

**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**Tehnološko-metalurški fakultet**

**MAGISTARSKI RAD**

**BORIS K. KRSTEV dipl. ing.**

**Beograd, 1981**

UNIVERZITET U BEOGRADU

TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

Tema: EKSPERIMENTALNE MOGUĆNOSTI KONCENTRACIJE  
NIKLA IZ RUDA LOKALITETA "RUDJINCI" I "RŽANOVO"  
PROCESOM SEGREGACIJE

- magistarski rad -

Kandidat,

KRSTEV K. BORIS, dipl.ing.

Članovi komisije:

1. Dr.ing. DUŠAN VUČUROVIĆ, red. prof.
2. Dr.ing. ILIJA ILIĆ, vanred. prof.
3. Dr.ing. DRAGAN SINADINović, docent

B e o g r a d , 1981 god.

## S A D R Ž A J

U V O D .....	1
1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE METALNOG NIKLA .....	4
2. INDUSTRIJA NIKLA U SVETU I KOD NAS .....	6
3. SIROVINSKA BAZA NIKLA U SFRJ .....	9
3.1 Endogena ležišta i pojave Ni ruda .....	9
3.1.1 Likvacione pojave nikla .....	9
3.1.2 Kristalni segregati izdvajanja .....	10
3.1.3 Hidrotermalne pojave .....	10
3.2 Egzogena ležišta i pojave Ni ruda .....	10
3.2.1 Lateritska-silikatna ležišta i pojave .....	10
3.2.2 Pretaložena lateritska ležišta .....	11
4. POSTUPCI ZA DOBIJANJE NIKLA IZ SIROMAŠNIH RUDA .....	12
4.1 Hidrometalurški postupci .....	12
4.1.1 Amonijačno luženje-Nicaró postupak .....	14
4.1.2 Amonijačni Sheritt Gordon postupak .....	15
4.2 Pirometalurški postupci .....	16
4.2.1 Postupak za preradu železo-niklonosnih ruda topljenjem do feronikla-Topionica FENI .....	16
4.3 Segregacioni postupak .....	17
5. FIZIČKO-HEMIJSKI USLOVI ZA PRIMENU PROCESA SEGREGACIJE .....	18
5.1 Napon pare hlorida .....	18
5.2 Slobodna energija stvaranja hlorida .....	20
5.3 Hidroliza hlorida .....	21
5.4 Redukcija hlorida vodonikom .....	22

6. TERMODINAMIČKA ANALIZA PROCESA SEGREGACIJE .....	22
6.1 Hidroliza reagenasa za hlorovanje .....	23
6.2 Hlorovanje oksida metala .....	24
6.3 Hlorovanje u prisustvu reducenta .....	25
6.4 Redukcija metalnih hlorida .....	27
6.5 Redukcija metalnih oksida .....	28
6.6 Taloženje redukovanog metala .....	29
7. UTICAJ RAZLIČITIH PARAMETARA NA PROCES SEGREGACIJE NIKLA .....	30
7.1 Uticaj vrste rude .....	30
7.2 Uticaj temperature i vremena .....	30
7.3 Uticaj vodene pare .....	31
7.4 Uticaj reagenasa za hlorovanje .....	32
7.5 Uticaj reducenta .....	33
7.6 Uticaj železa .....	34
8. MEHANIZAM PROCESA SEGREGACIJE NIKLA .....	34
8.1 Odredjivanje parametara za povećanje metalnog nikla dobivenog segregacijom .....	37
9. METODE KONCENTRACIJE SEGREGIRANOG NIKLA .....	41
9.1 Flotacijska koncentracija .....	41
9.1.1 Uticaj koncentracije jona bakra na brzinu reakcije cementacije Ni-praha .....	42
9.1.2 Uticaj raznih jona na brzinu cementacije Ni-praha .....	43
9.1.3 Uticaj temperature pulpe na brzinu cementacije Ni-praha .....	44
9.1.4 Uticaj koksa u pulpi .....	45
9.1.5 Uticaj temperature prženja na flotaciju ....	46
9.1.6 Uticaj koksa i $\text{CaCl}_2$ na sadržaj Ni u flotacionom koncentratu .....	48
9.1.7 Uticaj pH vrednosti pulpe .....	48

