

Annicka Johnsrud

Mineralogiens betydning for materialbalansen i ulike produktstrømmer ved prosessanlegget til Rana Gruber

Masteroppgave i MTTEKGEO

Veileder: Kurt Aasly

August 2019

Sammendag

Dette masterprosjektet ble gjennomført i samarbeid med Rana Gruber for å skaffe innsikt i mineralbalanser i oppredningsprosessen deres for hematitt. Som del av oppgaven ble det tegnet opp et forenklet flytskjema for prosessen, både for å begrense mengden nødvendige prøvetakingspunkter og av hensyn til konfidensiell informasjon. Det ble utarbeidet en prøvetakingsstrategi i samarbeid med RG, og gjort prøvetaking ved prosessanlegget deres. Prøvene ble tatt ved til sammen 15 forskjellige punkter i prosessen, og det ble benyttet røntgendiffraksjon (XRD), røntgenfluorescens (XRF) og sveipeelektronmikroskop (SEM) for å analysere prøvene. I tillegg ble programvarene *Bruker Quantax Espirit* og *PTA* benyttet for kvantitativ mineralogi og automatisk frimulingsanalyse.

Litteraturstudium er gjort på artikkel som beskriver malmvariasjoner fra jernforekomsten det utvinnes fra. De vanligste malmtypene, males lettest ned. Enkelte resultater fra arbeidet kan tyde på at 1 av 3 dager hadde en malm med lavere grindability.

Eventuelle videre studier på variasjoner i pågang og effekt på oppredningen hos Rana Gruber bør vurdere færre prøvetakingspunkter som basis for diskusjonen og arbeidet mer rundt pågang, konsentrater og avgang.

Automatisk mineralogi ga ikke mange resultater på frimuling, og generelt var det dårlige resultater på hematittinnhold, som var feil. Videre arbeid med slip fra oppgaven kan være en ide, da kun 3 av 17 slip fra arbeidet er benyttet i denne oppgaven. Hematitt som går i avgang foreligger hovedsakelig i fine fraksjoner og er derfor konsentrert i de fineste avgangene.

Abstract

This master's thesis was completed in cooperation with Rana Gruber to acquire insight into the mineral balance in their process for dressing hematite. As part of the assignment a simplified flowsheet was created, both for simplifying the amount of sample that needed to be taken, but also because of confidentiality agreements. A sample strategy was created with Rana Gruber, and samples were then caught at their ore dressing plant. The samples were retrieved from 15 different points in the process. These samples were analysed with XRD, XRF and SEM. The software Bruker Quantax Espirit and PTA were used for quantitative mineralogy and automatic mineral liberation analysis.

A literature study was done on an article that describes the ore variants from the produced iron formation. The most common or types are the ones with highest grindability. Some results indicate that 1 of 3 sample days had ore that had lower grindability. But there were too few results to say anything certain. Possibility for further work on the varying feed and the effect of the variation at the ore dressing plant at Rana Gruber. There should be a bigger sample size basis for the discussion, and more work should be done around the feed, concentrates and tailings.

Automatic mineralogy did not give enough results on mineral liberation, and in general the results for hematite content was bad. Some were even wrong. Further work with polished sections from this thesis would be a good idea. Only 3 out of 17 polished sections were used in this thesis. Hematite that goes to the tailings consists mostly of finer fractions and therefore they are concentrated in the finer tailings.

Innhold

Sammendag	v
Abstract	vii
Figurer	xiii
Tabeller.....	xiii
Innledning	12
Oppgavens omfang.....	12
Delmål med oppgaven:	12
Bakgrunn	14
Prosessbeskrivelse.....	14
LIMS.....	16
WHIMS, trinn 1	16
WHIMS, Trinn 2.....	16
Derrick-sikter.....	16
Spiraler.....	16
Syklon AJ2 MP2.....	16
SLSK- og Avvanningssyklon.....	16
Spiraler og Reflux.....	16
Tidligere beskrivelser av malm	17
Automatisk mineralogi med SEM	17
Grunnlag for utregninger.....	18
Materialer og metoder.....	19
Materialer.....	19
Metoder:	21
Utarbeiding av prøvetakingsprosedyre	21
Prøvetaking:	21
Preparering til XRD.....	21

Preparering til XRF.....	21
Preparering av polerslip med vertikale seksjoner:	22
XRD-analyse.....	22
SEM:	22
HHXRF:.....	22
Resultater.....	24
Prøvetakingsprosedyre	24
Prøvetaking	25
XRD:.....	26
XRF:	29
HHXRF:	30
Massestrømmer og jern.....	31
SEM:.....	32
Energiforbruk autogenmølle	34
Diskusjon	35
Prøvetakingsstrategi	35
XRD-resultater	35
XRF-resultater.....	35
Sammenligning XRD- og XRF-resultater	35
Massebalanse	36
Malmvariasjoner og innvirkning oppredningen.....	36
Frimaling og dens betydning på mineralstrømmer.....	37
Hvorfor går jern i avgang	37
Feilkilder	37
SEM-resultater:.....	37
Generelle feilkilder og svakheter.....	37
Konklusjon	38

Kilder	39
Vedlegg	40
Massebalanse.....	41

Figurer

Figur 1: Forenklet flytskjema over prosessen dekket i oppgaven	15
Figur 2: Forenklet flytskjema for hematittprosessen til Rana Gruber. Prøvetakingspunkter er markert med gule sirkler	20
Figur 3: Flytskjema som viser dekning av prøvetaking. Runde punkter markerer strømmer der det er tatt prøve. Trekanter markerer strømmer som ble planlagt utregnet ved bruk av massebalanser.	24
Figur 4: Massestrøm og Fe-tonnasje	31
Figur 5: Energiforbruk per tonn pågang til Steinmølle 2 for de dagene det ble prøvetatt	34
Figur 6: Jerninnhold regnet fra XRD vs. jerninnhold regnet fra XRF	36

Tabeller

Tabell 1: Tetthet for utvalgte mineraler (http://www.webmineral.com)	18
Tabell 2: Vektprosent av Fe per minerall (https://snl.no/)	18
Tabell 3: Beskrivelse av prøvepunkter	19
Tabell 4: Tidspunkter for prøvetakinger	25
Tabell 5: Gjennomsnittlige volumstrømmer for prøvetakingsdagene.....	25
Tabell 6: Gjennomsnittlige massestrømmer for de aktuelle dagene.	25
Tabell 7. Gjennomsnittsgehalter av alle mineraler for hvert prøvetakingspunkt.....	26
Tabell 8: Total jernprosent for hvert punkt, beregnet fra mineraler funnet ved XRD-analysen.....	27
Tabell 9: Mineralsammensetning for 74 – 208 µm-fraksjonen av hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA) for individuelle prøvetakinger.....	27
Tabell 10:Individuelle dagsmålinger XRD	28
Tabell 11: Vektprosent av hovedelementer per prøvetakingspunkt fra XRF-analyse. Det er hovedsakelig Fe-innhold som er interessant å se på.	29
Tabell 12:Tabellen viser gjennomsnittlig jernprosent funnet ved HHXRF i fraksjonsprøver fra hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA).....	30
Tabell 13: Mineralfordeling per slip fra SEM-resultater.....	32
Tabell 14: Hematitt frimaling vektprosent fordelt på grad av frimaling per prøve.	33

Innledning

Mineralselskapet Rana Gruber AS (RG) utvinner i dag jernoksidene hematitt og magnetitt fra Storforshei jernformasjon i Dunderlandsdalen i Rana kommune. Driften foregår ved både dagbrudds- og underjordsdrift. Selskapet er det eneste i Norge som utvinner hematitt og magnetitt for produksjon av jernkonsentrat. Total gjennomsnittlig jerngehalt i malmen som utvinnes, ligger på rundt 34% (Tøgersen et al. 2018) og er lav sammenlignet med typiske jernoksidforekomster som drives på internasjonalt (Holmes and Lu 2015). For å holde produksjonen lønnsom og kunne konkurrere i et internasjonalt marked er det derfor viktig for RG å oppnå høy utvinning, uten at det går ut over kvaliteten til produktene.

Oppgavens omfang

I dag er det kjent at mye jern går i avgangen fra hematittprosessen hos RG, og det er ønskelig å få et tydeligere bilde av hvor mye av dette jernet som eksisterer som jernoksider og hvor mye som er andre uønskede mineraler. Denne oppgaven er i hovedsak en kartlegging av mineralsammensetning og massebalanser i oppredningsprosessen for å utvinne hematitt ved RG. Ved å få et tydeligere bilde av karakteristisk mineralfordeling i prosessen kan det evalueres i hvilken grad ulike deler av prosessanlegget fungerer tilfredsstillende og om det er mulig å øke utvinningen ved å få ut mer av jernoksidene som i dag går som avgang.

Noen av prosessene som benyttes for å oppkonsentrere jernoksidene er lav- og høyintensitets magnetseparering og gravimetrisk metode, og et av målene med denne oppgaven var å se på effektiviteten til disse forskjellige stegene i prosessen.

Produktene i oppredningsprosessen består av to hematittkonsentrater, et fint og et grovt, og ett magnetittkonsentrat. Det er valgt å avgrense oppgaven slik at den tar for seg oppredningsprosessen fra malmen er ferdig malt i autogenmølle og siktet, og fram til og med de ferdige hematittkonsentratene. Det er sett bort fra magnetittprosessen som går som en egen prosess etter første magnetseparering.

