah i zatim se stapa u sferične kuglice na vrlo visokoj temperaturi. Kuglice su vrlo tvrde i dugotrajne. Zatim se kuglice sortiraju po veličini za upotrebu u različitim vrstama opreme za pješkarenje i za različite primjene pješkarenja. Njihov okrugli oblik smanjuje trošenje opreme za isporuku (King, 2020).

4.3. Upotreba boksita kao propant

Sinterirani boksit koristi se i kao sredstvo za razradbu naftnog polja. Pri bušenju nafte i prirodnog plina, akumulacijska stijena se često lomi ispuštavanjem tekućine u bunar pod

vrlo visokim pritiscima. Tlak raste do vrlo visokih razina koje uzrokuju lom stijene u škriljavcu. Kada dođe do loma, voda i suspendirane čestice poznate kao “propanti” ulaze u pukotine i otvaraju ih. Kad se crpke isključe, lomovi se zatvaraju i zadržavaju propante u rezervoaru. Ako u rezervoaru ostane dovoljan broj čestica otpornih na drobljenje, lomovi će se "otvoriti", omogućujući protok nafte ili prirodnog plina iz stijena u bunar. Taj je postupak poznat i kao hidraulično lomljenje.

Boksit u prahu može se stopiti u sićušne kuglice na vrlo visokim temperaturama. Ove kuglice imaju vrlo visoku otpornost na drobljenje, što ih čini pogodnim kao propant. Mogu se proizvesti u gotovo bilo kojoj veličini i u određenom rasponu specifične gravitacije. Specifična težina kuglica i njihova veličina mogu se uskladiti s viskozitetom tekućine za hidraulično lomljenje i veličinom lomova za koje se očekuje da će se razvijati u stijeni. Proizvedeni propanti pružaju širok izbor veličine zrna i specifične težine u odnosu na prirodni propan (King, 2020).

4.4. Upotreba boksita u proizvodnji aluminatnog cementa

Boksiti sa povećanim sadržajem silicija koriste se i za dobivanje najkvalitetnijih vrsta cementa zbog brzine kemijske reakcije “vezanja betona”, povećanja čvrstoće (marke) i otpornosti betona na temperature. Takav cement poznat je pod nazivom aluminatni cement. Sukladno tome, boksiti s najnižim sadržajem silicija koriste se za metaluršku namjenu, odnosno oni koji imaju najpovoljniji odnos korisnog (Al_2O_3) i štetnog udjela komponente (SiO_2). To u konačnici određuje proizvodnu cijenu aluminija, odnosno Bayer-ovog postupka.

4.5. Zamjena za boksit

Svjetski resursi boksita dovoljni su za desetljeće proizvodnje po trenutnim stopama. Za proizvodnju glinice osim boksita mogu se koristiti i drugi materijali kao što su glineni minerali, alunit, anortozit, pepeo elektrane i škriljac, ali uz veće troškove i koristeći različite postupke. Umjesto abraziva na bazi boksita ponekad se upotrebljavaju silicijev karbid i sintetički korund, a umjesto vatrostalnih tvari na bazi boksita koristi se magnezijev oksid dobiven iz magnezita (King, 2020).

5. PROCES PRIDOBIVANJA ALUMINIJA IZ BOKSITA

U ovome poglavlju detaljno će se prikazati dva glavna procesa kojima se dobiva aluminij iz boksita, a to su Bayer-ov i Hall – Heroult proces.

5.1 Bayer-ov proces

Bayer-ov proces (Slika 5-9) izumio je 1887. Carl Josef Bayer. Austrijski kemičar nastojao je razviti metodu za opskrbu glinice u tekstilnoj industriji (za uporabu kao sredstvo za mrvljenje, tvar koja se kombinira s bojom i time postavlja boju u materijal). Bayer-ov proces dobio je na značaju u industriji proizvodnje aluminija u kombinaciji s Hall-Heroultovim elektrolitskim postupkom. Kombinirajući dva postupka, ruda boksita može se preraditi u glinicu, koja se zatim pretvara u aluminij. Danas je Bayer postupak gotovo nepromijenjen i koristi se za proizvodnju gotovo sve svjetske opskrbe glinicom, kao posredni korak u proizvodnji aluminija (The Aluminum Association, 2020).

