

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO –METALURŠKI FAKULTET

DOKTORSKA DISERTACIJA

***“PRILOG PROUCAVANJU PROCESA SEGREGACIONOG
PRZENJA U CILJU EKSTRAKCIJE NIKLA IZ OKSIDNO –
SILIKATNIH NIKLONOSNIH RUDA”***

M-R ING. BORIS KRSTEV

BEOGRAD 1987

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO - METALURŠKI FAKULTET

Doktorska disertacija

" PRILOG PROUČAVANJU PROCESA SEGREGACIONOG PRŽENJA
U CILJU EKSTRAKCIJE NIKLA IZ OKSIDNO-SILIKATNIH
NIKLOSNIH RUDA "

Mr ing BORIS KRSTEV

- BEOGRAD - 1987

| | | |
|-------|--|-----|
| 8. | STANJE ISTRAŽIVANJA PROCESA SEGREGACIJE KOD POJEDINI METALNIH JEDINJENJA BAKRA I NIKLA I PRIRODNIH OKSIDNO- SILIKATNIH RUDA | 59 |
| 8.1 | U v o d | 59 |
| 8.2 | Stanje tehnoloških istraživanja primene procesa segrega- cije kod bakarnih jedinjenja i prirodnih oksidno-silika- tnih ruda bakra | 66 |
| 8.3 | Stanje tehnoloških istraživanja primene procesa segrega- cije niklovih jedinjenja i prirodnih oksidno-silikatnih niklonosnih ruda | 75 |
| 8.4 | Stanje tehnoloških istraživanja i perspektiva primene procesu segregacije ruda ostalih metala i kompleksnih mineralnih sirovina | 83 |
| 8.5 | Stanje tehnoloških istraživanja primene procesa segrega- cije niklonosnih ruda jugoslovenskih lokaliteta | 85 |
| 8.5.1 | Istraživanje mogućnosti primene procesa segregacije niklonosne rude lokaliteta "lipovac" | 86 |
| 8.5.2 | Istraživanje mogućnosti primene procesa segregacije niklonosne rude lokaliteta "Goleš" | 90 |
| 8.5.3 | Istraživanje mogućnosti primene procesa segregacije niklonosne rude lokaliteta "Rudinci" | 92 |
| 9. | PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH REZULTATA ISPITIVANJA PROCESA SEGREGACIJE-FLOTACIJE-MAGNETSKE KONCENTRACIJE RUDA LOKALITETA "RUDINCI", "ČIKATOVO" I "STUDENA VODA" | |
| 9.1 | U v o d | 99 |
| 9.2 | Segregacijsko prženje ruda | 101 |
| 9.3 | Flotacijska i magnetska koncentracija | 102 |
| 9.4 | Prikaz rezultata ispitivanja kombinovanih procesa segregacija-flotacija, odnosno segregacija-magnetska koncentracija rude lokaliteta "Rudinci" | 104 |
| 9.5 | Prikaz rezultata ispitivanja kombinovanih procesa segregacija-flotacija rude lokaliteta "Čikatovo" | 114 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 9.6 | Prikaz rezultata ispitivanja kombinovanih procesa segregacija-flotacija rude lokaliteta "Studena voda" | 118 |
| 9.7 | Diskusija dobijenih rezultata | 121 |
| 10. | PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH REZULTATA ISPITIVANJA PROCESA SEGREGACIJE NIKLOVIH JEDINJENJA BEZ I SA DODATCIMA | 127 |
| 10.1 | U v o d | 127 |
| 10.2 | Termodinamička analiza procesa segregacije niklovih jedinjenja bez i u prisustvu dodataka aktivatora | 128 |
| 10.3 | Eksperimentalni rezultati procesa segregacije niklovih jedinjenja bez i u prisustvu dodataka aktivatora | 135 |
| 10.3.1 | Metodika rada | 135 |
| 10.3.2 | Karakteristika ispitivanih proba sintetičkih smeša | 137 |
| 10.4 | Analiza eksperimentalnih rezultata ispitivanja procesa hlorovanja nikloksida u procesu segregacije bez i u prisustvu dodataka aktivatora | 140 |
| 10.4.1 | Kinetičke karakteristike procesa hlorovanja nikloksida u procesu segregacije bez i u prisustvu dodataka | 165 |
| 10.5 | Analiza eksperimentalnih rezultata ispitivanja procesa hlorovanja niklsilikata i niklferita u procesu segregacije u prisustvu dodatka aktivatora | 189 |
| 10.5.1 | Kinetičke karakteristike procesa hlorovanja niklsilikata i niklferita u procesu segregacije u prisustvu dodatka | 199 |
| 10.6 | Diskusija dobijenih rezultata | 205 |
| 11. | Z a k l j u č a k | 212 |
| | L i t e r a t u r a | 217 |

1. U V O D

Velika raznovrsnost upotrebe nikla u proizvodnji legura, legiranih nerđajućih, vatrostalnih, konstrukcionih, magnetnih čelika i slično, zatim upotreba u energetici i hemijskoj industriji, avijaciji, elektronici, atomskoj i kosmičkoj tehnici za uizradu reaktivnih i gasnih motora, uređaja za organsku sintezu i drugim granama, kao što su dekorativni delovi u automobilskoj i mašinskoj industriji, instrumentalnoj i toplotnoj tehnici i slično, uslovljavaju njegov položaj i strategijski značaj, a ujedno i društveno-političku ulogu/1/.

Nužno je napomenuti da se 1985 godine navršilo 100 godina od početka naučnih istraživanja u oblasti upotrebe nikla za dobijanje legiranih čelika. Osnovna karakteristika toga razvitka predstavlja široka upotreba nikla za dobijanje čelika i specijalnih čelika, koja je posebno rasla u doba ratova, pri čemu danas iznosi oko 65% od ukupne proizvodnje nikla u svetu. Što se tiče proizvodnje nikla, posle značajnijeg uspeha 70-tih godina, u periodu 80-tih godina XX veka zog izuzetno intenzivne potrošnje energije i ujedno veoma niske cene nikla, dolazi do velike krize, što je prouzrokovalo smanjenje korišćenja topioničkih kapaciteta čak i na 50%/2/.

Istovremeno, izuzetnu pažnju skrenuli su sebe procesi dobijanja nikla iz oksidnih, lateritnih ili silikatnih ruda, čije rezerve iznose oko 85% od ukupnih rezervi nikla, a proizvodnja nikla iz ovih ruda 40-45% od ukupne proizvodnje, međutim je proizvodnja praćena izuzetnom potrošnjom energije koja je za 2,5-3 puta veća nego pri proizvodnji nikla (Ni) iz sulfidnih ruda. Zbog visokih operativnih troškova, niske cene nikla, dovedeno je u pitanju i perspektivnost proizvodnje nikla iz oksidnih ruda koje sadrže 1% Ni.