Delmål med oppgaven:

Oppgaven hadde flere delmål som var å:

- Sette opp og gjennomføre en prøvetakingsstrategi, både for å dekke hele det avgrensede området av prosessen, og for å oppnå representative prøver.
- Skaffe forståelse for variasjon i pågangen ved karakterisering av prøver og gjennom litteraturstudium.
- Karakterisere frimaling av jernoksidene og undersøke betydningen frimalingen har på mineralfordelingen i de ulike produktstrømmene.
- Kartlegge effekten av ulike trinn i oppredningen på mineralfordelingen i produktstrømmene.

- Forsøke å forklare hvorfor mineraler havner der de gjør i prosessen, med fokus på hematitt og magnetitt som havner i avgang og andre mineraler som havner i konsentratet.

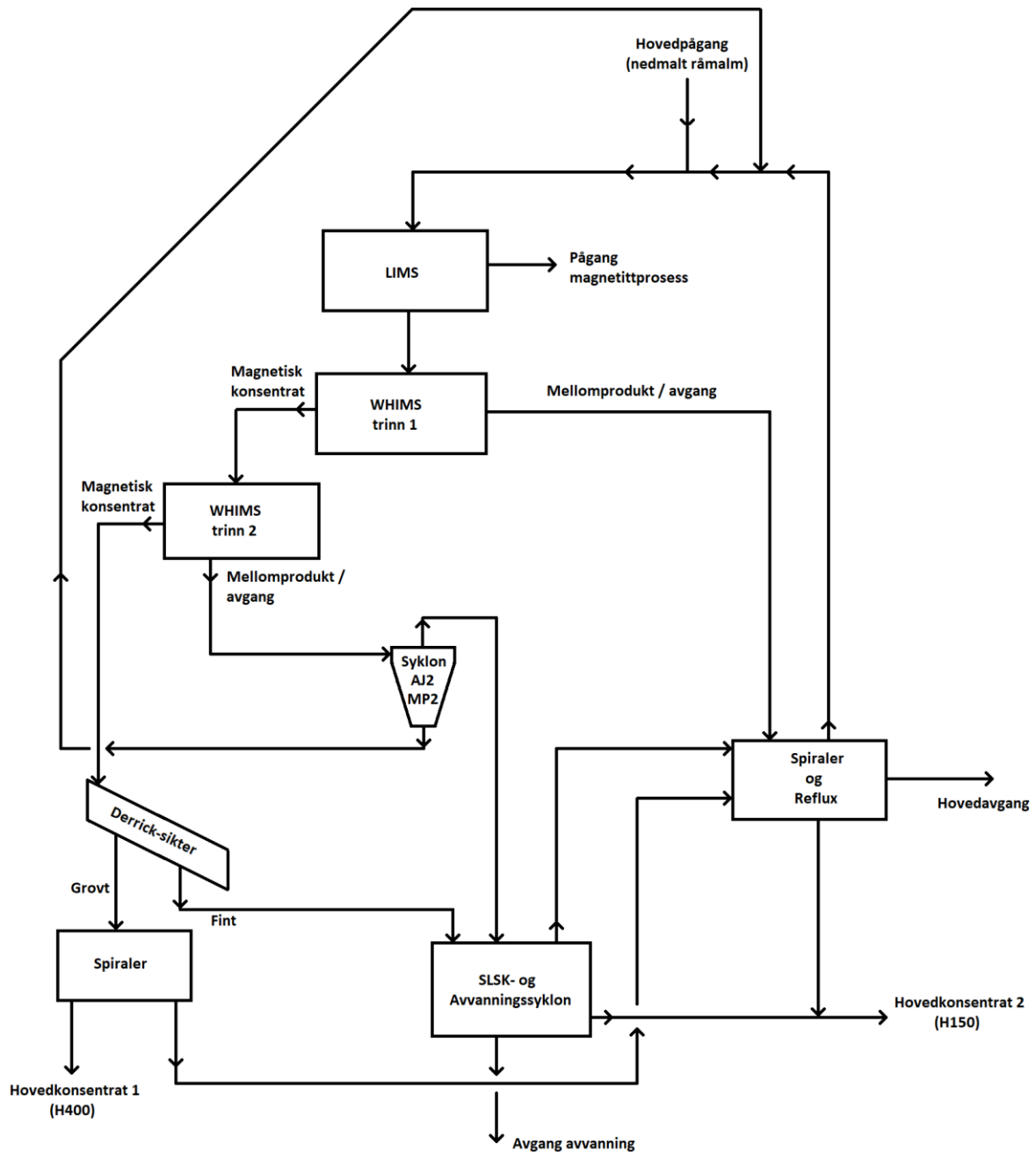
Som del av oppgaven ble det tegnet opp et forenklet flytskjema for prosessen, både for å begrense mengden nødvendige prøvetakingspunkter og av hensyn til konfidensiell informasjon. Det ble utarbeidet en prøvetakingsstrategi i samarbeid med RG, og gjort prøvetaking ved prosessanlegget deres. Prøvene ble tatt ved til sammen 15 forskjellige punkter i prosessen, og det ble benyttet røntgendiffraksjon (XRD), røntgenfluorescens (XRF) og sveipeelektronmikroskop (SEM) for å analysere prøvene. I tillegg ble programvarene *Bruker Quantax Espirit* og *PTA* benyttet for kvantitativ mineralogi og automatisk frimålingsanalyse.

Bakgrunn

Rana Gruber AS tar ut jernmalm på Storforshei både ved underjordsgruve- og dagbruksdrift. Malmen knuses før den transporteres med tog til prosessanlegget, som ligger i Gullsmedvika i Mo i Rana (<http://ranagruber.no>). Ved anlegget starter en våt prosess der malmen males ned i autogenmølle i lukket krets med sikter, slik at materialet males finere enn én millimeter før det går videre i prosessen. Det er valgt å avgrense oppgaven til å ta for seg prosessen etter disse siktene og fram til ferdig hematitkonsentrat.

Prosessbeskrivelse

Forenklet flytskjema til den avgrensede delen av prosessen som er dekket oppgaven er vist i figur 1 på neste side.



Figur 1: Forenklet flytskjema over prosessen dekket i oppgaven

Hovedpågangen til prosessen består av ferdig nedmalt malm i form av slurry, som er siktet og mindre enn 1 mm. Denne strømmen går til det første oppkonsentreringstrinnet i prosessen som er (våt) lavintensitet magnetseparering (Low Intensity Magnetic Separation, LIMS)

LIMS

LIMS-trinnet tar ut mesteparten av magnetitten i malmen som konsentrat og fører den til en egen prosess som er utenfor denne oppgavens omfang. Avgangen fra dette trinnet går som pågang til *WHIMS, trinn 1*.

WHIMS, trinn 1

I hematitt-løypa følger deretter to trinn med våt høyintensitets magnetseparasjon (Wet High Intensity Magnetic Separation, WHIMS). Konsentrat fra trinn 1 går videre som pågang til *WHIMS, trinn 2*. Avgangen fra trinn 1 går til *Spiraler og Reflux*.

WHIMS, Trinn 2

Konsentrat fra trinn 2 går videre til *Derrick-sikter*. Mellomprodukt og avgang fra trinn 2, går til hver sine hydrosykloner, forenklet representert i flytskjemaet som én syklon, *Syklon AJ2 MP2*.

Derrick-sikter

Konsentratet fra WHIMS, trinn 2 siktes her til en fin og en grov fraksjon. Grov fraksjon går videre til et steg med spiraler, mens den fine fraksjonen går til *SLSK- og Avvanningssyklon*.

Spiraler

Den grove fraksjonen av WHIMS-konsentratet blir videre oppkonsentrert med spiraler og går direkte som konsentrat, som i oppgaven henvises til som *Hovedkonsentrat 1*. Avgangen fra spiralene går til *Spiraler og Reflux*.

Syklon AJ2 MP2

Dette trinnet oppkonsentrerer avgangen fra WHIMS, Trinn 2, i underløpet, og sender den i retur som pågang til LIMS-trinnet. Avgangen fra dette trinnet går som pågang til *SLSK- og Avvanningssyklon*.

SLSK- og Avvanningssyklon

Dette trinnet i prosessen er forenklet. Får pågang fra finfraksjon fra *Derrick-sikter* og avgang (overløp) fra *Syklon AJ2 MP2*. Inne i kretsen oppkonsentreres og avvannes pågangene og vannet som tas ut, går ut av prosessen. Én ut-strøm fra dette trinnet går til *Hovedkonsentrat 2*, og en annen går som pågang til *Spiraler og Reflux*.

Spiraler og Reflux

Denne delen av prosessen er betydelig forenklet i flytskjemaet. Påganger til trinnet består av avgang fra WHIMS, trinn 1, en strøm av avvannet materiale fra *SLSK- og Avvanningssyklon*, og avgang fra det tidligere trinnet med spiraler. Ut fra dette prosesstrinnet går det to konsentrater, ett i retur som pågang til LIMS, og ett til

Hovedkonsentrat 2. Avgang fra dette trinnet representerer *Hovedavgang* for hele det forenklede flytskjemaet.