9.2	Magnetna koncentracija .....	48
9.2.1	Uticaj raznih parametara na pokazatelje magnetne koncentracije .....	50
10.	KOMBINOVANI METODI OBOGAĆENJA OKSIDNO-SILIKATNIH NIKLONOSNIH RUDA .....	55
10.1	Radovi sovjetskih naučnjaka .....	55
10.2	Poluindustrijsko postrojenje za segregaciono prženje oksidnih niklonosnih ruda .....	59
11.	EKSPERIMENTALNE MOGUĆNOSTI KONCENTRACIJE NIKLA IZ RUDA LOKALITETA "Rudjinci" i "Ržanovo" PROCESOM SEGREGACIJE .....	67
11.1	Osnovne karakteristike i sastav ruda korišćenih pri eksperimentima .....	67
11.2	Segregaciono prženje .....	71
11.2.1	Flotacijska koncentracija .....	73
11.2.2	Magnetna koncentracija .....	88
11.3	Ispitivanje mogućnosti direktnog tretiranja segregirane rude metodom magnetne koncentracije i luženjem .....	113
	ZAKLJUČCI ANALIZE SEGREGACIJE NIKLA .....	118
	LITERATURA .....	123

## U V O D

Nikl pripada grupi retkih elemenata u zemljinoj kori (prosečan sadržaj iznosi 0,02% ) i prema svojoj rasprostranjenosti u odnosu na ostale elemente, zauzima 24 mesto (1). Nikl se međutim pojavljuje u većem broju minerala.

Osnovna podela niklovih ruda može da se izvrši prema načinu pojavljivanja nikla i to na sulfidne bakronosne - niklove rude i silikatene rude nikla.

Sadržaj ni u eksplotabilnim ležištima je nizak ali se smatra da je kod kompleksnim sulfidnih bakronosno-niklovih ruda, najniži ekonomski sadržaj oko 0,3% Ni, a kod silikatnih oko 0,6% Ni. Svakako da u oceni ekonomskog sadržaja Ni vidnu ulogu imaju zadržaj ostalih korisnih komponenata (Cu, Co), koji se mogu valorizirati kroz izdvajanje u posebne ili kolektivne koncentrate, kao i ostale komponente u sirovini od značaja uz dalju preradu.

Nikl metal poseduje čitav niz izvanrednih osobina, zbog kojih ima ogromnu primenu u industriji. Prema opštoj proceni oko 80% nikla se troši u metalurgiji za legiranje sa drugim metalima. Osnovna svojstva koja ovom metalu daju veliku primenu i upotrebu jesu: elastičnost, kovnost, relativno visoka topivost, izražena tvrdoća, lako se mehanički obradjuje, hemiski stabilan i na vazduhu ne oksidira do temperature od 500 °C, magnetičan do temperature od 350 °C i kao izuzetnu industrijsku vrednost-jeste se lako legira.

Bogate rude koje sadrže preko 2% Ni se u mnogim slučajevima direktno metalurški preradjuju bez predhodno koncentracije, međutim u većini slučajeva (misli se na složene sulfidne rude nikla) ove se rude predhodno pripremaju i samo koncentratu šalju u proces dalje metalurške prerade. To nije uslovljeno samo sadržajem Ni u sirovini, već i sadržajem ostalih elemenata, koji se postupkom koncentracije mogu valorizovati.

Kod sulfidnih ruda, odnosno koncentrata dobijenih iz ovih vrsta sirovina, kao najštetnije komponente su olovo, cink, bizmut i arsen, pri čemu je naročito štetno olovo čije prisustvo i u hiljaditim delovima procenata, može imati negativan uticaj na kvalitet nikl metala.

Prisustvo Mgo utiče značajno na povećanje temperature topljenja, te se smatra da su proizvodi sa 2-5% Mgo dobri, a sa 5-9% zadovoljavajući. Viši

sadržaj MgO od ovoga iziskuje veliko povećanje goriva ili električne energije, kao i nove količine topitelja.

Prisustvo  $Al_2O_3$  se ne smatra štetnim, ali sadržaj iznad 12% zahteva više temperature za topljenje. Slično je i sa sadržajem  $SiO_2$ , te se kod kvalitetnih proizvoda njegov udeo limitira do 30%. Prisustvo železa povećava topljivost te se zahteva da je njegov sadržaj iznad sadržaja  $SiO_2$ . Smatra se najpovoljnijim da ruda sadrži 35-40%Fe.

Iako je poznato da se danas najveće količine Ni dobijaju iz sulfidnih ruda (oko 65+), ipak naučnjaci od prvih dana metalurgije nikla ispituju mogućnost dobijanja ovog metala iz siromašnih ležišta <sup>(2)</sup>.

