

Rolf Arne Kleiv

Fysiske og kjemiske egenskaper til flotasjonsavgang fra Nussir- og Ulveryggen-forekomstene

**En supplert sammenstilling av laboratorieresultater
fra SGS Mineral Services, Canada.**

Trondheim, 17. mai 2011

M-RAK 2011:7

NTNU
Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk
Faggruppe for mineralproduksjon og HMS

RAPPORT

Faggruppe for mineralproduksjon og HMS

TITTEL			
Fysiske og kjemiske egenskaper til flotasjonsavgang fra Nussir- og Ulveryggen-forekomstene - En supplert sammenstilling av laboratorieresultater fra SGS Mineral Services, Canada.			
RAPPORT NR. M-RAK 2011:7		DATO 17. mai 2011	GRADERING Konfidensiell
PROSJEKT NR.	YTTERLIGERE REFERANSE	SPRÅK Norsk	ANTALL SIDER 25
FORFATTER(E) Rolf Arne Kleiv		ANSVARLIG SIGNATUR _____ Rolf Arne Kleiv	
OPPDRAGSGIVER Nussir ASA		OPPDRAGSGIVERS KONTAKTPERSON Øystein Rushfeldt	
OPPDRAGSGIVERS ADRESSE P.O. Box 2252, N-3103 Tønsberg, Norway			
SAMMENDRAG			
<p>Denne rapporten beskriver utvalgte fysiske og kjemiske egenskaper for avgangsprøver fra oppredningsforsøk gjort på kobbermalm fra Nussir- og Ulveryggen-forekomstene i Kvalsund kommune. Rapporten er utarbeidet for <i>Nussir ASA</i> som en del av konsekvensutredning av fremtidig gruvedrift på de to forekomstene. Komposittprøver av malmen har blitt sendt til SGS Mineral Services i Canada som har utført omfattende flotasjonsforsøk i laboratorieskala for å fastlegge flotasjonsbetingelser og for å bestemme utbytte og sammensetning av konsentrater og avgangsprodukter. Inneværende rapport er i hovedsak en fremstilling av forsøk utført og rapportert av SGS Mineral Services, supplert med enkle undersøkelser utført ved NTNU og SINTEF. For utfyllende detaljer med hensyn på forsøksprosedyrer, forsøksresultater og analysemetoder vises det til de bakenforliggende SGS-rapportene.</p> <p>Inneværende rapport gir en oversikt over massebalanse og utvinning av kobber og svovel for flotasjonsforsøkene som var relevante for framstillingen av de konkrete avgangsprøvene. Deretter presenteres avgangsprøvenes partikkelstørrelsesfordeling, kornform og egenvekt, samt kjemisk og mineralogisk sammensetning.</p> <p>Fremtidig avgang fra Nussir- og Ulveryggen-forekomstene kan forventes å ha et kobberinnhold rundt 0,05%. I tillegg til kvarts og feltspat vil Nussir-avgangen inneholde over 30% kalsitt, mens avgangen fra Ulveryggen i praksis vil være fri for karbonater. Begge avgangsmaterialene vil ha en gjennomsnittlig spesifikk egenvekt rundt 2,76 g/cm³ og kornformen vil kunne karakteriseres som kantet til litt rundet. Partikkelstørrelsesfordelingen vil trolig ha en P90 på 100-130 µm, mens P10 vil ligge rundt 4-6 µm.</p>			
NØKKELORD			
Nussir, Ulveryggen, avgang, flotasjon, karakterisering			