Bayer-ov proces je najekonomičniji način dobivanja glinice iz boksita (za proizvodnju jedne tone glinice potrebne su dvije do tri tone boksita). Postoje i drugi načini koji se koriste u nekim rafinerijama, posebno u Kini i Rusiji, ali oni čine relativno mali postotak globalne proizvodnje (The International Aluminium Institute, 2018).

Dobivanje glinice Bayer-ovim procesom iz boksita odvija se u nekoliko faza:

1. Drobljenje

Boksit se ispire i drobi, te se dodatno usitnjava u mlinovima kako bi se povećala reaktivna površina za fazu digestije. U mlinovima se dodaje vapno i “potrošena tekućina” (kaustična soda vraćena iz faze taloženja) da se dobije suspenzija koja se pumpama odvodi u idući stupanj procesa.

2. Desilikacija

Boksiti koji imaju velik sadržaj silicijevog oksida (SiO_2) prolaze kroz proces uklanjanja ove nečistoće. Ovaj proces se provodi zbog toga što SiO_2 može uzrokovati probleme sa formiranjem i tako se smanjuje kvaliteta gotovog proizvoda.

3. Digestija

Otopina vruće kaustične sode (NaOH) upotrebljava se za otapanje minerala koji sadrže aluminij u boksitu i tako se stvara zasićena otopina natrijevog aluminata. Uvjeti unutar digestora (koncentracija kaustične otopine, temperatura i tlak) postavljaju se prema svojstvima boksitne rude. Rude s visokim sadržajem gibbsita mogu se preraditi na 140 °C, dok bemitski boksiti trebaju temperaturu između 200 i 280 °C. Tlak nije važan za postupak kao takav, već je određen tlakom zasićenja parom u postupku. Pri 240 °C tlak je približno 3,5 MPa.

Zatim se suspenzija hladi ispuštanjem pare na atmosferskom tlaku do oko 106 °C. Ta se para koristi za predgrijavanje kaustične otopine. Iako su visoke temperature često teorijski povoljne, postoji nekoliko potencijalnih nedostataka, uključujući i mogućnost otapanja drugih oksida, što nije povoljno.

4. Bistrenje (sedimentacija)

Prva faza bistrenja je odvajanje krutih tvari (ostatak boksita) iz prezasićene otopine (natrijev aluminat ostaje u otopini) sedimentacijom. Dodaju se kemijski aditivi (flokulanti) koji pomažu procesu taloženja. Ostatak boksita tone na dno spremnika za taloženje, a zatim se prebacuje u spremnike za pranje, gdje prolazi niz faza pranja kako bi se dobila kaustična soda (koja se ponovno koristi u procesu probave).

Daljnje odvajanje prezasićene otopine od ostatka boksita provodi se primjenom niza sigurnosnih filtera. Svrha sigurnosnih filtera je osigurati da konačni proizvod nije kontaminiran nečistoćama koje se nalaze u ostacima.

Ovisno o zahtjevima skladišta ostataka, koriste se daljnje faze zgušnjavanja, filtracije i / ili neutralizacije prije nego što se one ispumpaju u područje odlaganja ostataka boksita.

5. Precipitacija

U ovoj se fazi glinica ponovno dobiva kristalizacijom iz prezasićene otopine, koja je presušena u natrijevom aluminatu.

Proces kristalizacije pokreće progresivno hlađenje tekućine iz prezasićene otopine, što rezultira stvaranjem malih kristala aluminij trihidroksita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), obično poznatih kao "hidrat", koji zatim aglomeriraju kako bi tvorili veće kristale.

6. Evaporacija

Nakon kristalizacije otopina se zagrijava kroz seriju izmjenjivača topline, a zatim se naglo hladi. Kondenzat stvoren u grijačima ponovno se koristi u procesu, na primjer kao tehnološka voda ili za pranje ostataka boksita nakon sedimentacije i filtriranja. Preostala kaustična otopina se ispere i reciklira natrag u procesu digestije.