Velike i neiscrpne rezerve nikla u rudama oksidnog tipa, posebno lateritima, zahtevale su orijentaciju velikog broja istraživača ka pronalaženju tehnoloških postupaka za njihovu rentabilnu preradu u cilju dobijanja nikla. Poseban interes su izazvali postupci, neki od njih se nalaze u fazi poluindustrijskih ili industrijskih primena, i to : postupak kompanije California Nickel, Universal Oill Products (UOP), US Bureau of Mines (USBM), AMAX (SAD), SML Nickel, INCO, Minpro-Pamco Nickel Segregation Process i drugi.

Osnovna karakteristika novih postupaka jeste radikalno smanjenje potrošnje energije, povećana univerzalnost, mogućnost prerade siromašnih lateritnih ruda sa različitim hemijskim sastavom i nižim sadržajem nikla u odnosu na postojeće postupke, kompleksnije iskorišćenje komponenata rude i drugo. /3/

California Nickel postupak predstavlja proces luženja lateritnih ruda nikla sa sumpornom kiselinom u autoklavima, gde se postiže visoko izluženje i to 93%Ni i 93%Co i korišćenje međuprodukata, sa istovremenim smanjenjem operativnih troškova za 20%. /4,5/

UOP postupak predstavlja amonijačno luženje lateritne rude, modifikacija Caronovog (kubanskog) procesa, pri čemu obuhvata redukciono prženje rude, luženje prženca amonijačnim rastvorom te izdvajanje nikla i kobalta u obliku oksida ili metala. Osobenost procesa je prženje rude u prisustvu halogenida, sumpora i dr. Postiže se visoko iskorišćenje Ni, oko 90%, i smanjenje potrošnje energije za 30-50%.

AMAX postupak predstavlja kompleksno autoklavno i normalno luženje lateritnih ruda sa sumpornom kiselinom pri čemu proces omogućuje smanjenje energije do 40%. U osnovi procesa je upotreba sumpora kao izvora primarne e-

nergije i kao reagenta. Potrošnja sumporne kiseline je rešena putem upotrebe elementarnog sumpora pri prženju dela limonitne i serpentinske frakcije.

USBM postupak predstavlja amonijačni postupak za dobijanje nikla i kobalta iz lateritnih ruda, kome prethodi redukciono prženje sa čistim CO na 525°C u prisustvu dodatka, pri čemu se postiže visoko iskorišćenje od 93%Ni i 90%Co sa znatnim smanjenjem potrošnje energije.

SMLe Nickel postupak predstavlja proces luženja lateritne rude sa hlorovodoničnim kiselinom, prethodno pelletizirane i osušene na 110°C rude, pržene na 300°C u rotacionoj peći. Izluženje iznosi 95%Ni+Co.

Minpro-PAMCO Nickel Segregation Process predstavlja proces prženja lateritne rude u prisustvu halogenida i reducenta (CaCl_2 i koksa) na 950°C , sa naknadnim postupkom mehaničke koncentracije - magnetne koncentracije pri čemu se dobija Ni-koncentrat sa 60%Ni sa iskorišćenjem od 90%Ni.

U kontekstu iznalaženja novih i rentabilnijih postupaka za dobijanja nikla iz siromašnih ruda, a posebno oksidnih (lateritnih) ruda, početkom 70-tih godina počela su aktivna istraživanja u cilju primene procesa hlorovanja sa gasovitim hlorom i halogenidima oksidnih (lateritnih) ruda jugoslovenskih lokaliteta, odnosno sintetičkih smeša (simulacija ruda jugoslovenskih lokaliteta, i mogućnosti dobijanja nikla iz tih sirovina.

Imajući u vidu da naša zemlja raspolaže značajnijim rezervama oksidnih ruda, posebno laterita, sa malim sadržajem nikla, Katedra za metalurgiju obojenih metala na Tehnološko-metalurškom fakultetu, u smislu potpunije i adekvatnije valorizacije ovih ruda, počela sa istraživanjima u oblasti primene procesa hlorovanja gasovitim hlorom, te halogenidima (proces segregacije) bez prisustva i u prisustvu pojedinih dodataka (C, S, BaS, FeS, NaCl, BaSO_4).

Istraživanja procesa hlorovanja nikla iz njegovih jedinjenja (Ni-oksida, Ni-silikata i Ni-ferita), koji čine osnovne nosioce nikla u oksidnim, silikatnim i lateritnim, rudama sa gasovitim hlorom, te istraživanja mogućnosti intenzifikacije reakcija procesa hlorovanja uvođenjem u proces određenih dodataka (S, BaS, BaSO₄, NaCl), doprinela su potvrđenju hemizma i kinetike procesa hlorovanja /6/.

Pored opštih istraživanja iz oblasti teorije procesa hlorovanja i utvrđivanju zakonitosti ponašanja pojedinih jedinjenja nikla, istraživana je i mogućnost selektivnog hlorovanja nikla iz ruda domaćih lokaliteta - Ržano vo, Mokra Gora i Goleš, pri čemu je potvrđena efikasnost uticaja dodataka (S, BaS, NaCl) na tehnološke pokazatelje pri hlorovanju ruda pomenutih lokaliteta.

Istraživanja procesa hlorovanja nikla iz njegovih jedinjenja (Ni-oksida, Ni-silikata i Ni-ferita), koji čine osnovne nosioce nikla u oksidnim, posebno silikatnim i lateritnim rudama, sa halogenidima (CaCl₂) - proces segregacije te istraživanja mogućnosti intenzifikacije reakcija procesa hlorovanja uvođenjem u proces određenih dodataka (S, BaS, BaSO₄), odnosno utvrđivanju mehanizma te kinetike procesa hlorovanja halogenidima, predstavljaju suštinu ove teze.

Uporedo sa istraživanjima ponašanja jedinjenja Ni (Ni-oksida, Ni-silikata i Ni-ferita) u procesu hlorovanja sa halogenidima (CaCl₂)-proces segregacije, istraživanja su usmerena i ka ponašanju ruda iz lokaliteta - Rudinci, Čikato vo, Studena Voda - u procesu hlorovanja (segregacije) preko osnovnih tehnoloških pokazatelja produkata dobijenih prženjem, te flotacijskom koncentracijom ili magnetnom koncentracijom.

Ocena uspešnog rešavanja teoretskog i praktičnog problema procesa hlorovanja halogenidima-proces segregacije-može se dobiti na osnovu eksperimentalnih rezultata, te svestranog proučavanja kako hemizma i termodinamike procesa, tako i kinetike procesa hlorovanja halogenidima.