Tidligere beskrivelser av malm

For Storforshei jernforekomst er det karakterisert seks ulike malmtyper (Tøgersen et al. 2018). Disse malmtypene er definert med forskjellige grader av *grindability*, det engelske ordet for hvor energieffektivt en type materiale lar seg male ned (Wills and Finch 2015). Malmen RG prosesserer er hovedsakelig karakterisert til å være av typene *granulær-* og *spekulær-hematitt*, som viser høyere grindability enn de andre typene. Den tredje vanligste malmtypen er *hematitt-magnetitt*, som har høyere magnetittgehalt og noe lavere grindability enn de to vanligste malmtypene. De tre gjenstående malmtypene er ikke beskrevet som vanlige eller typiske for i malmen som utvinnes, selv om det nevnes at *mylonittisk-hematitt*, kan forekomme. Denne typen malm er relativt finkornet, har mer uregelmessige korngrenser, og er den med lavest grindability av alle de karakteriserte typene (Tøgersen et al. 2018).

Automatisk mineralogi med SEM

Ved SEM-analyse med deteksjon av *backscattered electrons* (BSE) kan tetthet i prøvemateriale kartlegges, og med detektorer for *energy dispersive spectroscopy* (EDS) kan elementinnhold analyseres.

Med BSE- og EDS-deteksjon med SEM, kan programvare brukes til å automatisk sette opp en analyseløype for å identifisere mineralinnhold per korn i prøver. Dette kalles *automatisk mineralogi*. Automatisk mineralogi har flere fordeler og ulemper (Tonžetić 2015):

Styrker:

- Evaluerer mange punkter på kort tid
- Mindre tilfeldige menneskelige feil
- Kosteffektivt i forhold til annet utstyr

Svakheter:

- Vanskelig eller umulig å skille mellom mineraler med lignende tetthet
 - F.eks. hematitt og magnetitt
- Krever omstendelig prøvepreparering for å unngå systematiske feil
 - F.eks. dårlig representative slip på grunn av sedimentering av store/tunge partikler
- Analysere gir kun resultat fra en 2D-flate

Ved frimalingsanalyse med automatisk mineralogi vil tilsetning av finkornet grafitt motvirke berørende partikler i slippreparering (Røisi and Aasly 2018). I tillegg kan bruk av polerslip med vertikale seksjoner motvirke effekt av sedimentering.

Grunnlag for utregninger

Ved utregning av massebalanser er det brukt en gjennomsnittstetthet på relevante mineraler, vist i tabell 1

Tabell 1: Tetthet for utvalgte mineraler (<http://www.webmineral.com>)

Mineral:	Tetthet: [g/cm ³]
Kvarts	2,62
Albitt	2,62
Muskovitt	2,82
Biotitt	3,09
Dolomitt	2,84
Diopsid	3,40
Magnetitt	5,15
Hematitt	5,30
Spessartin	4,18
Epidot	3,45
Hornblende	3,23
Kloritt	2,95
Sideritt	3,96

Kjemiske formler for jernholdige mineraler funnet i XRD er benyttet til å beregne jernprosent per mineral. I mineralene der jerninnholdet kan variere, er det regnet med maksimalt innhold av jern. En oversikt over jerninnhold per mineral er vist i tabell 2 under.

Tabell 2: Vektprosent av Fe per mineral (<https://snl.no/>)

Mineraler	Kjemisk formel	Vekt% Fe
Biotitt	$K(Mg, Fe, Al)_3Si_3O_{10}(OH, F)_2$	34,5
Magnetitt	Fe_3O_4	72,4
Hematitt	Fe_2O_3	69,9
Epidot	$KFe_3Si_3O_{10}$	37,2
Hornblende	$Ca_2(Mg, Fe, Al)_5(Al, Si)_8O_{22}(OH)_2$	29,0
Kloritt	$Fe_6Al_4O_{10}(OH)_8$	45,3
Sideritt	$FeCO_3$	48,2

Materialer og metoder

Materialer

Prøvematerialet ble tatt fra 15 punkter inne i den avgrensede delen av prosessen som oppgaven dekker. Før materialet kommer inn i den delen av prosessen er det malt ned i autogenmølle og siktet slik at alle partikler er mindre enn 1 mm.

Tabell 3 beskriver hvert prøvetakingspunkt og i tillegg er de vist i figur 2. Alle prøvetakingene har navn som er satt sammen av prøvetakingsnummer (1-, 2- eller 3-) og navn på prøvetakingspunkt, f.eks. 3-LA-W1P.

Tabell 3: Beskrivelse av prøvepunkter

Navn på punkt	Beskrivelse
HP	Hovedpågang til oppgavens avgrensede prosess. Ferdig malt malm fra autogenmølle. Pågang til LIMS-trinnet
LK	Konsentrat fra LIMS-trinnet. Går ut av oppgavens avgrensede område videre til en egen magnetittprosess.
LA-W1P	Avgang fra LIMS-trinnet, går som pågang til WHIMS, trinn 1.
W1K-W2P	Konsentrat fra første WHIMS-trinn. Går som pågang til andre WHIMS-trinn.
W1A-SRP	Avgang fra første WHIMS-trinn. Går som pågang til Spiraler og Reflux.
W2K-DP	Konsentrat fra andre WHIMS-trinn. Er pågang til Derrick-sikter.
W2M-LP	Middelprodukt fra andre WHIMS-trinn, går sammen med HP og SRM-LP og blir en felles pågang til første LIMS-trinn
SRM-LP	Et av konsentratene fra Spiraler og Reflux, går som pågang til LIMS
SRA-HA	Hovedavgang fra hematitt-prosessen.
DO-SDP	Fraksjon som går over Derrick-sikter. Går som pågang til Spiraler og Reflux.
SDK-HK1	Konsentrat etter Derrick-sikter. Hovedkonsentrat 1 (H400)
YA-SRP	Overløp SLSK-syklon. Går til SR-krets.
YK-HK2	Konsentrat SLSK-syklon, går til hovedkonsentrat 2 (H150)
HK2	Hovedkonsentrat 2 (H150)
VA-UA	Overløp avvanningsyklon. Er avgang

Metoder:

Utarbeiding av prøvetakingsprosedyre

Prøvetakingsprosedyren ble, i samarbeid med Rana Gruber AS, utarbeidet med mål om at:

- Det skulle være mulig å regne ut alle massestrømmer i den avgrensede prosessen fra registrerte faststoffprosent for hvert prøvetakingspunkt og tilgjengelige masse- og volumstrømdata fra bedriften.
- Mengden prøvetakingspunkter skulle tillate flere runder med prøvetaking, samtidig som arbeidsmengden med å preparere og analysere alle prøvene ikke skulle gå utover ønsket variasjon på analysemetodene som skulle benyttes.

Prøvetaking:

Prøvemateriale ble tatt ved 15 punkter i prosessen, på tre forskjellige dager, slik at det til sammen ble 45 forskjellige prøver. Hver prøve ble tatt som en samleprøve over tid, i tre inkremitter med to til tre timer mellomrom.

Da prøvene var våte ved prøvetaking, ble de veid opp, filtrert og tørket, og deretter veid opp på nytt for å finne tørrstoffprosent i de originale prøvene. I flere av prøvene hadde små partikler lagt seg som et lag på toppen av prøven og, under tørking, størknet sammen. Disse størknede lagene ble brukket opp i mindre biter med en skje, før det ble splittet ut 100 – 500 g fra hver prøve i riflesplitter. Før videre analyse ble alle prøvene sikket manuelt med en sikt på 495 µm, for å få tak i og løsne de siste finstoffbitene fra hverandre.

Preparering til XRD

Før XRD-analyser ble det splittet ut materiale fra alle prøvene på ca 10 g med en rotasjonssplitter. Splittene ble malt i en skivesvingmølle med kammer og malelegemer i stål, med hastighet på 710 rpm i 30 sekunder. Møllen ble rengjort med kvarts før den ble vasket mellom hver prøve.

Av hver prøve ble det ble målt opp materiale tilsvarende ca. 2 ml med en liten skje, og det ble tilsatt 10 ml etanol til mikronisering. Dette ble malt i 2 minutter i en mikroniseringsmølle fra McCrone, med malelegemer av agat, før prøvene ble tørket.

Mikronisert prøvemateriale ble deretter presset i prøvekopper, og overflaten forsiktig skjært av, for å oppnå en mest mulig jevn og flat overflate til analysen.

Preparering til XRF

For XRF-analysene ble det splittet ut materiale fra alle prøvene på ca. 20 g med en rotasjonssplitter. Prøvene ble malt i to og et halvt minutt i den samme skivesvingmøllen som for XRD-splittene. Deretter ble prøvene sendt til NGU for XRF-analyse.

Preparering av polerslip med vertikale seksjoner:

For preparering til polerslip ble det siktet ut fraksjoner på 74 – 208 µm og splittet ut ca. 5 gram prøve fra denne fraksjonen. Det ble målt opp 2,0 g prøvemateriale fra splitten og 0,50 g finkornet grafitt (< 20 µm), som ble blandet godt sammen. Til sammen 17 prøver ble preparert på denne måten, og deretter sendt til IGPs sliplab ved NTNU for preparering til 30 mm diameters polerslip med vertikale seksjoner.

XRD-analyse

Til XRD-analysen ble det benyttet en Bruker D8 Advance med Cu K-α-kilde og bølglengde 1,54056 Å, vinkler 2θ gikk fra 3 til 65 grader og steglengde var 0,01 grader. Laurentius Tjhuis ved XRD-laben ved IGP, NTNU, gjorde etteranalysen med å tilpasse mineralinnhold til kurven fra analysen.