Lateriti sadrže železo, nikel, kobalt, hrom i druge komponente. Nikel je u lateritu spojen sa limonitom i nemoguće ga je izdvojiti primenom klasičnih metoda koncentracije. Naučna istraživanja se odnose na pokušaj da se nadju ekonomične metode za prevodjenje nikla u pogodno jedinjenje za mehaničku separaciju, ili da se prevede u jedinjenje pogodno za uobičajenu metaluršku preradu. Jedna od tih metoda je i S E G R E G A C I O N O prženje ovih ruda.

Proces segregacije uključuje složeni mehanizam i redoks reakcija, kao: izdvajanje gasovitog hlorovodonika iz čvrstog hlorida, reakciju hlorovodonika sa rudom, pri čemu se obrazuju hloridi metala, a zatim njihovu redukciju i taloženje ili na površini čvrstog reducenta ili na nekom od minerala u rudi <sup>(3)</sup>.

Proces segregacije predstavlja novi način prerade siromašnih ruda. Industrijska primena ovog procesa je moguća na bakarnim rudama, međutim, primena ovog procesa za preradu siromašnih niklonosnih ruda još zahteva određena ispitivanja, koja bi omogućila da se otklone i razjasne određene nepovoljne termodinamičke i kinetičke karakteristike, visoke radne temperature i velika deficitarnost reagenasa.

Svetska proizvodnja nikla metala nalazi se već duži niz godina u stalnom porastu. Izraženo u Ni-metalu u rudi 1961 godine proizvedeno je oko 380.000t, dok je 1971 godine proizvedeno 670.000t. Najveći svetski proizvođač nikla u rudi je Kanada. Ostali veliki proizvođači nikla su Nova Kaledonija i SSSR. U ostale proizvođače nikla spadaju Kuba, Australija, Indonezija, SAD, Grčka i Južnoafrička Republika.

Naša proizvodnja trebala bi da iznosi 28.500t. Ržanovo 16.500t. i Goleš 12.000t. dok naše potrebe se cene da će biti 6.000t godišnje.

Jugoslovenske niklonosne rude se prostiru od Zagrebačke gore, preko srednjeg dela zemlje, do Grčke i Albanske granice. Najvažnije su zone: Zlatiborska, šumadijska, kosovska i makedonska. U zlatiborskoj zoni poznato je ležište "Mokra Gora" sa 0.65-1%Ni, sa vrlo velikim rezervama rude, u šumadijskoj zoni ležište "Lipovac", sa oko 1-1,4%Ni, u makedonskoj zoni ležište "Ržanovo", sa rezervama oko 100 miliona tona sa oko 1%Ni i kosovska zona u kojoj je najpoznatije ležište "Goleš", sa oko 1,3%Ni.

U ovom majstarskom radu će biti razmatrana mogućnost koncentracije nikla iz rudnih ležišta "Rudjinci" i "Rdžanovo", kombinovanih procesom SEGREGACIJA-FLOTACIJA-MAGNETNA KONCENTRACIJA, a takodje i metode SEGREGACIJA-MAGNETNA KONCENTRACIJA i SEGREGACIJA-LUŽENJE rude ležišta "Rudjinci".



11. EKSPERIMENTALNE MOGUĆNOSTI KONCENTRACIJE  
 NIKLA IZ RUDA LOKALITETA "RUDJINCI" I  
 "RŽANOVO" PROCESOM SEGREGACIJE

Osnovni zadatak ovog eksperimentalnog rada je ispitivanje pojedinih parametara, kao i mogućnost primene pojedinih metoda za koncentraciju nikla nakon segregacionog prženja (FLOTACIJSKA i MAGNETNA KONCENTRACIJA) na rudama iz lokaliteta "Rudjinci" i "Ržanovo".