10.5.1 Kinetičke karakteristike procesa hlorovanja niklsilikata i nikelferita u procesu segregacije u prisustvu dodatka barijumsulfida

Za matematičku interpretaciju procesa hlorovanja niklovih jedinjenja ($2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) u prisustvu dodatka-aktivatora 2% BaS u toku procesa segregacije sintetičkih smeša IV-V, koristi se kinetička jednačina za reakciono-kontrolisane reakcije SPENSER-TOPLEY-KEWAN-a :

$$1 - (1 - \alpha)^{1/3} = K_s \cdot t \dots\dots\dots (27)-5$$

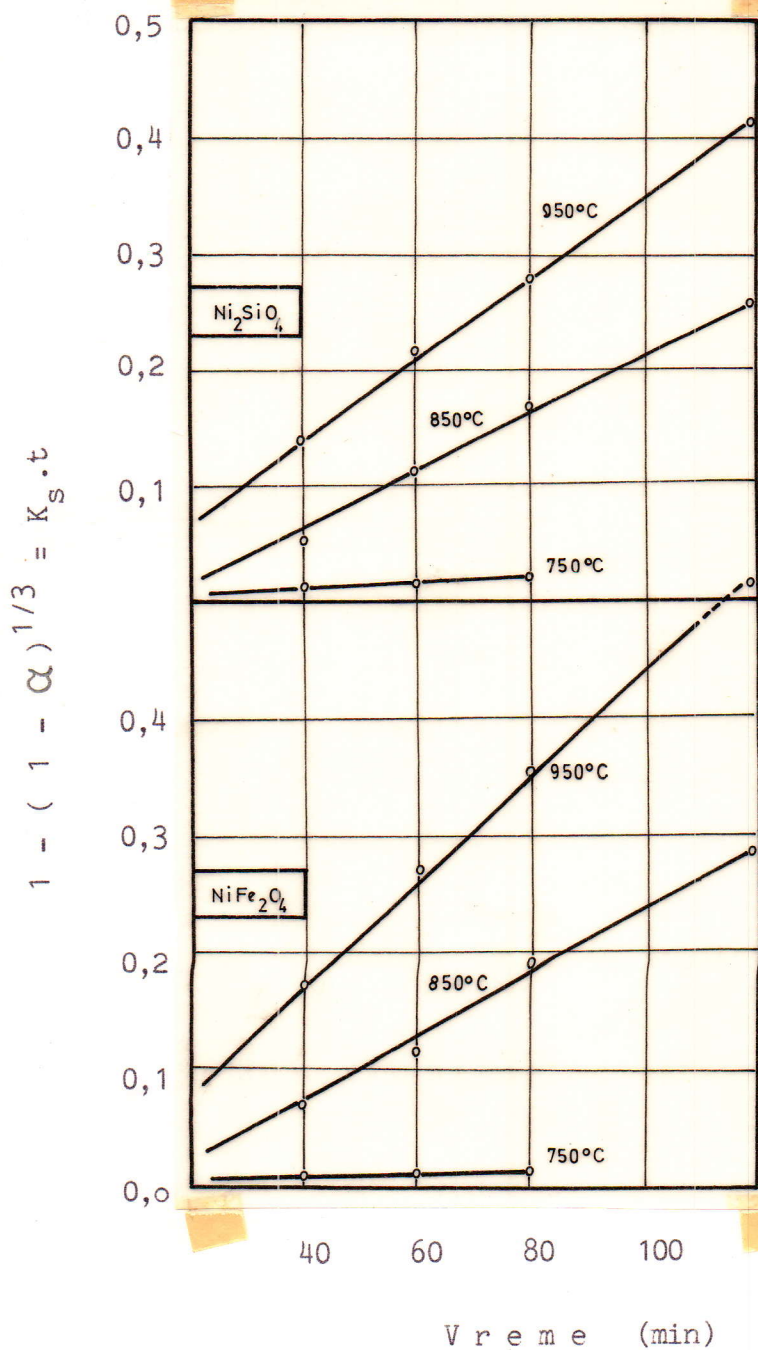
Pomenuta jednačina za reakciono-kontrolisane reakcije odgovara procesu hlorovanja niklovih jedinjenja kao što su $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ u procesu segregacije u prisustvu dodatka barijumsulfida i istovremeno daje linearnu zavisnost logaritma konstante brzine K_s u zavisnosti od vremena odvijanja procesa. Proračunate vrednosti konstante brzine K_s procesa hlorovanja sintetičkih smeša IV-V ($2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) primenom pomenute kinetičke jednačine date su u tabeli 57. , a grafički prikaz $1 - (1 - \alpha)^{1/3} - f(t)$ za procese hlorovanja niklovih jedinjenja ($2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) u toku procesa segregacije dat na slici 43.

Na osnovu priloženog grafičkog prikaza zavisnosti $1 - (1 - \alpha)^{1/3} - f(t)$,može se videti da korišćena kinetička jednačina za reakciono-kontrolisane reakcije daje veoma dobru linearnu zavisnost od vremena segregacije. Proračunate vrednosti konstanti brzina postavljene u grafičkoj zavisnosti : $\log K_s - f(1/T)$, daje mogućnosti za određivanje nagiba prave

T a b e l a 57. Prikaz proračunatih vrednosti konstante brzine procesa hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ u prisustvu dodatka (2%BaS) jednačinom

KINETIČKA JEDNAČINA : $1 - (1 - \alpha)^{1/3} = K_s \cdot t$

| | | $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2 + 2\% \text{BaS}$ | | | $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\% \text{BaS}$ | | |
|-----|-----|---|---------------|-----------------|---|---------------|-----------------|
| T | t | α | $K_s \cdot t$ | K_s | α | $K_s \cdot t$ | K_s |
| °C | min | % | | h^{-1} | % | | h^{-1} |
| 750 | 40 | 2,10 | 0,0070 | 0,0138 | 2,40 | 0,0081 | 0,0168 |
| | 60 | 4,25 | 0,0144 | | 5,90 | 0,0200 | |
| | 80 | 6,20 | 0,0211 | | 7,43 | 0,0244 | |
| 850 | 40 | 16,35 | 0,0578 | 0,1116 | 19,60 | 0,0702 | 0,1281 |
| | 60 | 30,60 | 0,1146 | | 31,40 | 0,1181 | |
| | 80 | 40,75 | 0,1601 | | 47,20 | 0,1918 | |
| | 120 | 57,80 | 0,2500 | | 61,80 | 0,2850 | |
| 950 | 40 | 39,08 | 0,1523 | 0,2187 | 43,70 | 0,1743 | 0,2650 |
| | 60 | 53,25 | 0,2239 | | 62,10 | 0,2763 | |
| | 80 | 62,70 | 0,2802 | | 72,55 | 0,3501 | |
| | 120 | 80,90 | 0,425 | | 83,50 | 0,5200 | |



Slika 43. Grafički prikaz zavisnosti $K_s.t - f(t)$ procesa hlorovanja $2NiO.SiO_2$ i $NiO.Fe_2O_3$ u prisustvu dodatka (2% BaS)

a time i proračun viška energije pomenutih procesa hlorovanja tokom segregacije, prikazane u tabeli 58.

Kao što je i ranije rečeno primenjena kinetička jednakost za proces hlorovanja sintetičkih smeša IV-V u prisustvu dodatka-aktivatora 2%BaS, daje pravolinijsku zavisnost $K_s \cdot t - f(t)$, dok su dobijeni nagibi pravih u grafičkom prikazu zavisnosti $\log K_s - f(1/T)$ manje bleži u odnosu na one za nikloksid u prisustvu 2% BaS.