SEM:

Til sammen 3 polerslip av 74-208 µm-fraksjon av hovedpågang og -avgang ble analysert med SEM. Polerslipene ble belagt med et tynt lag grafitt før analyse. Instrumentet brukt til analysen var et Hitachi SU-6600 sveipeelektronmikroskop med to Bruker XFlash 5010 EDS-detektorer installert. Ved analyse var akselerasjonsspenning satt til 20,0 kV, strømstyrke var 108 µA, og arbeidshøyde 15 mm.

SEM: automatisk mineralogi

Under SEM-analysen ble det satt opp et program ved å benytte analysemodulen *feature* i programvaren *Bruker Quantax Espirit 1.9*, for å identifisere mineral i hvert korn i slipet. Programmet identifiserte korn av forskjellige mineraler fra hverandre ved å differensiere på gråskala-bilder fra BSE-deteksjon. Grensene for hvilke deler av gråskalaen som skulle representere forskjellige mineraler og bakgrunn ble valgt manuelt. Programmet finner korngrenser ved å identifisere sammenhengende områder med gråtoner innenfor én og samme inndeling av spektrumet som ett korn.

Det ble satt opp løyper for automatisk analyse av hvert polerslip. Løypen ble utformet med hensikt om å få med så mye som mulig av prøvematerialet, og samtidig holde utvalget mest mulig representativt ved å unngå å registrere samme korn flere ganger. Deretter ble det utført automatisk analyse av alle korn ved EDS-deteksjon med ett sekund analysetid per korn.

Particle Texture Analysis (PTA) programvare ble brukt til å definere sammenhengende korn som partikler og definere ulike grader av frimaling for hvert mineral.

HHXRF:

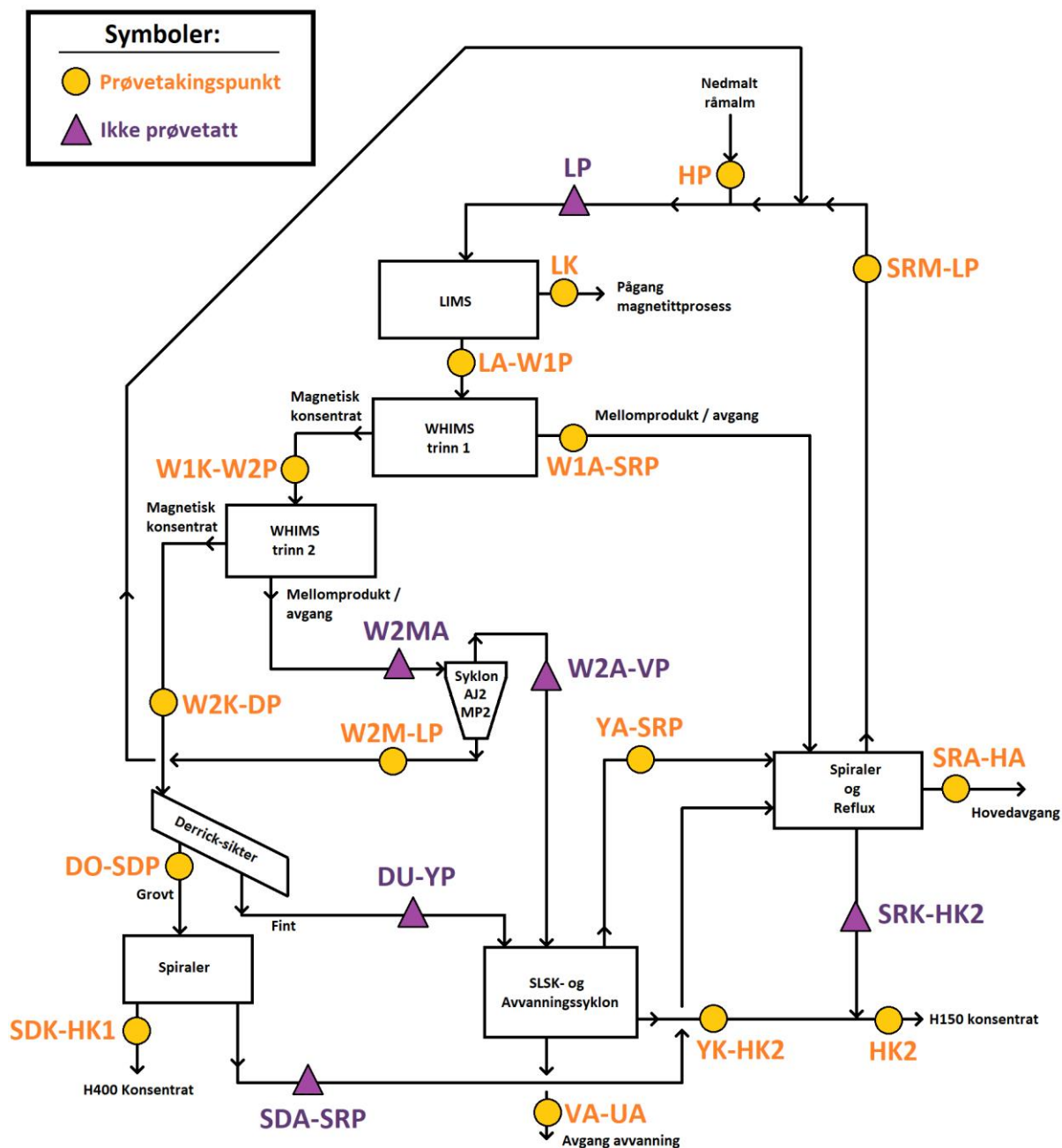
Det ble gjort analyser med håndholdt XRF (HHXRF) av typen Thermo Scientific™ Niton™ XL3t XRF på fraksjoner av fire forskjellige hovedpågangs- og hovedavgangsprøver. Hver analyse varte i 120 sekunder. Fraksjonene som ble analysert var <74 µm og 74 – 208 µm. Den minste fraksjonen ble analysert uten nedmaling, mens 74– 208 µm-fraksjonen

ble malt i skivesvingmølle på samme måte som tidligere beskrevet for XRD-prøver. Det ble analysert to punkter per preparerte prøve, og for <74 µm-fraksjonen ble det gjort to analyser per punkt i tillegg.

Resultater

Prøvetakingsprosedyre

Strømmene hvor det ble bestemt at det skulle tas prøver og hvor det ble vurdert at massestrøm og mineralbalanse skulle regnes ut er vist i figur 3. Valg av prøvetakingspunkter var basert på at prosessdata om massestrømmer skulle benyttes til utregning av resterende strømmer.



Figur 3: Flytskjema som viser dekning av prøvetaking. Runde punkter markerer strømmer der det er tatt prøve. Trekanter markerer strømmer som ble planlagt utregnet ved bruk av massebalanser.

Det ble valgt å gjennomføre prøvetaking på tre forskjellige dager for å forsøke å fange opp variasjoner i pågangsmalmen. Det ble også valgt å dele prøvetakingen for én dag opp i tre inkremitter, for å oppnå mer representative prøver.

Prøvetakingsrundene var planlagt på forhånd. Det ble satt ut markerte bøtter i forkant og mengde materiale som skulle tas i hvert inkrement, per punkt, var planlagt. Det ble tatt til sammen 45 delprøver per dag.

Prøvetaking

Prøvetaking ble utført ved de 15 planlagte punktene på tre forskjellige dager. 45 prøver ble tatt som planlagt. Av dem ble én prøve (2-W1K-W2P) tapt. I tabell 4 er tidspunktene for prøvetakingene registrert

Tabell 4: Tidspunkter for prøvetakinger

Dato/klokkeslett for prøvetakinger			
Inkremitter	07.mai	09.mai	10.mai
1.	15.30	12.00	20.00
2.	18.00	14.00	22.00
3.	21.00	16.00	00.00

Volumstrømsdata fra prosessen er presentert i tabell 5. Dataene er oppgitt fra prosessdata samlet inn av RG.

Tabell 5: Gjennomsnittlige volumstrømmer for prøvetakingsdagene

Strømningspunkt	Volumstrømmer [m ³ /time]		
	Dag 1	Dag 2	Dag 3
LP	980,44	948	850
W2A-VP	1026	1030	1029
DO-SDP	190	189	191
W2MA	992	816	790
LK	172	171	172
W1A-SRP	574	553	549

Massestrømsdata fra prosessen er presentert i tabell 6. Disse dataene er oppgitt av RG.

Tabell 6: Gjennomsnittlige massestrømmer for de aktuelle dagene.

Strømningspunkt	Massestrømmer [tonn/time]		
	Dag 1	Dag 2	Dag 3
HP	659	560	655
SDK-HK1	151	106	137
HK2	106	99	48
Strøm X	8	6	38
SRA-HA + VA-UA + (LK -Strøm X)	394	350	432

XRD:

XRD-analyser ble utført på alle de 44 hovedprøvene. Gjennomsnittlig mineralinnhold for alle prøvetakingspunkter er presentert i tabell 7.

Tabell 7. Gjennomsnittsgehalter av alle mineraler for hvert prøvetakingspunkt.