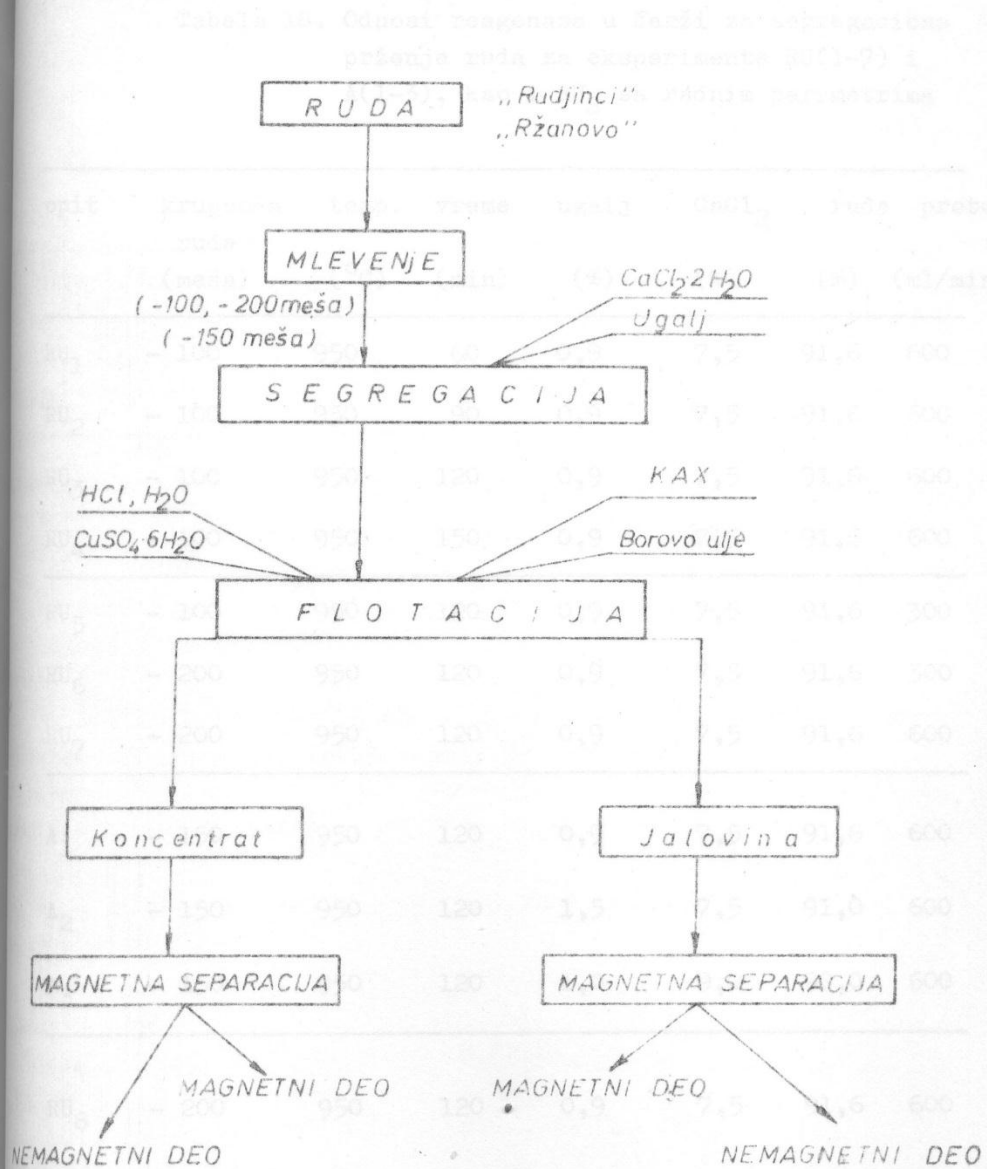
Osnovna i principijalna šema eksperimentalnih ispitivanja data je na slici 32., dok odnos reagenasa pri samom ispitivanju dato je u tabeli 18.

11.1 Osnovne karakteristike i sastav ruda  
 korišćenih pri eksperimentima

Lokalitet "Rudjinci" je lateritsko-silikatno ležište čija ruda je predstavljena glinovito-zemljastim materijalom sa visokim sadržajem vlage od 25-30%. U sastav rude ulaze sledeći minerali:

- Nontronit  $0,5 \text{ NiO} \cdot (\text{Al} \cdot \text{Fe})_2 \text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Pimelit  $(\text{Ni} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Al}) \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Ni-montmorijonit
- Fe - oksidi
- Bravoit  $(\text{Ni} \cdot \text{Fe})\text{S}_2$
- Pirit  $\text{FeS}_2$
- Markasit  $\text{FeS}_2$
- Halkopirit  $\text{CuFeS}_2$
- i drugi minerali

Slika 32. Principijalna šema eksperimentalnih ispitivanja ruda "Rudjinci" i "Ržanovo"



Broj obrtaja rotacione peći = 2,5 °/min

Slika 32. Principijalna šema eksperimentalnih ispitivanja ruda "Rudjinci" i "Ržanovo"