Kinetička interpretacija pomoću jednačine KAZEEV-a izvršena je za eventualno određivanje mehanizma odvijanja procesa hlorovanja niklsilikata i nikliferita tokom segregacije, posebno preko određivanja kinetičkog bezdimenzionalnog parametra "n". Određeni kinetički parametar "n", dobijen pomoću dvojnologaritamske jednačine KAZEEV-a za pojedine dobijene stepene hlorovanja (α) i vremena segregacije (t), a pri zadatim temperaturama (T) u prisustvu dodatka 2% BaS, ima sledeće vrednosti :

| | |
|--------------|--------------------------------|
| Hlorovanje : | $2NiO \cdot SiO_2 + 2\% - BaS$ |
| 950°C | n = 1,098 |
| 850°C | n = 1,430 |
| 750°C | n = 1,590 |

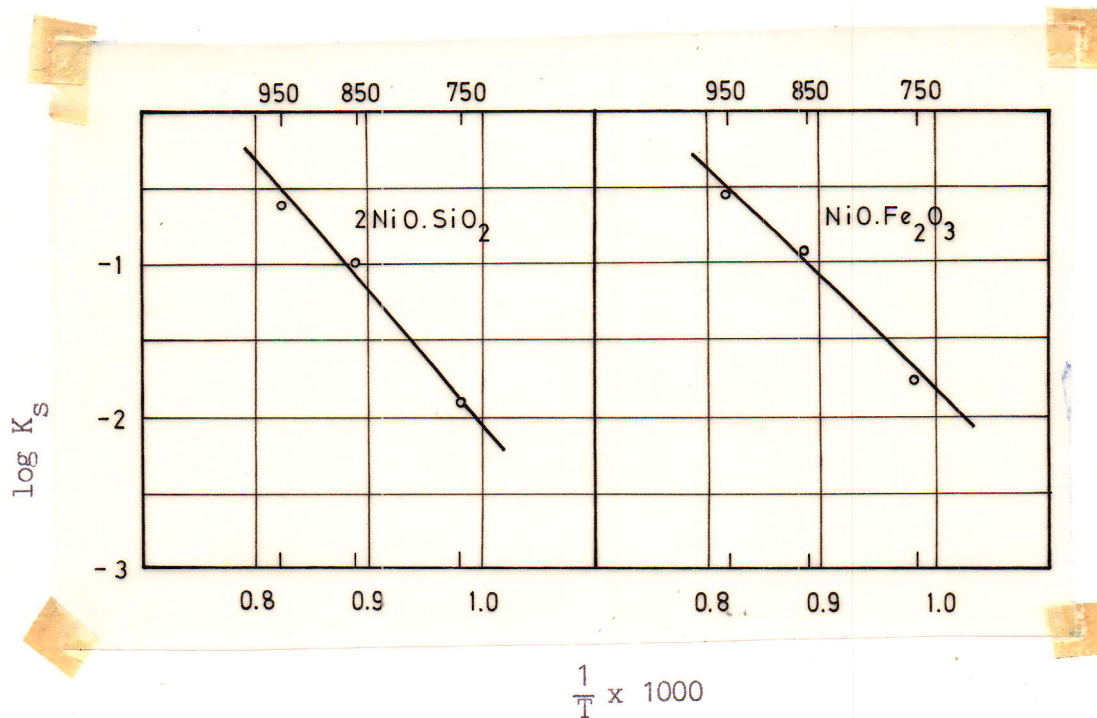
| | |
|--------------|---------------------------------|
| Hlorovanje : | $NiO \cdot Fe_2O_3 + 2\% - BaS$ |
| 950°C | n = 0,708 |
| 850°C | n = 1,350 |
| 750°C | n = 1,670 |

Iz dobijenih vrednosti proračunatog kinetičkog parametra "n" za proces hlorovanja $2NiO \cdot SiO_2$ i $NiO \cdot Fe_2O_3$ u toku procesa segregacije na različitim radnim temperaturama

T a b e l a 58. Prikaz proračunatih vrednosti energije (ΔE) procesa hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ u prisustvu dodatka 2%BaS

ZA KINETIČKU JEDNAČINU : $1-(1-\alpha)^{1/3} = K_s \cdot t$

| SMEŠA | T | $1/T \times 10^3$ | $\log K_s$ | ΔE |
|-------|--------------------|----------------------|------------|-----------------|
| | $^{\circ}\text{C}$ | $1/^{\circ}\text{K}$ | | kJ/mol |
| IV | 750 | 0,9775 | -1,86 | 142,7 |
| | 850 | 0,8904 | -0,95 | |
| | 950 | 0,8176 | -0,66 | |
| ----- | | | | |
| V | 750 | 0,9775 | -1,77 | 112,7 |
| | 850 | 0,8904 | -0,90 | |
| | 950 | 0,8176 | -0,57 | |



S l i k a 44. Grafički prikaz funkcije $\log K_s - f(t)$ za proces hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ u prisustvu dodatka (2%) - BaS

u prisustvu 2% BaS, može se primetiti da sa povišenjem temperature kinetički parametar "n" opada. Kako su parametri "n" u proseku svi iznad jedinice, može se konstatovati i potvrditi da je ukupni proces hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ limitiran i kontrolisan hemijskom reakcijom. Jedino kod temperature od 950°C pri segregaciji $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ vrednost parametra "n" je manji od jedinice ($n=0,708$) što ukazuje da se mehanizam procesa hlorovanja sa produžavanjem vremena menja i prelazi u oblasti koje nisu kontrolisane ni difuzijom ni hemijskom reakcijom.

Upoređujući višak energije procesa hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ u prisustvu dodatka 2% BaS, sa viškom energije procesa hlorovanja NiO u prisustvu 2% BaS, vidi se da ΔE kod hlorovanja $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ iznosi oko 142,7 kJ/mol, odnosno za $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ koja iznosi oko 112,7 kJ/mol, što pretstavljaju za 67,8% odnosno 32,1% veće vrednosti u odnosu na ΔE za proces hlorovanja NiO u prisustvu 2% BaS.

Ovim se potvrđuju i prethodno poznata saznanja da se oksidi nikla najlakše hloriraju, a zatim nikliferiti i niklsilikati.

10.6 Diskusija dobejenih rezultata ispitivanja

Izvršena eksperimentalna laboratorijska ispitivanja visokotemperaturnog zagrevanja sintetičkih smeša I-V, koji predstavljaju čista niklova jedinjenja kao što su NiO, $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ i $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, sa čvrstim hlorirajućim reagensom soli $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i reducentom (ugalj-Vrška Čuka) u prisustvu pojedinih jedinjenja CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 i druga, koji su predstavnici jalovih komponenata u rudnoj masi, te u prisustvu sumporonosnih jedinjenja u svojstvu dodataka aktivatora i to S, BaS i BaSO_4 , su u cilju potvrde svih dosadašnjih saznanja o intenzifikaciji procesa segregacije nikla u prirodnim oksidnim rudama, silikatnog ili lateritnog tipa, a posebno rudama naših lokaliteta, i u cilju razjašnjenja pojedinih stadijuma odlučujućih u procesu segregacije, pre svega stadijum procesa hlorovanja.