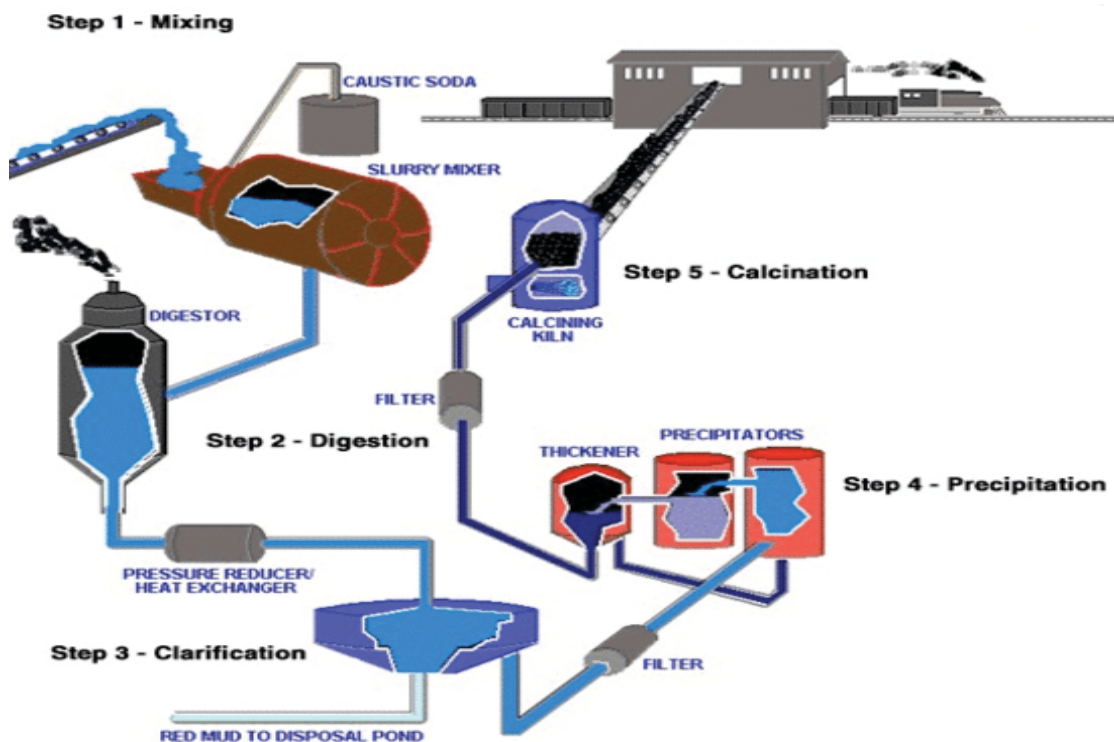
7. Klasifikacija

Kristali gibbsita nastali u procesu precipitacije klasificiraju se po veličini. To se obično radi upotrebom ciklona ili gravitacijskih klasifikacijskih spremnika (niz zgušnjivača koji koriste iste principe kao i odlagači u fazi bistrenja/sedimentacije). Krupni kristali namijenjeni su kalcinaciji nakon odvajanja od prezasićene otopine pomoću vakuumske filtracije, pri čemu se krute tvari isperu vrućom vodom.

Fini kristali, nakon ispiranja radi uklanjanja organskih nečistoća, vraćaju se u fazu precipitacije kako bi se mogli aglomerirati u krupnije kristale.