Hemijski sastav ispitivane rude u eksperimentima RU(1-8)  
 Tabela 18. Odnosi reagenasa u šarži za segregaciono  
 prženje ruda za eksperimente RU(1-7) i  
 A(1-3), kao i RU<sub>8</sub> sa radnim parametrima

opit	krupnoća rude (meša)	temp. (°C)	vreme (min)	ugalj (%)	CaCl <sub>2</sub> (%)	ruda (%)	protok (ml/min)
RU <sub>1</sub>	- 100	950	60	0,9	7,5	91,6	600
RU <sub>2</sub>	- 100	950	90	0,9	7,5	91,6	600
RU <sub>3</sub>	- 100	950	120	0,9	7,5	91,6	600
RU <sub>4</sub>	- 100	950	150	0,9	7,5	91,6	600
RU <sub>5</sub>	- 100	950	120	0,9	7,5	91,6	300
RU <sub>6</sub>	- 200	950	120	0,9	7,5	91,6	300
RU <sub>7</sub>	- 200	950	120	0,9	7,5	91,6	600
A <sub>1</sub>	- 150	950	120	0,9	7,5	91,6	600
A <sub>2</sub>	- 150	950	120	1,5	7,5	91,0	600
A <sub>3</sub>	- 150	950	120	1,0	9,0	90,0	600
RU <sub>8</sub>	- 200	950	120	0,9	7,5	91,6	600

Broj obrtaja rotacione peći = 2,5 °/min

Mlevenje posle segregacije = 60 min

Hemijski sastav ispitivane rude u eksperimentima RU(1-8) dat je u tabeli 19.

Tabela 19. Hemijski sastav rude lokaliteta "Rudjinci"

Ni	Fe	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1,20	14,2	55,4	0,97	0,74	4,49	2,98

Radi pripreme za segregaciono prženje, ruda je mlevena u mlinu sa kuglama do krupnoće -100 meša (100%) i -200 meša (100%), a zatim sušena u sušnici na temperaturi od 105°C. Upotrebljeni reagensi ugalj i kalcijum-hlorid su krupnoće ispod 1 mm i osušeni.

Lokalitet "Ržanovo" je pretaloženo lateritsko ležište čiji mineraloški sastav je sledeći:

- Hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
- Magnetit  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{H}_2\text{O}$
- Hromit  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$
- T a l k  $\text{H}_2\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$
- O k s i d i  $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2$
- K a r b o n a t i  $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3, \text{GeCO}_3$
- Silikati nikla  $x/\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2) / n\text{H}_2\text{O}$
- Serpentin  $\text{Mg}_6(\text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$  i sulfidi

Hemijski sastav ispitivane rude u eksperimentima A(1-3) dat je u tabeli 20.

Tabela 20. Hemijski sastav rude lokaliteta "Ržanovo"

Ni	Fe	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1,07	32,33	29,1	2,4	1,4	12,0	2,80

Radi pripreme za segregaciono prženje, ruda je mlevena u mlinu sa kuglama do krupnoće -150 meša (100%), a zatim sušena u sušnici do temperature od 105°C. Upotrebljeni reagensi ugallj i kalcijum-hlorid su krupnoće ispod 1mm i osušeni.

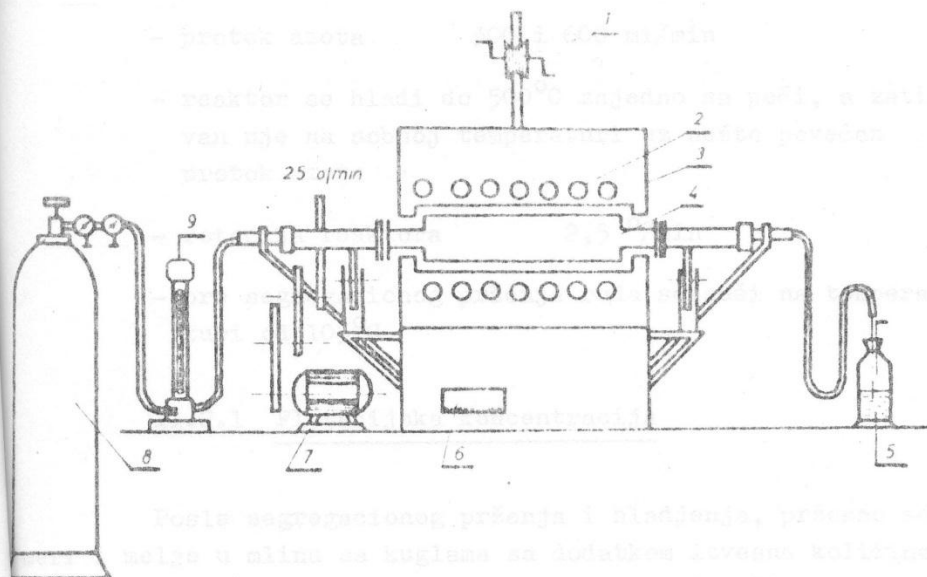
Postupak prerade ruda radi dobijanja nikla možemo ga grupisati u tri sukcesivne faze koje proističu iz same principijalne šeme sa slike 32. :