Od posebnog su značaja, a ujedno i potvrda svim ovim pretpostavkama o intenzifikaciji procesa segregacije, posebno stadijuma procesa hlorovanja, uradene termodinamičke i kinetičke analize koje nesumnjivo daju odgovor na pitanje o mogućnosti pospešavanja pojedinih stadijuma, a koji su od velikog značaja za ukupni proces.

- Izvršene termodinamičke analize su dokazale da su sumporonosni dodatci od veoma bitnog značaja za sam proces segregacije i imaju katalitičko dejstvo, posebno u toku procesa hlorovanja Ni-jedinjenja. Dobijene vrednosti promene izobarnog potencijala ΔZ_{298} i ΔZ_T govore o povoljnoj mogućnosti odigravanja pojedinih reakcija hlorovanja NiO sa HCl, odnosno hlorovanje $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ sa HCl zajedno pomoću stvo-

renih Fe-hlorida (FeCl_2 ili FeCl_3) u prisustvu pomenutih S-dodataka (S , BaS , BaSO_4).

Vrednost promene izobarnog potencijala ΔZ_{298} za hlorovanje NiO sa HCl iznosi $\Delta Z_{298} = -94,2$ kJ/mol NiCl_2 , a na radnim temperaturama : $\Delta Z_{1023} = -7,1$ kJ/mol NiCl_2 , odnosno $\Delta Z_{1223} = +7,6$ kJ/mol NiCl_2 . Dodatkom barijumsulfida promena izobarnog potencijala iznosi : $\Delta Z_{298} = -202,2$ kJ/mol, dok se na radnim temperaturama menja do $\Delta Z_{1023} = -122,8$ kJ/mol NiCl_2 i $\Delta Z_{1223} = -97,5$ kJ/mol NiCl_2 . Vrednosti promene izobarnog potencijala procesa hlorovanja $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ bez prisustva dodatka BaS iznosi : $\Delta Z_{298} = -24,3$ kJ/mol NiCl_2 , $\Delta Z_{1023} = +347,5$ kJ/mol i $\Delta Z_{1223} = +466,7$ kJ/mol NiCl_2 , dok u prisustvu dodatka BaS to iznosi : $\Delta Z_{298} = -389,7$ kJ/mol NiCl_2 , $\Delta Z_{1023} = +116,1$ kJ/mol NiCl_2 i $\Delta Z_{1223} = +165,8$ kJ/mol NiCl_2 . Bitno je naglasiti da u toku stadijuma hlorovanja $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ veoma bitnu ulogu igraju stvoreni Fe-hloridi (FeCl_3 posebno i FeCl_2) u svojstvu hlorirajućih reagenasa koji znatno poboljšavaju termodinamičke mogućnosti odvijanja procesa hlorovanja tokom segregacije i promena standardnog izobarnog potencijala poprima vrednost oko $\Delta Z_{298} = -1000$ kJ/mol NiCl_2 .

- Izvršena kinetička analiza i interpretacija procesa hlorovanja tokom procesa segregacije, ima za cilj utvrđivanje primenjivosti pojedinih poznatih kinetičkih jednačina za reakciono- ili difuziono-kontrolisane reakcije, a posebno utvrđivanje mogućeg mehanizma procesa hlorovanja preko određivanja pojedinih kinetičkih parametara te proračuna potrebne energije za proces hlorovanja i razrušavanje kristalne rešetke NiO , $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, mogućih nosilaca nikla u oksidnim rudama, lateritnog ili silikatnog tipa.

- Na osnovu korišćenih kinetičkih jednačina za proces hlorovanja NiO tokom procesa segregacije bez prisustva i u prisustvu dodataka 2% (BaS , S , BaSO_4), te dobijenih vredno-

sti za stepen hlorovanja, promene relativne brzine procesa hlorovanja, konstante brzine i zavisnosti $K.t - f(t)$, te određivanjem kinetičkog parametra "n" u jednačini Kazeev- a može se konstatovati sledeće :

Na temperaturi od 750°C hemijska reakcija kontroliše ukupni proces odvijanja, što se donekle može reći i za temperaturu od 850°C iako ona blago prelazi u oblast gde i difuzija može biti od bitnog značaja, odnosno proces se nalazi u nekom prelaznom stanju, dok se na temperaturi od 950°C uloga difuzionih procesa znatno primećuje, tim više što vreme odvijanja procesa hlorovanja i segregacije raste iznad 60 minuta.

- Na osnovu korišćene kinetičke jednačine za reakciono-kontrolisane reakcije (SPENSER-TOPLEY-KEWAN-ova jednačina) za proces hlorovanja sintetičke smeše IV ($2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$) i sintetičke smeše V ($\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) tokom procesa segregacije bez prisustva i u prisustvu dodatka 2% BaS, može konstatovati sledeće :

Na svim ispitivanim temperaturama od $750-950^{\circ}\text{C}$, hemijska reakcija je ta koja kontroliše i limitira ukupni proces hlorovanja, a kinetički parametar "n" ima vrednosti uglavnom iznad jedinice, dok se preko promene relativne brzine procesa hlorovanja vidi da su brzine veće pri hlorovanju $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

- Preko poznate temperaturne zavisnosti konstante brzine date preko jednačine Arenijus-a, proračunate vrednosti viška energije ΔE , potrebne za proces hlorovanja u toku segregacije sintetičkih smeša I-III (NiO) u reakciono kontrolisanim reakcijama, iznose oko 85 kJ/mol (osim za dodatak od 2% sumpora kada vrednost dostiže oko 81,3 kJ/mol), što predstavlja 1,6 puta veću vrednost od vrednosti za reakciono-kon-

trolisane reakcije procesa hlorovanja NiO sa gasovitim sistemom $\text{HCl-H}_2\text{O-N}_2$ ili HCl-N_2 (u dinamičkim uslovima rotacijskog reaktora) istraživanja PEDLIK-a, SCHMIEDL-a i KAŠAYOV-e, pri kojima ta vrednost dostiže oko 54,9 kJ/mol.

- Preko iste poznate temperaturne zavisnosti konstante brzine, proračunate vrednosti viška energije ΔE , potrebne za proces hlorovanja sintetičke smeše IV (2NiO.SiO_2) i sintetičke smeše V ($\text{NiO.Fe}_2\text{O}_3$) u reakciono-kontrolisanim reakcijama iznose 142,7 kJ/mol, odnosno 112,7 kJ/mol. Time se potvrđuje saznanje da su oksidi nikla najpodložniji procesu hlorovanja u odnosu na nikliferite ili niklsilikate.