Prøvepunkts-ID	Mineral [%]:												
	Kvarts	Albitt	Muskovitt	Biotitt	Dolomitt	Diopsid	Magnetitt	Hematitt	Spessartin	Epidot	Hornblende	Kloritt	Sideritt
HP	28,1	7,3	3,6	1,0	6,5	9,1		42,9	1,6				
LK	11,0	3,1	1,7	< 1	3,5		62,4	16,3			< 1	1,3	
LA-W1P	30,6	7,2	4,0	1,2	7,0	8,0		41,5	< 1				
W1K-W2P	9,9	2,5	2,0	< 1	6,1	4,5		70,9	1,6		1,6		
W1A-SRP	51,5	12,8	6,1	2,0	8,4	3,7		11,5			1,5	1,7	< 1
W2K-DP	2,9		1,2	< 1	4,9		< 1	87,3	2,0		< 1		
W2M-LP	24,1	5,1	3,2	1,1	10,0	6,5		47,6	< 1		1,7		< 1
DO-SDP	2,9	< 1	1,7	< 1	4,0	1,3	1,2	85,2	1,2		1,1		
SDK-HK1	1,7		1,1	< 1	3,3			91,9	1,0		< 1		
YK-HK2	< 1			< 1			< 1	94,0		4,4			
HK2	< 1			< 1				94,5		4,2	< 1		
YA-SRP	16,3	8,0	5,8	1,9	12,5	8,5	1,2	37,8	2,8		2,6	1,8	< 1
VA-UA	18,9	10,4	7,4	3,2	12,6	7,1	1,3	29,7	4,4		3,0	1,5	< 1
SRM-LP	5,7	< 1		< 1	4,1			86,2	1,3		1,0		
SRA-HA	48,5	12,1	5,9	1,7	9,1	5,1		13,9			1,5	1,4	< 1

Jerninnhold per prøvepunkt, utregnet fra mineraler funnet ved XRD-analyse er vist i tabell 8.

Tabell 8: Total jernprosent for hvert punkt, beregnet fra mineraler funnet ved XRD-analysen

Prøve:	Total Fe [%]
HP	30,3
LK	57,3
LA-W1P	29,5
W1A-SRP	10,3
W1K-W2P	50,3
W2M-LP	34,3
W2K-DP	62,0
SRM-LP	60,9
SRA-HA	11,8
YA-SRP	29,9
VA-UA	24,6
DO-SDP	60,9
SDK-HK1	64,6
YK-HK2	67,9
HK2	68,0

XRD-analyser på 74 – 208 µm-fraksjon er gjort på hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA) fra første og tredje prøvetakingsdag. Resultatene er vist i tabell 9.

Tabell 9: Mineralsammensetning for 74 – 208 µm-fraksjonen av hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA) for individuelle prøvetakinger.

Prøver:	Gehalter for 74 – 208 µm-fraksjonen [%]			
	1-HP	3-HP	1-SRA-HA	3-SRA-HA
Mineral:				
Kvarts	24,76	24,38	51,74	51,35
Albitt	4,55	4,58	8,95	10,47
Muskovitt	1,42	4,23	7,83	7,96
Biotitt	1,16	1,29	1,88	1,77
Dolomitt	6,08	5,78	10,36	10,64
Diopsid	5,25	5,83	4,57	4,67
Magnetitt	< 1	< 1		
Hematitt	55,65	52,18	11,32	9,77
Spessartin	< 1	< 1		
Epidot				
Hornblende			1,26	1,32
Kloritt			1,16	1,15
Sideritt			< 1	< 1

Noen av de mest interessante individuelle prøvetakingene presentert samlet i tabell 10

Tabell 10: Individuelle dagsmålinger XRD

Prøvepunkt:	Mineral [%]:												
	Kvarts	Albitt	Muskovitt	Biotitt	Dolomitt	Diopsid	Magnetitt	Hematitt	Spessartin	Epidot	Hornblende	Kloritt	Sideritt
1-HP	28,42	6,18	3,35	<1	6,29	8,14		45,74	1,10				
2-HP	28,05	8,06	3,76	1,39	6,47	9,28		41,03	1,96				
3-HP	27,85	7,51	3,83	<1	6,63	9,79		41,92	1,64				
1-LK	11,25	2,73	1,23	<1	3,39		62,63	16,94			<1	1,09	
2-LK	8,90	2,72	1,25	<1	3,77		67,59	13,83			<1	1,30	
3-LK	12,97	3,94	2,50	<1	3,21		56,83	18,06			<1	1,48	
1-SRA-HA	48,65	11,73	5,76	1,27	9,27	4,95		14,80			1,12	1,59	<1
2-SRA-HA	47,54	11,63	6,02	2,01	9,16	5,46		14,17			1,79	1,38	<1
3-SRA-HA	49,38	12,82	5,97	1,72	8,88	4,97		12,73			1,53	1,32	<1
1-VA-UA	21,52	11,25	8,31	3,56	12,45	6,19		28,25	2,52		3,12	1,91	<1
2-VA-UA	17,76	10,29	7,25	3,55	13,29	7,34	1,89	29,83	4,42		3,02	<1	<1
3-VA-UA	17,40	9,65	6,51	2,54	11,95	7,79	1,94	30,98	6,30		2,72	1,66	<1
1-HK2	<1			1,31				94,88		3,72			
2-HK2	<1			<1				93,68		4,35	1,31		
3-HK2	<1			<1				94,83		4,63			
1-SDK-HK1	1,07		1,05	<1	3,13			92,00	1,33		<1		
2-SDK-HK1	1,94		<1	<1	3,44			91,86	1,17		<1		
3-SDK-HK1	2,00		1,28	<1	3,28			91,70	0,52		<1		

XRF:

XRF-analyser ble utført ved NGU på alle de 44 hovedprøvene. Resultater i form av elementinnhold i hvert prøvetakingspunkt er presentert i tabell 11.

Tabell 11: Vektprosent av hovedelementer per prøvetakingspunkt fra XRF-analyse. Det er hovedsakelig Fe-innhold som er interessant å se på.

Prøvepunkts-ID	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Ca	Na	K	Mn	P	O	Glødetap*	Sum Hoved
*	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
HP	16,0	2,43	32,7	0,204	1,07	2,94	0,37	0,723	0,542	0,177	37,5	3,700	98,4
LK	6,1	1,31	53,5	0,151	0,69	1,31	0,19	0,402	0,382	0,090	32,7	-0,383	96,4
LA-W1P	17,1	2,69	29,5	0,208	1,22	3,33	0,41	0,797	0,623	0,190	38,0	4,287	98,4
W1K-W2P	5,7	1,67	50,5	0,292	0,96	2,28	0,18	0,433	0,757	0,077	32,1	2,920	97,8
W1A-SRP	28,0	3,74	9,2	0,131	1,53	4,38	0,64	1,16	0,498	0,315	43,7	5,677	98,9
W2K-DP	1,77	0,93	59,1	0,316	0,55	1,24	0,09	0,166	0,658	0,028	29,7	1,453	96,0
W2M-LP	13,7	2,46	33,9	0,186	1,40	3,81	0,29	0,710	0,704	0,152	35,9	5,040	98,2
DO-SDP	1,79	0,87	59,9	0,246	0,54	1,08	0,09	0,182	0,493	0,027	29,8	1,290	96,3
SDK-HK1	1,21	0,71	62,4	0,241	0,45	0,91	0,06	0,130	0,412	0,026	29,9	1,038	97,5
YK-HK2	0,82	0,59	63,6	0,370	0,37	0,731	0,05	0,076	0,459	0,022	29,8	0,733	97,6
HK2	0,47	0,57	64,0	0,374	0,36	0,71	0,06	0,070	0,492	0,020	29,6	0,681	97,4
YA-SRP	13,4	3,93	28,3	0,313	1,95	5,03	0,44	1,21	1,55	0,221	36,0	6,590	98,8
VA-UA	15,7	4,60	22,1	0,290	2,20	5,34	0,56	1,51	1,72	0,247	37,2	7,240	98,8
SRM-LP	2,60	0,83	58,3	0,257	0,47	1,59	0,10	0,105	0,388	0,193	30,4	1,412	96,6
SRA-HA	26,4	3,79	11,0	0,152	1,61	4,55	0,61	1,19	0,605	0,318	42,8	5,873	98,9

HHXRF:

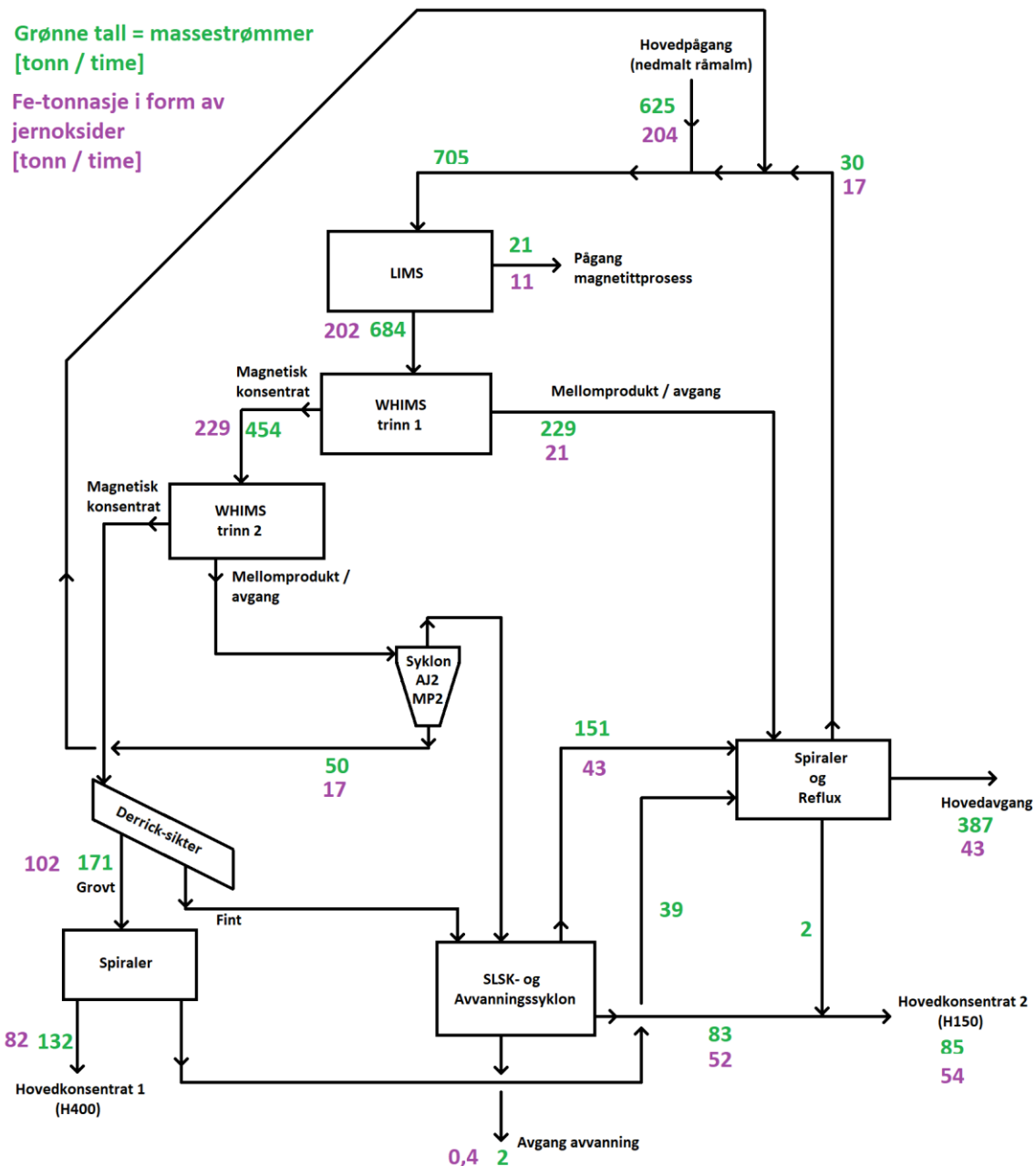
Det ble gjort analyser med håndholdt XRF på siktede fraksjoner av hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA). Jernprosenten i prøvene er presentert i tabell 12.

Tabell 12: Tabellen viser gjennomsnittlig jernprosent funnet ved HHXRF i fraksjonsprøver fra hovedpågang (HP) og hovedavgang (SRA-HA)

Prøve:	Fe [%]	Fe Feil [%-poeng]
HP (74-208 μm)	38,0	0,39
HP (<74 μm)	29,4	0,26
SRA-HA (74-208 μm)	7,7	0,06
SRA-HA (<74 μm)	16,1	0,12

Massestrømmer og jern

I figur 4 er det presentert et forslag til massestrømmer i det forenklete flytskjemaet til oppgaven, basert på prosessdata fra RG, kvalifiserte gjetninger og noe regning av massebalanse fra XRD-analysen. Utrekningene er lagt ved i *vedlegg 1*. Jerntonnasje er regnet ut fra massestrømmene og jerninnhold ved prøvepunkter basert på XRF-analysen, fra tabell 11.



Figur 4: Massestrøm og Fe-tonnasje

SEM:

Seks forskjellige polerslip av hovedpågang (HP), hovedavgang (SRA-HA), og konsentrat fra WHIMS trinn 1 (W1K-W2P), (74 – 208 µm) ble analysert med SEM for mineralinnhold, men tre av analysene måtte forkastes på grunn av mangler ved resultatene eller andre feil. Det ble gjort frimalingsanalyse på slipene som hadde brukbare analyseresultater. Resultatene av analysene består av mineralsammensetning og frimaling for hematitt.

Tre slip ble analysert, to av hovedpågang (HP) og ett av hovedavgang (SRA-HA). Mineralsammensetning for slipene er vist i tabell 13 og -14 under.

Tabell 13: Mineralfordeling per slip fra SEM-resultater

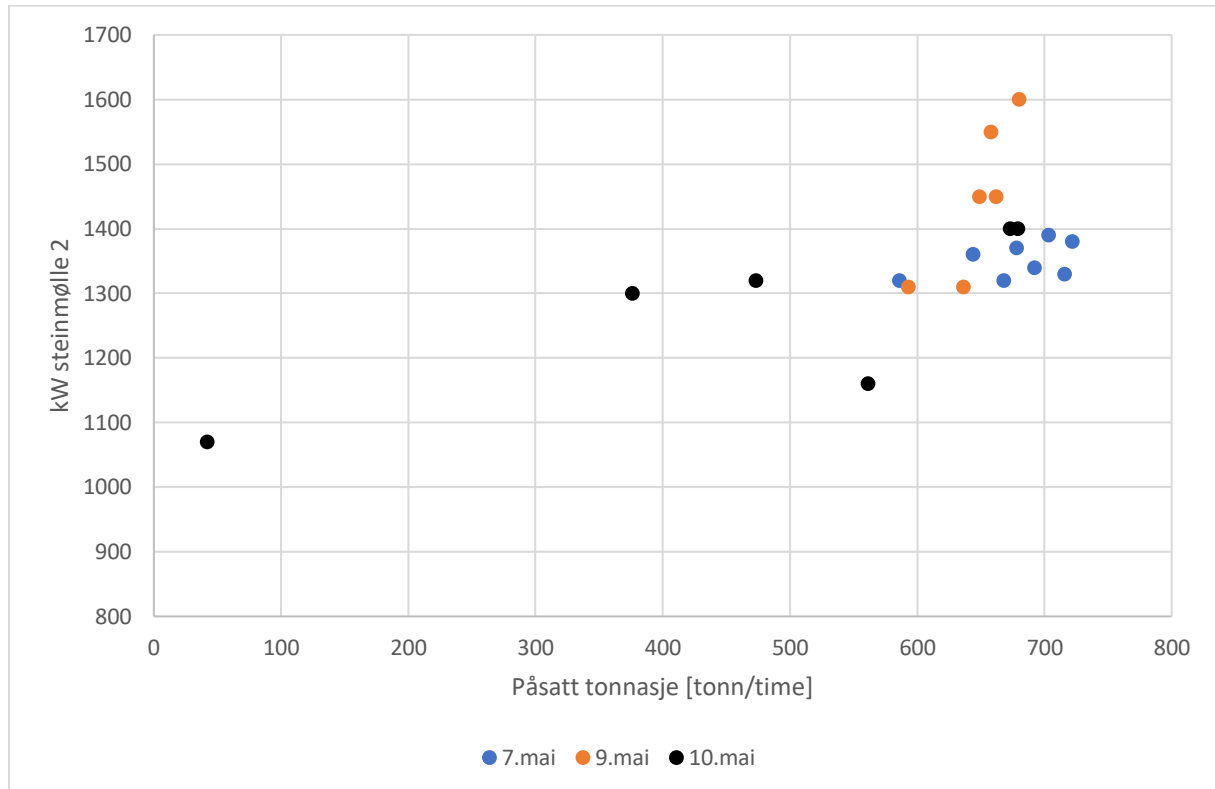
Mineral	Prøvemateriale (74 – 208 µm)		
	1-HP	3-HP	3-SRA-HA
Hematitt	66,00 %	66,14 %	12,13 %
Kvarts	16,14 %	14,10 %	41,81 %
Biotitt	4,51 %	4,83 %	11,67 %
Dolomitt	3,71 %	3,80 %	9,10 %
Plagioklas	3,41 %	3,58 %	11,08 %
Uklassifisert	2,31 %	2,78 %	5,36 %
Epidot	1,66 %	1,30 %	2,02 %
Kalkspat	1,25 %	2,04 %	4,33 %
Apatitt	0,44 %	0,55 %	1,28 %
Andre	0,56 %	0,85 %	1,23 %
Total	99,99 %	99,97 %	100,01 %

Tabell 14: Hematitt frimaling vektprosent fordelt på grad av frimaling per prøve.

Andel hematitt per partikkel	Slip (74 – 208 µm-fraksjon):		
	1-HP	3-HP	3-SRA-HA
Helt frimalt	90,67 %	91,75 %	80,59 %
0.95 - <1.00	4,82 %	3,49 %	5,02 %
0.90 - 0.95	1,35 %	1,02 %	0,91 %
0.75 - 0.90	1,52 %	2,01 %	2,43 %
0.50 - 0.75	0,63 %	0,80 %	2,89 %
0.25 - 0.50	0,55 %	0,50 %	1,43 %
0.10 - 0.25	0,17 %	0,17 %	3,73 %
0.05 - 0.10	0,16 %	0,15 %	1,47 %
0.00< - 0.05	0,14 %	0,10 %	1,52 %
Total	100,01 %	99,99 %	99,99 %

Energiforbruk autogenmølle

Energiforbruket til autogenmølla som lager hovedpågangen til oppgavens avgrensede del er vist i figur 5. Andre prøvetakingsdag, 9. mai, hadde mølla et høyere energiforbruk per tonn enn de andre to prøvetakingsdagene.