- Segregaciono prženje
- Flotacijska koncentracija
- Magnetna koncentracija

#### 11.2 Segregaciono prženje

Samlevena i osušena ruda se dobro pomeša sa kalcijum-hloridom i ugljem u datom odnosu i postavljaju se u horizontalnu rotacionu peć, prikazanoj na slici 33.

Sam reaktor rotacione peći je cev od vatrootpornog materijala-čelika, čija je ukupna dužina 990 mm, a dužina reakcionog prostora 490 mm. Obrtanje reaktora se vrši pomoću



Slika 33. Horizontalna rotaciona peć

ančanog prenosnika, a regulisanje temperature se vrši automatski pomoću termoelementa. Horizontalna rotaciona peć ima uređaj za automatsko okretanje (1), električno grejanje (2,3), uređaj za prikupljanje i analizu izlaznog gasa (5), uređaj za automatsku regulaciju temperature (6) i uređaj za doziranje i prečišćavanje ulaznog inertnog gasa (9).

Segregaciono prženje je vršeno pri sledećim uslovi-

- temperatura prženja  $950^{\circ}\text{C}$
- vreme prženja 60, 90, 120 i 150 min
- brzina zagrevanja  $27^{\circ}\text{C}/\text{min}$

- vreme hladjenja 90 min
- protok azota 300 i 600 ml/min
- reaktor se hladi do  $500^{\circ}\text{C}$  zajedno sa peći, a zatim van nje na sobnoj temperaturi uz nešto povećan protok azota
- rotacija reaktora  $2,5^{\circ}/\text{min}$
- pre segregacionog prženja ruda se suši na temperaturi od  $105^{\circ}\text{C}$

#### 11.2.1 Flotacijska koncentracija

Posle segregacionog prženja i hladjenja, prženac se meri i melje u mlinu sa kuglama sa dodatkom izvesne količine vode od oko 300 ml u trajanju od 60 minuta. Sadržina iz mlina se preliiva u posudu za flotacijsku koncentraciju i vrši flotiranje.

Flotacijska koncentracija se vrši u flotacionoj mašini tipa "DENVER". Tok flotacijske koncentracije se sastoji iz dodavanja vruće vode ( $60^{\circ}\text{C}$ ) u flotacionu posudu u kojoj se nalazi prženac, kondicioniranje se vrši u vremenu od 30 min uz dodatak 0,5 gr.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , kao aktivatora, pri  $\text{pH}=5,5-6$  (reguliše se dodatkom oko 4 ml  $\text{HCl}$ ) i pri  $1200^{\circ}/\text{min}$ . Nakon kondicioniranja dodaje se kolektor (rastvor koji sadrži 0,5gr kalijumamilksantata na 50 ml destilovane vode) i penušač (nekoliko kapi borovog ulja), povećava se broj obrtaja flotacijske mašine na  $1800^{\circ}/\text{min}$ , dovodi se vazduh i tada počinje flotacija koja traje 14 minuta.

Način dodavanja flotacijskih reagenasa, odnosno kolektora i penušača tabelarno je prikazano na sledećoj tabeli 21.

Tabela 21.

vreme (min)	kolektor (ml)	penušač (kapi)
0	10	4
5	10	2
10	5	po potrebi
14	kraj	kraj

Flotacijskom koncentracijom se dobija koncentrata i jalovina, koji se suše u sušnici na temperaturi od 105°C, a zatim se kvantitativno određuje nikl metodom Tshgaeff-Brunsk, kojom se nikl iz slabo amonijačnih ili slabo kiselih rastvora taloži sa dimetilgliksomom u obliku kristalnog ali voluminoznog taloga nikl-dimetilgliksima.