- Poboljšanje efikasnosti, a posebno poboljšanje osnovnih tehnoloških pokazatelja tokom ispitivanja visokotemperaturnog zagrevanja sintetičkih smeša I-V, čistih niklovih jedinjenja NiO, 2NiO.SiO_2 i $\text{NiO.Fe}_2\text{O}_3$, i naknadne koncentracije, flotacije, kao što su : stepen hlorovanja (α), stepen segregacije približno jednakom iskorišćenju nikla I_{Ni} u grubom flotacijskom koncentratu), potvrđuju do dan-danas poznate fakte da se Ni-oksidi mnogo lakše hloruju, potvrda tome su i prethodno dobijene vrednosti termodinamičke veličine promene izobarnog potencijala pri standardnim uslovima ΔZ_{298} i pri radnim temperaturama ΔZ_{1023} i ΔZ_{1223} u odnosu na Ni-ferite ili Ni-silikate, a najveći razlog svemu tome jeste slabija veza u kristalnoj rešetci Ni-oksida. Međutim, istovremeno se dokazuje, da jedinjenja koje se lakše hloruju u toku procesa segregacije, daju mnogo slabije rezultate u kasnijim stadijumima procesa segregacije, što se manifestira mnogo lošijim tehnološkim pokazateljima koji se dobijaju kasnijim tretiranjem pomoću flotacijske koncentracije dobijenih prženaca sintetičkih smeša I-V u kojima su prisutni nosioci nikla (Ni-oksidi, Ni-feriti ili Ni-silikati), dato u tabeli 59.

T a b e l a 59. Tabela prikaz pojedinih tehnoloških pokazatelja tokom procesa segregacija-flotacija sintetičkih smeša I-V bez i sa BaS

| BaS | T °C | t min | NiO + BaS | | | 2NiO.SiO ₂ +BaS | | | NiO.Fe ₂ O ₃ +BaS | | |
|-----|------|-------|-----------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---|-----------------|-----------------------------------|
| | | | α | I _{Ni} | $\frac{I_{Ni}}{\alpha} \cdot 100$ | α | I _{Ni} | $\frac{I_{Ni}}{\alpha} \cdot 100$ | α | I _{Ni} | $\frac{I_{Ni}}{\alpha} \cdot 100$ |
| % | °C | min | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0,0 | 850 | 40 | 30,26 | 16,41 | 54,23 | | | | | | |
| | 60 | 60 | 42,78 | 22,56 | 52,73 | | | | | | |
| | 950 | 40 | 61,62 | 28,75 | 46,66 | | | | | | |
| | 60 | 60 | 82,46 | 38,48 | 46,66 | | | | | | |
| 2,0 | 850 | 40 | 34,25 | 17,66 | 51,56 | 16,35 | 14,36 | 87,83 | 19,60 | 17,55 | 89,54 |
| | 60 | 60 | 38,69 | 25,43 | 65,73 | 30,60 | 25,17 | 82,25 | 31,40 | 28,40 | 90,44 |
| | 950 | 40 | 70,60 | 40,78 | 57,76 | 39,08 | 36,85 | 94,29 | 43,70 | 33,42 | 76,47 |
| | 60 | 60 | 84,96 | 44,78 | 52,71 | 53,25 | 47,24 | 88,71 | 62,10 | 50,41 | 81,17 |
| 3,5 | 850 | 40 | 18,30 | 10,14 | 55,41 | | | | | | |
| | 60 | 60 | 28,14 | 16,50 | 58,63 | | | | | | |
| | 950 | 40 | 26,14 | 19,38 | 74,13 | | | | | | |
| | 60 | 60 | 63,84 | 38,26 | 59,93 | | | | | | |

Potrebno je uvideti uticaj optimalnog dodatka - aktivatora BaS (2,0-3,5%) na eksperimentalno dobijene rezultate izražene vrednostima stepena hlorovanja, iskorišćenja nikla u flotaciskom koncentratu te njihovim odnosom, odnosno uticaj na intenzifikaciju procesa segregacije niklovih jedinjenja $\text{NiO} \cdot 2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, posebno u poređenju sa prethodno dobijenim rezultatima pri segregaciji sintetičke smeše bez dodatka BaS od strane BLEČIĆ-a /73/.

- Iskorišćenje nikla I_{Ni} u grubom flotaciskom koncentratu prženca sintetičke smeše NiO bez dodatka BaS na temperaturi od 950°C i vremenu segregacije od 40-60 minuta iznosi 28,75-38,48%, što u poređenju sa rezultatima u ispitivanjima Blečić-a (5,91% za vreme od 120 minuta) pretstavlja 4,86-6,5 puta bolji rezultat. Relativni odnos iskorišćenja nikla I_{Ni} i stepena hlorovanja pri tome iznosi oko 46,66% ;

- Iskorišćenje nikla I_{Ni} u grubom flotaciskom koncentratu prženca sintetičke smeše $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ u prisustvu dodatka 2%BaS na temperaturi od 950°C i vremenu segregacije od 40-60 minuta iznosi oko 33,42-50,41%, što u poređenju sa ranije pomenutim ispitivanjima bez prisustva dodatka BaS (35,36% za vreme od 120 minuta), pretstavlja 0,95-1,42 puta bolji rezultat. Relativni odnos iskorišćenja nikla I_{Ni} i stepena hlorovanja pri tome iznosi od 76,47-81,17% ;

- Iskorišćenje nikla I_{Ni} u grubom flotaciskom koncentratu prženca sintetičke smeše $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ u prisustvu dodatka 2%BaS na temperaturi od 950°C i vremenu segregacije od 40-60 minuta iznosi oko 36,85-47,24%, što u poređenju sa ranije pomenutim ispitivanjima bez prisustva dodatka BaS (30,29% za vreme od 120 minuta), pretstavlja 1,21-1,56 puta bolji rezultat. Relativni odnos iskorišćenja nikla i stepena hlorovanja pri tome iznosi od 88,71-94,29% ;

Samim tim se potvrđuje i ranije dokazano saznanje da veći deo hlorovanog Ni-jedinjenja ($2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ ili $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) segregira, te metodom koncentracije izvlači, što nije slučaj kod NiO. Očito je da rude koje sadrže nikel u obliku ferita i silikata su povoljne za segregaciju.