Figur 5: Energiforbruk per tonn pågang til Steinmølle 2 for de dagene det ble prøvetatt

Diskusjon

Prøvetakingsstrategi

Da det skulle tas 45 prøveinkrementer hver dag, var det viktig å ha planlagt godt på forhånd. Prøvetakingen var lagt opp slik at hver runde kunne utføres på én time eller kortere tid.

Et problem med prøvetakingsstrategien var at den ikke var utarbeidet spesielt med tanke på hvor de nødvendige målerne for prosessdata/massestrømmer var installert, da disse var ikke kartlagt på forhånd. I tillegg var prosessdataene oppgitt i volumstrøm og det var ikke sett på oversikt over data på vanntilsetning i prosessen. Etter all prøvetaking viste det seg at det manglet prosessdata for å regne ut massebalanser for alle strømmer i systemet. Det var ikke kartlagt godt nok på forhånd hvilke prosessdata som faktisk var tilgjengelig. Dette hadde stor innvirkning på hvor gode massestrømsberegninger som kunne gjøres, og disse beregningene var en stor del av bakgrunnen for diskusjonen av effektiviteten til de forskjellige trinnene i prosessen.

På grunn av den naturlige variasjonen i malmen, ble det valgt å ta prøver på tre forskjellige dager, for å forsøke å fange opp forskjellige kvaliteter av malm. Oppholdet ved bedriften var kort og begrenset dermed mulig utstrekning i tid for de forskjellige prøvetakingene. Alle prøvene ble tatt innenfor en periode på fire dager, noe som begrenser hvor store variasjoner i malm man skal kunne forvente å se.

XRD-resultater

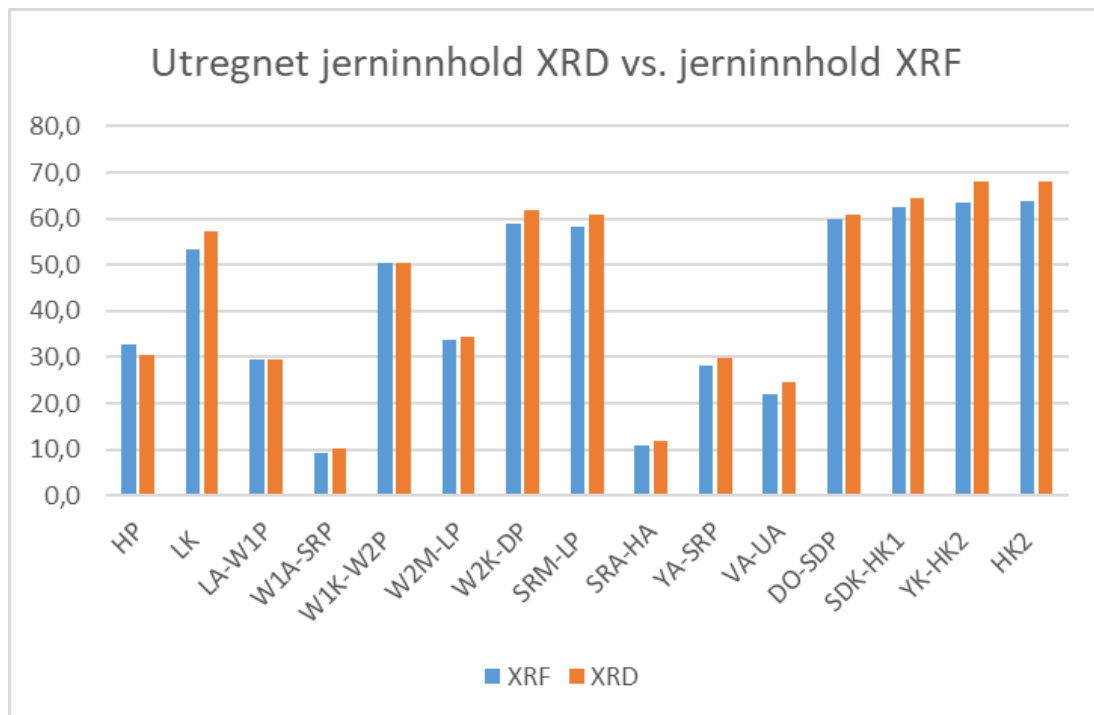
Resultatene fra XRD-analysen består av mineralsammensetning for hvert prøvetakingspunkt. I tillegg er det gjort analyse på 74-208 µm-fraksjonen til fire prøvetakinger fra hovedpågang (HP) og -avgang (SRA-HA). Det er funnet til sammen 13 forskjellige mineraler i prøvene. For hvert av de 13 mineralene funnet i XRD-analysene ble det regnet ut en jernprosent, og dette ble, sammen med gehaltene fra XRD, satt sammen til total jernprosent per prøvetakingspunkt, basert på mineralinnhold. Dette jerninnholdet kan sammenlignes med totalt jerninnhold per prøvepunkt funnet i XRF-analyse. Når en prøve inneholder under 1 vektprosent av et mineral, blir XRD-resultatene for mineralet unøyaktige og er derfor angitt som «< 1» i resultatene.

XRF-resultater

XRF-resultatene er benyttet til å beregne jerntonnasjer i prosessen.

Sammenligning XRD- og XRF-resultater

Jernprosenten funnet ved utregning fra XRD-resultatene stemmer ganske godt overens med jernprosenten fra XRF-resultatene, illustrert i figur 6. Dette taler for at XRD-resultatene har god kvalitet, da XRF, er en mer nøyaktig metode. Resultater fra XRD gir likevel mest nyttig info fra et mineralprosesseringsstandpunkt, fordi det er gehalten av de økonomiske mineralene i konsentratene som definerer kvaliteten, mens jerngehalten alene fungerer mer som en pekepinn på kvalitet.



Figur 6: Jerninnhold regnet fra XRD vs. jerninnhold regnet fra XRF

Massebalanse

For enkelte av de automatiske målingene fra prosessen, som skulle være basis for de utregnede massestrømmene, var ikke måleutstyr installert, noe som ikke ble oppdaget før prøvetakingen allerede var gjort. Derfor var det umulig å lage en massebalanse for hele prosessen uten å gjette tonnasjen i enkelte strømmer. Likevel ble det laget et forslag til massestrømmer for de fleste av strømmene i det forenklete flytskjemaet, basert på de data som var tilgjengelige. Det er benyttet en kombinasjon av massebalanseregning, kvalifiserte gjett og «prøving og feiling», for å forsøke å lage et mest mulig virkelighetsnært bilde av massestrømmene i oppgaven.

Malmvariasjoner og innvirkning oppredningen

I tabell 10 kan man se tydelige forskjeller i mengde hematitt i hovedpågang (HP) fra den første til de to siste prøvetakingsdagene. I resultatet fra den første dagen er hematittinnholdet relativt høyt, i forhold til dag 2 og -3.

Ser i tabell 10, på LK-målingene en merkbart høyere andel magnetitt i prøvetaking fra dag 2, i forhold til de andre dagene. I figur 5 viser det at malmen fra andre prøvetakingsdag krevde høyere kW per tonn for å males ned. Dette kan tyde på at malmen denne dagen var mer tungmalt (lavere grindability). Sett i sammenheng med undersøkelsene til Tøgersen og det høyere magnetittinnholdet i 2-LK, kan det indikere et høyere innhold av hematitt-magnetitt-malm.

Frimaling og dens betydning på mineralstrømmer

Det ble gjort SEM-analyser på 6 slip, men tre av analysene måtte forkastes på grunn av feil. Resultatene fra analysene består av blant annet frimalings

Det ble ikke gjort mange frimalingsanalyser i oppgaven. En av grunnene til det er at arbeidet med SEM ble gjort sent på

Hvorfor går jern i avgang

Generelt vises det fra resultater fra HHXRF, høyere jerngehalter i den fine partikkelfraksjonen i avgangen Dette er små partikler som lett kan bli sveipet med av vannstrøm i den våte prosessen.

Feilkilder

SEM-resultater:

Det ble analysert i kun ett sekund per korn under den automatiske analysen. Som kan ha ført til at mineraler har blitt feilklassifisert. Dette kan føre til flere uklassifiserte korn på grunn av for dårlig grunnlag for klassifisering.

Da det ble satt opp skiller i gråskala for å identifisere korn til SEM kan flere forskjellige mineraler ha blitt definert som samme mineral og dermed vil enkelte korn som ligger nær hverandre i egenvekt se ut som samme mineral og dermed også samme korn i enkelte analyser. Dette vet man at gjelder for hematitt og magnetitt, som ligger nær hverandre i egenvekt og kan også ha vært årsaken til enkelte uklassifiserte korn.

Det ble også, ved en feil, registrert at mye av kantene på partikler/korn ikke skulle tas med i analysen gjort med PTA. En slik feil vil kunne føre til at en betydelig del av arealet til små korn ikke tas med i analysen, mens det har en mye mindre effekt på totalt areal registrert for store korn. Dette kan for eksempel føre til at mineraler som lett lar seg male ned, konsekvent registreres med lavere arealprosent enn mineraler som er vanskeligere å male ned.