Za određivanje železa korišćena je metoda Zimmerman-Reinhardt koja se sastoji u redukciji rastvora ferihlorida ( $\text{FeCl}_3$ ) sa stanchloridom ( $\text{SnCl}_2$ ), na temperaturama ključanja i uz oksidaciju fero u feri jone ( $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ ) sa kalijumpermanganatom u kiseloj sredini.

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja za kombinovanu metodu SEGREGACIJA - FLOTACIJSKA KONCENTRACIJA na rudama lokaliteta "Rudjinci" i "Ržanovo" serije RU(1-7) i A(1-3) dati su u tabelama 22-31, a grafički prikaz uticaja pojedinih parametara, posebno vreme segregacionog prženja, i njihov uticaj na sadržaj nikla u koncentratu i iskorišćenje nikla u koncentratu dati su na slikama 34 i 35.



## ZAKLJUČCI ANALIZE PROCESA SEGREGACIJE NIKLA

- Proces segregacije nikla je jedan od najnovijih metoda za tretiranje oksidno-silikatnih niklonosnih ruda. Ovim postupkom zagrevanjem rude sa dodatkom uglja i kalcijum-hlorida izdvajaju se zrna metalnog nikla koji imaju prečnik od 1 do 5 mikrona<sup>(20)</sup>.
- Komplikovanost ovog procesa je u tome što su uslovi koji su pogodni za segregaciju nikla, istovremeno su pogodni i za sporedne reakcije.
- Proces segregacije se može primeniti kod ruda i minerala koji daju lako isparljive hloride i oksihloride.
- Proces segregacije nikla iziskuje potrebu za hlorirajuće reagense, a kalcijum-hlorid se pokazao kao efikasniji od natrijum-hlorida.
- Kalcijum-hlorid omogućuje stvaranje fajalita u železo-niklonosnim rudama, koje je povezano sa istiskivanjem nikl-oksida iz silikatne osnove čime je nikl-oxid lakše pristupačan za hlorovanje.
- Pri malim koncentracijama soli za hlorovanje moguće je da se sav metal ne prevede u hlorid, jer postoji mogućnost gubitka reagensa za hlorovanje u toku procesa segregacije. Pri velikoj koncentraciji efikasnost segregacije opada, a uzrok tome je verovatna međusobna rastvorljivost osnovnog hlorida i hlorida koji nastaje.
- Na niskim temperaturama segregacije transport

- Stabilnost nikl-hlorida i železo-hlorida se preklapa tako da je selektivna segregacija nikla od železa skoro nemoguća.
- Na visokim temperaturama transport nikla i železa odvija se u obliku hlorovodoničnih kompleksa.
- Negativni uticaj vodene pare, koja se nalazi u oksidno-silikatnim niklonosnim rudama, se smanjuje povećanjem koncentracije hlorovodonika<sup>(30)</sup>.
- Temperatura segregacije nikla zavisi od prisutva hlorovodonika<sup>(31)</sup>.
- U procesu segregacije nikl se redukuje sa vodonikom, a ne sa ugljenmonoksidom.
- Veliki uticaj na hlorovanje oksidno-silikatnih niklovih jedinjenja imaju prisutni reducenti.
- Najlakše se hloruju sulfidi nikla, zatim feriti, oksidi i silikati.
- Proces segregacije ne nastaje u slučaju zagrevanja smeše rude i soli u atmosferi koja sadrži ugljenmonoksid.
- Za proces segregacije su najpogodnije garnijeritne i lateritne rude sa visokim sadržajem magnezijuma i silicijuma, a najnepogodnije su one rude koje sadrže veliku količinu železa.
- Temperatura procesa segregacije se kreće u intervalu od 950-1200°C.
- Vreme segregacionog prženja pri optimalnoj temperaturi segregacije je različito i kreće se od 30-150 minuta.
- Na niskim temperaturama segregacije transport odvoje od gasovitog HCl.

metalnog redukovanog nikla je po površini ili na granici zrna<sup>(20)</sup>.