- Poznato je da u veoma složenom gasovitom sistemu, a posebno prisutnoj hlorno-redukcionoj atmosferi, pri hlorovanju NiO imamo pojave nepoželjnih reakcija (redukcije u mesto pomoću prisutnih reducenata C i CO, potpomognutu prisustvom veoma slabih reducenata S, BaS ili FeS, te pojave redukovanog Ni-praha ili Fe-praha, oksidacije ili hidrolize stvorenog u reakcijama isparljivog NiCl_2 i slično) koje dovode do smanjenja efikasnosti procesa segregacije, te dobijanju slabijih tehnoloških pokazatelja kasnijim metodama koncentracije. Pri segregaciji sintetičke smeše V-NiO. Fe_2O_3 u stadijumu procesa hlorovanja ne dolazi do pojave gorenavedenih nepoželjnih reakcija, posebno redukcije u mesto (u ispitivanjima MEČEV-a, VLASOV-a i BIČKOV-a /87/ pri preradi sintetičkih smeša ferita (Cu, Ni, Co) u prisustvu gasovitog Sumpora, Cu-ferit se redukuje tek na 950°K , dok se Ni-ferit počinje redukovati na 1270°K pri čemu se kobalt nalazi u prvobitnom obliku - Co-feritu, što dovodi do boljih efekata pri segregaciji te boljih tehnoloških pokazatelja pri koncentraciji, u odnosu na proces segregacije kod NiO.

11. Z A K L J U Č A K

Visoki operativni troškovi i niska cena nikla, uslovlili su i doveli u pitanje perspektivnost proizvodnje nikla iz oksidnih, lateritnih ili silikatnih, ruda koje sadrže oko 1%Ni, a čije rezerve iznose oko 85% od ukupnih svetskih rezervi nikla.

Glavni nosioci nikla u oksidnim rudama, silikatnog tipa su minerali : g a r n i j e r i t $(Ni, Mg)_6(Si_4O_{10})(OH)_8 \cdot 4H_2O$, čiji hemijski sastav je nepostojan, a NiO i MgO se zamenjuju u širokim granicama, maksimalno 38,61%NiO i 21,7%MgO, pri čemu dolazi do promene boje minerala, te n o n t r o n i t i $0,5(Ni, Mg, Ca)O(Al, Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 3H_2O$ sa jako različitom bojom.

Glavni nosioci u oksidnim rudama, lateritnog tipa su minerali : l i m o n i t $(Fe, Ni)O(OH) \cdot nH_2O$, u kome se nikl nalazi u obliku NiO uglavnom u čvrstom rastvoru sa Fe-oksidi, te minerali s e r p e n t i n $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ gde NiO ili Fe_xO_y su u obliku Ni-Fe -silikata i zamenjuju mesto sa MgO, sa sadržajem nikla oko 1%.

Velike i skoro neiscrpane rezerve nikla u rudama oksidnog tipa, posebno laterita, su oreijentisale veliki broj istraživača ka pronalaženju novih tehnoloških postupaka koji bi omogućili rentabilniju preradu u cilju dobijanja nikla, a ujedno i intenzifikovali pojedine procese. Imajući u vidu cilj ove doktorske disertacije, neophodno je pomenuti istraživanje MINPRO-PAMCO Nickel Segregation Process u poluindustrijskim uslovima, a ujedno i mogućnosti intenzifikacije procesa dodatkom pojedinih aktivatora sa katalitičkim dejstvom na proces u obliku sumporonosnih jedinjenja-S, BaS, FeS i dr.

U tom kontekstu, izvršena eksperimentalna ispitivanja kombinovanog procesa segregacija-flotacija pojedinih sintetičkih smeša $(NiO, 2NiO \cdot SiO_2$ i $NiO \cdot Fe_2O_3$ u prisustvu ostalih jedinjenja i zo $CaO, MgO, Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3$ i sumporonosna jedinjenja kao dodatci - aktivatori S, BaS i $BaSO_4$) zajedno sa termodinamičkim i kinetičkom analizom, a posebno eksperimentalna ispitivanja tehničkih oksidnih

ruda (Čikatovo, Rudinci i Studena voda) omogućuju donošenju pojedinih zaključaka, koji su veoma bitni za sam proces segregacije.

- Mehanizam procesa segregacije kod nikla je znatno komplikovaniji nego kod bakra, potrebna je visoka temperatura od 1273°K , kao hlorirajući reagens se koristi CaCl_2 i to 3-10% ;

- Proces segregacije predstavlja skup kontinuiranih stadijuma : stvaranje HCl , hlorovanje Ni -jedinjenja (NiO , $2\text{NiO}\cdot\text{SiO}_2$ ili $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), redukcija i taloženje nikla na česticama reducenta (uglja, koksa) ili drugim mineralima ;

- Komplikovanost procesa segregacije nikla je u činjenici da su uslovi koji su povoljni za sam proces, takode su povoljni i za odigravanje sporednih reakcija (redukcije u mesto, oksidacije i hidrolize stvorenog NiCl_2 , stapanje pojedinih hlorida ili delova u smeši i slično), a posebno hlorovanje železa zbog bliske stabilnosti hlorida nikla i železa u dijagramu stanja $\text{Me-H}_2\text{-HCl}$;

- Hlorirajući reagens CaCl_2 se raspada samo u prisustvu vodene pare i SiO_2 , pri čemu se dostatno raspadanje CaCl_2 od 80% postiže pri temperaturi od 1045°K , parcijalnom pritisku vodene pare od 5066,26 Pa i molarnim odnosom $\text{SiO}_2:\text{CaCl}_2 = 0,5$, pri čemu dolazi do stvaranja gasovitog HCl ;

- Stvoreni gasoviti HCl jeste hlorirajući reagens u procesu segregacije Ni -jedinjenja, zajedno sa sporednim stvorenim reagensima tokom segregacije, posebno Fe -hlorida (FeCl_3) ;

- Stvoreni isparljivi NiCl_2 se redukuje sa H_2 i taloži na česticama reducenta, dodatka, silikatne ili feritne osnove u veličini od 0,001-0,050 mm, pri čemu jednom od metoda mehaničke koncentracije se izvlači u obliku metalnog nikla u poseban grubi koncentrat ;

- U procesu stadijuma hlorovanja najlakše se hloruju oksidi, te feriti i silikati nikla, a što se tiče segregacije, jedinje -

nja koje se lakše hloruju (NiO) teže segregiraju što proizilazi da su Ni-feriti ili Ni-silikati najpodesniji za proces segregacije;