8. Kalcinacija

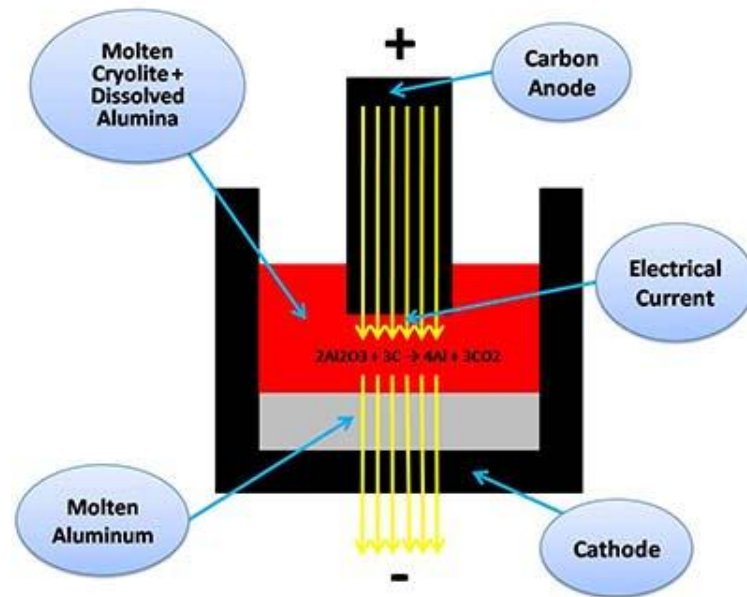
Oprana glinica se zagrijava na temperaturama do 1100 °C kako bi se odbacila slobodna vlaga i kemijski povezana voda, čime se stvaraju krute tvari od glinice. U upotrebi su različite tehnologije kalcinacije, uključujući kalcinere za suspenziju plina, kalcineri sa fluidiziranim slojem i rotacijske peći. Nakon toga od aluminijevog trihidroksida dobije se aluminijev oksid Al_2O_3 koji je konačni proizvod Bayer-ovog procesa spreman za isporuku u talionice aluminijske ili kemijske industrije (The International Aluminium Institute, 2018).



Slika 5-9 Bayer-ov proces (Tabereaux, 2010)

5.2 Hall-Heroult proces

Hall-Heroult proces (Slika 5-10) se odvija tako da se iz glinice elektrolizom dobije aluminij. U procesu se kao elektrolit koristi otopina soli koja se naziva kriolit (Na_3AlF_6) koji može otapati glinicu. Grafitne elektrode uronjene su u elektrolit (obično se naziva "kupka") noseći električnu struju koja se zatim prenosi u rastopljeni kriolit koji sadrži otopljenu glinicu. Kao rezultat, kemijska veza između aluminija i kisika u glinici se prekida, aluminij se taloži na dnu ćelije, gdje nastaje sloj aluminija, dok kisik reagira s ugljikom grafitne katode stvarajući mjehuriće ugljikovog dioksida (CO_2) (Aluminium-production, 2009).



Slika 5-10 Hall Heraultov proces (Aluminium production, 2009)

6. UTJECAJ CRVENOG MULJA NA OKOLIŠ

Crveni mulj je otpadni proizvod i nastaje u industrijskoj proizvodnji aluminijske. S oko 77 milijuna tona proizvedenog ovog opasnog materijala godišnje, crveni mulj je jedan od najvažnijih problema zbrinjavanja u rudarskoj industriji.

Crveni mulj je nusproizvod Bayerovog postupka. Tipična ruda boksita proizvodi jedan do dva puta više crvenog mulja od glinice. Ovaj omjer ovisi o vrsti boksita koji se koristi u procesu rafiniranja.

Crveni mulj sastoji se od mješavine krutih i metalnih oksida. Crvena boja proizlazi iz željeznih oksida, koji sadrže do 60% mase crvenog mulja. Mulj je visoko bazičan s pH u rasponu od 10 do 13. Pored željeza, ostale dominantne komponente uključuju silicijev dioksid, neizluženi zaostali aluminij i titanov oksid.

Crveni mulj ne može se lako riješiti. U većini zemalja u kojima se proizvodi, crveni mulj se odlaže u bazene pored tvornica koje služe sprječavanju prodiranja lužnina u mulju u podzemne vode. Crveni mulj predstavlja problem jer zauzima površinu zemlje i ne može se obrađivati, čak i kad je mulj suh (World Library Foundation, 2020).