- Na visokim temperaturama transport metalnog redukovanog nikla je isparavanjem i kondenzacijom.
- Sa povećanjem temperature dolazi do spajanja zrna metalnog nikla sfernog oblika, čija površina iznosi oko 10 mikrona<sup>2</sup>.
- Spajanje metalnih niklovih zrna je prouzrokovano tendencijom za smanjenje slobodne energije sistema putem smanjenja površine.
- Za rešavanje problema atmosfere, segregaciono prženje oksidno-silikatnih niklonosnih ruda je izvršeno u poluindustrijskim uslovima u specijalnoj opremi gde nije primenjen metod unutrašnjeg ili spoljašnjeg zagrevanja, već autogeno zagrevanje<sup>(25)</sup>.
- Segregaciono prženje toplo kalcinisanе rude je dalo zadovoljavajuće rezultate pri sledećim uslovima:
 

temperatura prženja	900°C
vreme prženja	5 h
količina CaCl <sub>2</sub>	2,5 %
koks i antracit	2,7 %

 pri čemu se dobija sadržaj Ni u koncentratu od 20,4-42,7% Ni, dok iskorišćenje nikla u koncentratu iznosi od 92-96%.
- Segregirana ruda je tretirana mokrim magnetnim koncentratorom tipa Davis Tube (7000G) i dobijeno je iskorišćenje nikla više od 95%.
- Smatra se da su gubici nikla zbog rastvaranja niklovih hlorida u vodi jer nisu mogli da se odvoje od gasovitog HCl.

- U slučaju industrijalizacije peć treba da bude u prečniku od 10m, a potrošnja rude od 50 t/h i potrošnja energije od 150 kWh/t suve rude.
- HCl u ispusnom gasu treba da se dobije u obliku  $\text{CaCl}_2$ . Ostali gasovi kao što su CO i  $\text{H}_2$  se koriste za sagorevanje u rotacionoj peći gde se ruda kalcinira.
- Jalovinu nakon mokre magnetne koncentracije potrebno je dalje tretirati zbog kompletne valorizacije komponenata.<sup>(25)</sup>
- Uticaj pojedinih parametara na pokazatelje magnetne koncentracije je pokazao da porast odnosa  $\text{CO}_2:\text{CO}$  povećava odvajanje nikla od železa, dok vodena para smanjuje i sadržaj i iskorišćenje nikla u magnetnom koncentratu. Isto tako se pokazalo da je optimalna temperatura koja pospešuje segregaciju, temperatura od 1000-1050°C.
- Na osnovu eksperimentalnih rezultata ispitivanja rude lokaliteta "Rudjinci" tretiranom kombinovanom metodom segregacija - flotacija može se zaključiti da je maksimalno dobijeni sadržaj nikla u koncentratu 9,9% Ni, dok je maksimalno iskorišćenje nikla u koncentratu 40,8%.
- Vrlo lako se može uočiti da je raspodela železa u flotacijskom koncentratu veoma mala, što znači da železo prilikom flotacijske koncentracije ide u jalovinu i to procentualno izraženo 77,4-88,8%.
- Proces segregacija - flotacija na rudi lokaliteta "Ržanovo" nije uspešan. Sadržaj nikla i iskorišćenje nikla u koncentratu iznosi 1,23-2,15% Ni, odnosno 10,0-21,1%. Jedini razlog tome je najverovatniji taj što ova ruda ima mnogo železa.

- Kombinovana metoda tretiranja flotacijskih koncentrata segregirane rude lokaliteta "Rudjinci" magnetnom koncentracijom je dalo vrlo dobre rezultate i to sadržaj nikla u koncentratu od 47,5-73,5% Ni i iskorišćenje nikla u koncentratu od 63,1-96,6%.
- Na osnovu svih dobijenih rezultata može se reći da magnetnom koncentracijom dobijamo veoma bogate koncentrate nikla iz flotacijskih koncentrata segregirane rude lokaliteta "Rudjinci" (nije slučaj to i sa rudom lokaliteta "Ržanovo"), dok veći deo železa prelazi u jalovinski deo.
- Kombinovanom metodom tretiranja rude lokaliteta "Rudjinci", odnosno metodom segregacija - magnetna koncentracija se dobija koncentrat sa sadržajem nikla od 18,5% Ni, dok je iskorišćenje nikla u samom koncentratu 61,1%.
- Na osnovu ovog dobijenog rezultata, a uzimajući u obzir i sva dosadašnja proučavanja kombinovanih metoda tretiranja oksidno-silikatnih nikloznih ruda, mora se produžiti sa daljim ispitivanjem promenom različitih parametara koji utiču na sam proces segregacije, a isto tako i na metode koncentracije kao što su flotacijska i magnetna koncentracija.

Mineral Process Eng., Metall., 1971, No. Sept. 1971, pp C 156-169

1. 11. 1.

Doktorska disertacija, 1970

2. 11. 1.

Etude de concentration des minerais de nickel par flottation  
à l'Arkocott en Mauritanie. Rev. Ind. Minier., 1970, No. 1, pp 1-10