- Izvršena eksperimentalna laboratorijska ispitivanja visokotemperaturnog zagrevanja lateritno-silikatnih oksidnih ruda Rudinci, Čikatovo i Studena voda u prisustvu hlorirajućeg reagensa $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (7,5%) i reducenta -uglja (1%), te intenzifikacija samog procesa pomoću dodataka-aktivatora sumporonosnih jedinjenja S, BaS, FeS, BaSO_4 pokazuju da rude u kojima su nosioci nikla silikati u obliku garnijerita ili nontronita se veoma čvrstom vezom u kristalnoj rešetci (Rudinci i Čikatovo) veoma podložni procesu segregacije, a znatno izraženiju podobnost ispoljavaju rude sa višim ulaznim kvalitetom, kao što je ruda Čikatovo, što nije slučaj sa siromašnom rudom Studena voda. Maksimalno iskorišćenje nikla I_{Ni} u grubom flotacijskom koncentratu se postiže kod rude Čikatovo (100%-0,100 mm) sa ulaznim kvalitetom od 1,92%Ni, u prisustvu 3,5%BaS i to 91,2% sa sadržajem nikla u koncentratu od 5,7%Ni i stepenom koncentracije od 2,92 puta. Dobijeni rezultati kombinovanog procesa segregacija-flotacija rude Rudinci (100%-0,074 mm) sa ulaznim kvalitetom od 1,2%Ni u prisustvu 2-3,5% BaS su mnogo bolji nego raniji rezultati dobijeni bez prisustva ovih dodataka a iznose : $I_{\text{Ni}}=44,57 \div 73,47\%$, sa sadržajem nikla u koncentratu od $5,7 \div 12,8\%$ Ni i $K_o=4,67 \div 10,24$, nasuprot rezultata bez prisustva dodataka koji iznose : $I_{\text{Ni}}=42,5\%$, sa sadržajem nikla od 8,8%Ni, odnosno $K_o=6,7$. Posebno su zanimljivi rezultati koji su dobijeni kombinovanim procesom segregacija-flotacija rude Rudinci sa ulaznim kvalitetom od 1,86%Ni (100%-0,100 mm) u prisustvu 2-3,5% S, BaS, FeS, BaSO_4 pri čemu se pokazalo da BaS i FeS imaju mnogo izraženiju uticajnost od ostalih dodataka. Pri ovome se dobija maksimalno iskorišćenje nikla u koncentratu kod BaS i to $I_{\text{Ni}}=72,58 \div 82,4\%$, sadržaj nikla u grubom koncentratu od $8,9 \div 14,5\%$ Ni i $K_o=4,6 \div 7,43$.

Svi ovi dobijeni rezultati navode na jedan pravac, a to je poboljšanje uslova flotacije ili magnetske koncentracije i izvlačenje jako sitnih čestica metalnog nikla stvorenog u procesu segregacije.

- Termodinamička analiza procesa stadijuma hlorovanja sintetičkih smeša $\text{NiO}, 2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, kao odlučujućeg koraka ukupnog procesa segregacije, pokazuje da je odigravanje reakcija povoljna pri hlorovanju sa HCl, a znatno povoljnije kada su prisutni sumporo-nosni dodatci, posebno BaS. Vrednost promene izobarnog potencijala pri standardnim uslovima ΔZ_{298} za hlorovanja NiO sa HCl iznosi približno oko $\Delta Z_{298} = -94,2 \text{ kJ/mol NiCl}_2$, a na radnim temperaturama iznosi: $\Delta Z_{1023} = -7,1 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ i $\Delta Z_{1223} = +7,6 \text{ kJ/mol NiCl}_2$. Dodatkom BaS promena izobarnog potencijala iznosi: $\Delta Z_{298} = -202,2 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ $\Delta Z_{1023} = -122,8 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ i $\Delta Z_{1223} = -97,5 \text{ kJ/mol NiCl}_2$. Vrednosti promene izobarnog potencijala procesa hlorovanja $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ bez dodatka iznose: $\Delta Z_{298} = -24,3 \text{ kJ/mol NiCl}_2$; $\Delta Z_{1023} = +347,5 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ i $\Delta Z_{1223} = +466,7 \text{ kJ/mol NiCl}_2$, dok u prisustvu dodatka BaS: $\Delta Z_{298} = -389,7 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ $\Delta Z_{1023} = +116,1 \text{ kJ/mol NiCl}_2$ i $\Delta Z_{1223} = +165,8 \text{ kJ/mol NiCl}_2$. Bitno je naglasiti da u toku stadijuma hlorovanja $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ veoma bitnu ulogu igra FeCl_3 kao hlorirajući reagens koji znatno poboljšava termodinamičke mogućnosti odvijanja reakcije.

- Kinetička analiza procesa stadijuma hlorovanja sintetičkih smeša $\text{NiO}, 2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ izvršena u cilju utvrđivanja primenljivosti kinetičkih jednačina za reakciono- ili difuziono-kontrolisane reakcije su pokazale sledeće:

Proces hlorovanja $2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ potpuno podleže kinetičkim zakonitostima reakciono-kontrolisanih reakcija posebno izražene preko kinetičke jednačine SPENSER-TOPLEY-KEWAN-a, a mehanizam potvrđen kinetičkim razmatranjem jednačine KAZEEV-a kojim se dobijeni kinetički parametar "n" kreće oko jedinice;

Proces hlorovanja NiO ne podleže potpuno kinetičkim zakonitostima ni reakciono- ni difuziono-kontrolisanim reakcijama. Dobijene vrednosti kinetičkog parametra "n" iz jednačine KAZEEV-a to potvrđuje da se reakcija procesa hlorovanja na temperaturi od 750°C odvija u reakcionoj oblasti, dok se na temperaturama od $850-950^\circ\text{C}$ proces hlorovanja odvija u prelaznoj oblasti, sa različitim udelom ili reakcije ili difuzije na ukupni proces odvijanja;

- Preko poznate temperaturne zavisnosti konstante brzine procesa hlorovanja date preko jednačine ARENIJUS-a, proračunate vrednosti viška energije ΔE , potrebno za proces hlorovanja u toku segregacije sintetičkih smeša I-III (NiO) u reakciono-kontrolisanim reakcijama iznosi oko 85 kJ/mol što predstavlja 1,6 puta veću vrednost od vrednosti za reakciono-kontrolisane reakcije procesa hlorovanja sa gasovitim sistemom $\text{HCl-H}_2\text{O-N}_2$ ili HCl-N_2 koja iznosi 54,9 kJ/mol.

- Preko iste poznate temperaturne zavisnosti konstante brzine, proračunate vrednosti viška energije ΔE , potrebne za proces hlorovanja sintetičkih smeša IV (2NiO.SiO_2) i V ($\text{NiO.Fe}_2\text{O}_3$) u reakciono-kontrolisanoj reakciji iznose 142,7 kJ/mol, odnosno 112,7 kJ/mol, čime se potvrđuje saznanje da su oksidi nikla najpodložniji procesu hlorovanja u odnosu na niklferite ili niklsilikate ;

- Izvršena eksperimentalna ispitivanja kombinovanog procesa segregacija-flotacija prženca sintetičkih smeša I-V (NiO, 2NiO.SiO_2 i $\text{NiO.Fe}_2\text{O}_3$) bez prisustva i u prisustvu dodataka sumporonosnih jedinjenja (S?BaS, BaSO_4) su pokazala sledeće :

Od ukupne količine hlorovanog nikla iz sintetičkih smeša I-III (NiO) samo oko 50% se segregira, odnosno flotira pomoću flotacijske koncentracije. Od ukupne količine hlorovanog nikla iz sintetičkih smeša IV-V (2NiO.SiO_2 i $\text{NiO.Fe}_2\text{O}_3$) segregira se oko 90%, te flotira pomoću flotacijske koncentracije. Time se potvrđuje saznanje da jedinjenja koje lakše hloriraju, manje segregiraju usled čega dobijamo slabije tehnološke pokazatelje tokom flotacije.