Nakon što se područje za odlaganje blata napuni, teritorij se može povratiti zatrpavanjem pijeskom, pepelom ili prljavštinom i postavljanjem tamo određenih vrsta drveća i biljaka. Iako potpuna melioracija može trajati godinama, na kraju će se teritorij vratiti u prvobitno stanje.

Mnogi stručnjaci crveno blato ne smatraju otpadom jer se može koristiti kao sirovina, a može se i koristiti u proizvodnji lijevanog željeza, betona i elemenata rijetkih zemalja (REE) (Uc Rusal, 2020).

6.1. Izljev crvenog mulja u Ajki

U listopadu 2010. godine, otprilike milijun kubičnih metara crvenog mulja iz pogona glinice u blizini Kolontára u Mađarskoj izlilo se u okolna sela u nesreći izazvanoj iz pogona glinice Ajka. Mulj je poplavio nekoliko obližnjih lokaliteta uključujući selo Kolontár i grad Devecser. Do izljeva je došlo urušavanjem zaštitnog zida spremnika br. 10 jer se u potpunosti ispunio mješavinom vode i crvenog mulja (Slika 6-11). Na dan katastrofe,

4.10.2010. godine, 10 ljudi je poginulo, a 150 je ozlijeđeno (World Library Foundation, 2020).

Za razliku od mnogih drugih jalovišta, crveni mulj ne sadrži vrlo visoke razine teških metala, iako je još uvijek oko sedam puta veće od nivoa u normalnom tlu. Analize blata u Kolontáru pokazale su razine kroma 660 mg/kg, arsena 110 mg/kg i žive 1,2 mg/kg. Mađarska vlada izjavila je da mulj "nije otrovan", a Mađarska akademija znanosti izjavila je da se koncentracije teških metala ne smatraju opasnim za okoliš. Glavne štete uzrokovane nesrećom nastale su prvo zbog visoke pH vrijednosti mulja koje je bilo odgovorno i za ozbiljne opekline ljudi i životinja, te izumiranje biljne i životinjske vrste u okolnim vodama i kontaminiranom tlu.



Slika 6-11 Izljev crvenog mulja u Ajki (World Library Foundation, 2020)

Otpad je ugasio sav život u rijeci Marcal i stigao do Dunava 7. listopada, što je zemlje smještene dalje niz rijeku (Slovačka, Hrvatska, Srbija, Rumunjska, Bugarska, Ukrajina) natjeralo na razvoj planova za zaštitu okoliša.

Osim neposrednih učinaka vala crvenog blata, postojala je i mogućnost kontaminacije mađarskih plovnih putova. Rijeka Torna prolazi kroz zahvaćeno područje, a radnici koji su radili na sanaciji ulijevali su tone gipsa u plovni put kako bi pokušali vezati mulj i spriječiti ga da se nastavi kretati nizvodno.

Dan nakon nesreće, državni tajnik za okoliš naredio je obustavu proizvodnje glinice u pogonu i obnovu brane. Mađarska vlada u početku je procijenila da će čišćenje trajati najmanje godinu dana i koštati desetke milijuna dolara. Do 12. listopada, nova brana bila je gotovo u cijelosti dovršena i tako su preostale količine crvenog mulja spriječene od izljeva (World Library Foundation, 2020).

6.2. Tvornica glinice u Obrovcu

Tvornica glinice u Obrovcu (Slika 6-12) izgrađena na velikom platou podno Velebita površine 5 hektara i počela je s radom 1978. godine. Uz tvorničko postrojenje s južne strane državne ceste D54 (Maslenica – Zaton Obrovački), izgrađena su i dva bazena za crveni mulj i otpadnu lužinu sa sjeverne strane ceste D54 i to veći i manji, međusobno odvojeni branom od 3m. Ovi su bazeni izgrađeni u poroznom krškom području. Glavni hidrološki element ovog područja je rijeka Zrmanja koja protječe kroz krški okoliš i predstavlja glavni izvor pitke vode cijelog drenažnog područja (Fiket et al., 2018).