Generelle feilkilder og svakheter

Forskjellige punkter i produksjonen ble ikke prøvetatt i samme rekkefølge som malmen beveger seg gjennom systemet og det finnes heller ingen oversikt over hvor fort malmen beveger seg i produksjonen. Dette gir blant annet feil i massestrømsberegning og gehalter. Ved å ta forskjellige inkremitter vil denne feilen utjevnes. Det vil alltid kunne samles opp malm i kretser inne i prosessen og det kan medføre til feil i massestrømsberegninger.

Konklusjon

Litteraturstudium beskriver malmvariasjoner fra jernforekomsten det utvinnes fra. De vanligste malmtypene, males lettest ned. Enkelte resultater kan tyde på at 1 av 3 dager hadde en malm med lavere grindability. Men det var for få resultater til å si noe sikkert. Mulig videre arbeid på variasjoner i pågang og deres effekt på oppredning burde ha større antall prøver og burde konsentreres mer rundt pågang, konsentrater og avgang.

Automatisk mineralogi ga ikke mange resultater på frimaling, og generelt var det dårlige resultater på hematitinnhold, som var feil. Videre arbeid med slip fra oppgaven kan være en ide, da kun 3 av 17 slip fra arbeidet er benyttet i denne oppgaven.

Hematitt i avgang foreligger hovedsakelig i små korn.

Kilder

Holmes, R. J., and L. Lu. 2015. '1 - Introduction: overview of the global iron ore industry.' in Liming Lu (ed.), *Iron Ore* (Woodhead Publishing).

<http://ranagruber.no>. 'Rana Gruber AS', Accessed 05.08. <http://ranagruber.no>.

<http://www.webmineral.com>. 'Mineral densities', Accessed 05.08. <http://www.webmineral.com>.

<https://snl.no/>. 'Kjemisk formel for mineraler', Accessed 05.08. <https://snl.no/>.

Røisi, Ida, and Kurt Aasly. 2018. 'The effect of graphite filler in sample preparation for automated mineralogy—a preliminary study'.

Tonžetić, I. Ž. 2015. '5 - Quantitative analysis of iron ore using SEM-based technologies.' in Liming Lu (ed.), *Iron Ore* (Woodhead Publishing).

Tøgersen, Marte Kristine, Rolf Arne Kleiv, Steinar Ellefmo, and Kurt Aasly. 2018. 'Mineralogy and texture of the Storforshei iron formation, and their effect on grindability', *Minerals Engineering*, 125: 176-89.

Wills, Barry A, and James Finch. 2015. *Wills' mineral processing technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery* (Butterworth-Heinemann).

Vedlegg

Vedlegg 1: Massebalans

Vedlegg 1: Massebalanse

Massebalanse

For å se på mengder mineraler og grunnstoff som går gjennom hele systemet og de forskjellige prosessene, så må massestrømmen bestemmes. I prosessen blir det lagt til varierte mengder vann hvor det skulle være nødvendig. På grunn av dette kan ikke volumstrømmen brukes direkte. I de forskjellige prøvepunktene er det blitt beregnet en faststoff vekt% etter å ha fjernet vannet fra prøven. Dette gjør at noen områder kan massestrømmen regnes ut ifra volumstrømmen etter å ha funnet en gjennomsnittlig tetthet for de forskjellige prøvepunktene basert på XRD resultatene. Det ble oppgitt 7 volumstrømmer. Det er også oppgitt den totale pågangen av faststoff, og de totale mengdene konsentrat og avgang.

Prøvepunkter	Tetthet g/cm ³	Fast vekt%	Fast volum%		Volum strøm m ³ /time	massestrøm tonn/time
HP	3,89	0,590	0,270		594,2	624,5
LK	4,65	0,112	0,026		171,7	21,0
LA-W1P	3,83	0,518	0,219			683,5
W1A-SRP	3,02	0,322	0,136		558,7	229,4
W1K-W2P	4,61	0,351	0,105			454,2
W2M-LP	4,00	0,560	0,242		51,8	50,1
W2K-DP	5,03	0,464	0,147			ukjent
SRM-LP	4,97	0,099	0,022		280,2	30,0
SRA-HA	3,10	0,204	0,076			387,1
YA-SRP	3,85	0,071	0,020			150,6
VA-UA	3,66	0,032	0,009			1,9
DO-SDP	4,98	0,524	0,181		190,0	171,2
SDK-HK1	5,11	0,349	0,095			132,0
YK-HK2	5,19	0,666	0,278			82,5
HK2	5,19					84,5
LP					926,1	704,5
DU-YP						ukjent
SDA-SRP						39,2
SRK-HK2						2,0
W2A-VP					1026,0	ukjent

Tabell 1: utregnet massestrøm tonn/time

Mineral:	Tetthet: g/cm ³
Kvarts	2,62
Albitt	2,62
Muskovitt	2,82
Biotitt	3,09
Dolomitt	2,84
Diopsid	3,40
Magnetitt	5,15
Hematitt	5,30
Spessartin	4,18
Epidot	3,45
Hornblende	3,23
Kloritt	2,95
Sideritt	3,96

Tabell 2: Gjennomsnittlig tetthet for mineraler i prøvene.

Prøvepunkter	Tetthet g/cm ³
HP	3,89
LK	4,65
LA-W1P	3,83
W1A-SRP	3,02
W1K-W2P	4,61
W2M-LP	4,00
W2K-DP	5,03
SRM-LP	4,97
SRA-HA	3,10
YA-SRP	3,85
VA-UA	3,66
DO-SDP	4,98
SDK-HK1	5,11
YK-HK2	5,19
HK2	5,19

Tabell 3: gjennomsnittlig tetthet for prøvene regnet ut fra XRD data

Noen antagelser er tatt på grunn av manglende massestrømmer:

- VA-UA er mye lavere enn SRA-HA. Setter $VA-UA = (SRA-HA) \cdot 0.005$

Vet at total avgang i timen er 393,9 tonn. Vet også at totalavgang er:

$$VA-UA + SRA-HA + avgang(LK)$$

Avgang(LK) er avgangen var prosessen etter LK. Vet at LK er 25,1 tonn/time. Vet at det produsert konsentratet fra LK er T-M40, som er 7,8 tonn/time.

Avgang(LK) = 25,1-7,8=17,3 tonn/time.

VA-UA + SRA-HA = 376,8 tonn/time.

- Setter SRM-LP til 30 tonn/time. 6 av 7 WHIMS-maskiner leverer avgang via W1A-SRP til SR-krets.. Én maskin leverer til hovedpågang. Strømmen SRM-LP består kun av oppgradert materiale fra W1A-SRP. Ved å se på hematitinnhold fra XRD-analyse i W1A-SRP og SRM-LP ser man at 11,5 % hematitt i førstnevnte og 86,2 % hematitt i sistnevnte betyr at 86,2% av total masse i SRM-LP kan maksimalt bestå av 11,5 % av totalmassen i W1A-SRP.

$$\text{Maksimal mulig tonnasje i SRM - LP} = \frac{289,4 \cdot 0,115}{0,86} = 38,7 \text{ tonn/time}$$

Derfor kan ikke SRM-LP være større enn 38,7 tonn/time totalt. Det er derimot svært usannsynlig at 100 % av hematitten i W1A-SRP er utvunnet i dette trinnet, så det er antatt at massen vil være en del lavere. Et rundt anslag er 30 tonn/time.

- SRK-HK2 er antatt veldig liten og satt til 2 tonn/time fordi det er veldig lite forandring mellom YK-HK2 og HK2.
- HP, HK2, og SDK-HK1, er fra tabell med tonnasje og driftstimer.
- Vi finner volumstrømmen til W2M-LP med å ta volumstrømmen fra LP, og trekke fra tilførselen av volum fra SPM-LP og HP. HP og SPM-LP volumstrømmer regne ut ifra massestrømmen og
- Vi antar at fast stoff som går inn i en prosess og et knutepunkt, må være likt fast stoff som går ut. Det forsvinner ikke fast stoff i noen knutepunkter eller prosesser.
vekt fast stoff inn = vekt fast stoff ut
- I prosesser der det ikke tilsettes eller tas ut vann kan vi sette: *Volum inn = volum ut*
- Fast volum% er regnet ut ifra fast vekt% og gjennomsnittlig tetthet for prøvene.

$$\text{fast volum\%} = \frac{\left(\frac{\text{vekt fast stoff}}{\text{tetthet fast stoff}} \right)}{\left(\frac{\text{vekt vann}}{\text{tetthet vann}} + \frac{\text{vekt fast stoff}}{\text{tetthet fast stoff}} \right)}$$

- Massestrøm i tonn/time utregnet med volumstrøm er gjort på følgende måte:

$$\text{massestrøm} \frac{\text{tonn}}{\text{time}} = \text{tetthet prøve} \frac{\text{tonn}}{\text{m}^3} * \text{fast volum \%} * \text{volumstrøm} \frac{\text{m}^3}{\text{time}}$$

Det som står igjen da er W2K-DP, DU-YP og W2A-VP. Et av problemene er at i syklonene AJ2 og MP2 blir det lagt med en ukjent mengde vann. Dette gjør at volumstrømmen i W2A-VP ikke kan brukes til noen utregning. Hadde vi hatt en prøve i W2A-VP kunne vi regnet ut de 2 manglende massestrømmene.