Zbog nerentabilnosti proizvodnje i nedostatka vlastitih sirovina prestala je s radom 1981. g. Nakon prestanka rada tvornice nije se vodilo računa o sanaciji zaostalih količina sirovine i otpada unutar i izvan tvorničkog kruga. Veliki problem predstavljaju ogromne količine crvenog mulja, koji je "procurio" u rijeku Zrmanju te ostavio velik negativan utjecaj na okolno područje (Samokovlija i Dragičević, 2004).



Slika 6-12 Nekadašnja tvornica glinice u Obrovcu (Dakić, 2005.)

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je detaljno opisati teorijske osnove o boksitu, proces pridobivanja, oplemenjivanja, eksploatacije te upotrebe boksita te utjecaj eksploatacije na okoliš. Također su opisana najveće ležište u svijetu i u Republici Hrvatskoj. U radu je objašnjen proces proizvodnje aluminijske, gdje je boksit glavna komponenta, koji se sastoji od nekoliko koraka. Obradene su i ostale industrijske primjene boksita. Treba svakako izdvojiti njegovu široku primjenu u pridobivanju elemenata rijetkih zemalja koji se u današnjem svijetu sve više koriste u proizvodnji baterija za električne automobile. Osim navedenog, kao primjer utjecaja proizvodnje aluminijske iz boksita opisana je ekološka katastrofa u Ajki, te napuštena tvornica glinice u Obrovcu. S aspekta zaštite okoliša pridobivanje aluminijske može biti jako opasno što je prikazano na spomenutim primjerima ekološke katastrofe. Za zaključiti je da boksit kao industrijska sirovina ima i dalje svoju veliku upotrebu i potražnju. Uslijed proizvodnje aluminijske treba uzeti u obzir sve parametre kako bi se spriječile ponovne ekološke katastrofe poput Ajke.

8. LITERATURA

- BARDOSSY, G. 1982. *Karst Bauxites. Bauxite Deposits on Carbonate Rocks*. Amsterdam: Elsevier, str. 22-27.
- BARDOSSY, G., COMBES, P. J. 1995. *Karst bauxites: interfingering of deposition and palaeoweathering. Palaeoweathering, palaeosurfaces and related continental deposits*, str. 189-206.
- BUDEŠ, I., GALIĆ, I., i DRAGIČEVIĆ, I. 2018. *Istraživanje ležišta boksita iz podzemnih rudarskih radova*. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 33(3), str. 103-110.
- DOLIĆ, N., 2015. *Metalurgija aluminija*. Zagreb: Metalurški fakultet, str. 22-26.
- DURN, G., OTTNER, F., TIŠLJAR, J., MINDSZENTY, A. & BARUDŽIJA, U. 2003. *Regional subaerial unconformities in shallow-marine carbonate sequences of Istria: sedimentology, mineralogy, geochemistry and micromorphology of associated bauxites, palaeosols and pedo-sedimentary complexes*. In: Vlahović, I., Tišljarić, J. (Eds.), *Evolution of Depositional Environments from the Paleozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin*. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija, September 17–19, 2003, Field Trip Guidebook, 207–254.
- FARKAŠ, B. 2006. *Modeliranje boksitonosnog područja Vlasinje s konceptom novih istraživačkih radova*. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 62 str.
- FIKET Ž., KNIEWALD G. 2018b. *The Zrmanja River Estuary (Adriatic Coast, Croatia) – the Need for Interdisciplinary Approach to Protection of Coastal Areas*. Pomorski zbornik (2018) 55, str. 9-32.
- MARKOVIĆ, S., 2002. *Hrvatske mineralne sirovine*. Zagreb: Institut za geološka istraživanja, 544 str.
- MINDSZENTY, A. 2016: *Bauxites: Feedbacks of System Earth at Greenhouse times*. Geologia Croatica 69(1), str. 79–87.
- NUIĆ J. 2010. *Uvod u rudarstvo*. Zagreb: Vlastita naklada, str. 35-36.
- SAKAČ, K., MARUŠIĆ, R. & VUJEC, S. 1995. *The World's oldest bauxite mining*. – Travaux ICSOBA, 22, 81-98.

- SAMOKOVLJA DRAGIČEVIĆ, J. 2004. *Uklanjanje bivše tvornice glinice Jadral u Obrovcu*. Građevinar, 56 (2004) 10, str. 645- 648.
- SCHULTE, R.F. & FOLEY, N.K. 2014. *Compilation of gallium resource data for bauxite deposits* U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1272, 14 p.
- SHAFFER, J. W. 1983. *Bauxite Raw Materials*. In *Industrial Minerals and Rocks*, 5th edn., American Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineers, Vol. 1, pp. 503–527.
- SLOVENEČ, D. 2011. *Opća mineralogija*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 350
- ŠINKOVEC, B. 1988. *Rudna ležišta (rudišta)*. – U. Požar, H. (ed.): Tehnička enciklopedija, 11.- Jugoslavenski leksikografski zavod „Miroslav Krleža“, Zagreb, p.p. 696-705.
- ŠINKOVEC, B., SAKAČ K., DURN G. 1994. *Pyritized bauxites from Minjera, Istria, Croatia*. Zagreb: Hrvatski prirodoslovni muzej, str. 56-57
- TABEREAUX, A., 2010. *Hungarian red mud disaster: Addressing environmental liabilities of alumina residue storage & disposal*. Light Metal Age. 68. 22-24
- VRKLJAN, D. 2019. *Zaštita hrvatske rudarsko geološke materijalne baštine*. Zagreb: Rudarsko geološko naftni fakultet, str. 485-500

WEB IZVORI

- ALUMINUM-PRODUCTION, 2009. *The Aluminum Smelting Process*. URL: http://www.aluminum-production.com/process_basics.html (20.7.2020.)
- ASTER, N. 2018. Market Publishers. *World's Leading Bauxite Mining Countries*. URL: <https://marketpublishers.com/lists/23959/news.html> (8.9.2020.)
- BOŽIČEVIĆ, S. 2018. Istarska internetska enciklopedija. *Minjera*. URL: <https://www.istrapedia.hr/hr/natuknice/3535/minjera> (8.9.2020.)
- DAKIĆ, M. 2005. Geografija.hr. *Glinica Obrovac*. URL: <https://www.geografija.hr/hrvatska/glinica-obrovac/> (8.9.2020)

- DURN, G., MILEUSNIĆ, M. 2020. *Bauxite : Croatian national mineral*. URL: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:050710> (18.9.2020)
- KING, H., M. 2020. Geology and Earth Science News and Information. *Bauxite*. URL: <https://geology.com/minerals/bauxite.shtml> (2.8.2020)
- MERCHANT RESEARCH & CONSULTING, LTD, 2020. *Bauxite and Alumina: 2020 World Market Review and Forecast to 2029*. URL: <https://mcgroup.co.uk/researches/bauxite-and-alumina> (5.8.2020)
- MININGLINK, 2019. *Huntly*. URL: <http://mininglink.com.au/site/huntly> (7.9.2020.)
- RUDNICI BOKSITA JAJCE, 2020. *Poljane*. URL: <http://rudniciboksitajajce.com/en/poljane/> (10.9.2020)
- THE ALUMINIUM ASSOCIATION, 2020. *Alumina refining*. URL: <https://www.aluminum.org/industries/production/alumina-refining> (10.8.2020)
- THE INTERNATIONAL ALUMINUM INSTITUTE (IAI), 2018. *Refining process*. URL: <http://bauxite.world-aluminium.org/refining/process/> (20.7.2020.)
- UC RUSAL, 2020. *All about aluminium*. URL: https://www.aluminiumleader.com/production/how_aluminium_is_produced/ (8.9.2020.)
- WORLD LIBRARY FOUNDATION, 2020., *Ajka alumina plant accident*. URL: http://self.gutenberg.org/articles/Ajka_alumina_plant_accident (9.9.2020.)
- WORLD LIBRARY FOUNDATION, 2020. *Red mud*. URL: http://self.gutenberg.org/articles/eng/Red_mud (8.9.2020.)