INNHold

1. INNLEDNING, MÅL OG AVGRENSING	3
2. FRAMSTILLING AV AVGANGSPRØVENE	
2.1 Identifikasjon og referanse.....	4
2.2 Innledende prøvepreparering	5
2.3 Satsvise flotasjonsforsøk i laboratorieskala.	5
2.3.1 <i>Prinsippet bak mineralseparasjon ved flotasjon</i>	<i>5</i>
2.3.2 <i>Gjennomføring av satsvise flotasjonsforsøk F6, F9, F11 og F12.</i>	<i>6</i>
2.3.3 <i>Gjennomføring av "locked cycle"-forsøk LCT-1 og LCT-2.....</i>	<i>7</i>
2.3.4 <i>Kommentar til flytskjema for flotasjonsforsøkene</i>	<i>8</i>
2.3.5 <i>Resultater fra satsvise flotasjonsforsøk F6, F9, F11 og F12.</i>	<i>8</i>
2.3.6 <i>Resultater fra "locked cycle- forsøk LCT-1 og LCT-2</i>	<i>10</i>
2.4 Fremstilling av kombinerte avgangsprøver	11
3. AVGANGENS FYSISKE, KJEMISK OG MINERALOGISKE EGENSKAPER	11
3.1 Partikkelstørrelsesfordeling, kornform og spesifikk egenvekt	11
3.1.1 <i>Partikkelstørrelsesfordeling.....</i>	<i>11</i>
3.1.2 <i>Kornform</i>	<i>13</i>
3.1.3 <i>Spesifikk egenvekt.....</i>	<i>14</i>
3.2 Kjemisk sammensetning.....	14
3.2.1 <i>Kjemisk sammensetning av "F12 Comb Tls"</i>	<i>14</i>
3.2.2 <i>Fraksjonsanalyser av "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11"</i>	<i>15</i>
3.2.3 <i>Restkonsentrasjoner av xanthat i prosessvann.....</i>	<i>16</i>
3.3 Mineralogisk sammensetning.....	16
3.3.1 <i>Semi-kvantitativ XRD-analyse av "F12 Comb Tls"</i>	<i>16</i>
3.3.2 <i>Semi-kvantitativ QEMSCAN-analyse av de opprinnelige komposittprøvene.....</i>	<i>17</i>
4. VURDERING AV AVGANGSPRØVENES EGENSKAPER.....	19
4.1 De enkelte avgangsprøvenes representativitet.....	19
4.2 Vurdering av den fremtidige avgangens egenskaper.....	19
VEDLEGG A Rådata fra partikkelstørrelsesfordeling for "F12 Comb Tls"	20
VEDLEGG B.1 Lysmikroskopbilder av "Comb Tails F6/F9"	21
VEDLEGG B.2 Lysmikroskopbilder av "Comb Tails F11"	23
VEDLEGG C Kjemisk sammensetning av avgangsprøvene (fraksjonsanalyser)	25

1. INNLEDNING, MÅL OG AVGRENSNING

Denne rapporten beskriver utvalgte fysiske og kjemiske egenskaper for prøver av avgangsmateriale fra oppredningsforsøk gjort på kobbermalm fra Nussir- og Ulveryggenforekomstene i Kvalsund kommune. Rapporten er utarbeidet for *Nussir ASA* som en del av konsekvensutredning av fremtidig gruvedrift på de to forekomstene. Konsekvensutredningen koordineres av *SWECO* og er basert på planprogram for reguleringsplan med konsekvensutredning vedtatt av Kvalsund kommune 20. juli 2010.

Kobberet i Nussir- og Ulveryggenforekomstene foreligger i form av sulfidmineraler og malmen er planlagt oppredet ved hjelp av flotasjon. Komposittpøver av malmen har blitt sendt til *SGS Mineral Services* i Canada som har utført omfattende flotasjonsforsøk i laboratorieskala for å fastlegge flotasjonsbetingelser og for å bestemme utbytte og sammensetning av konsentrater og avgangsprodukter. Samtidig er det utført karakterisering og miljøtesting på utvalgte avgangsmaterialer. Dette arbeidet er beskrevet i rapportene:

SGS-001: *An Investigation into Recovery of Copper from the Kvalsund Deposit, prepared for Nussir ASA. Project 12527-001, May 9, 2011. SGS Canada Inc, Lakefield, Ontario, Canada.*

SGS-002: *An Investigation into Environmental Impact of Marine Disposal of Tailings from the Kvalsund Deposit, prepared for Nussir ASA. Project 12527-002, May 6, 2011. SGS Canada Inc, Lakefield, Ontario, Canada.*

Rapportene fra *SGS Mineral Services* (heretter referert til som henholdsvis SGS-001 og SGS-002) gir en god beskrivelse av mulige fremtidige avgangsmaterialer fra de to forekomstene, men representerer ikke nødvendigvis en lett tilgjengelig fremstilling av denne informasjonen da den primært fokuserer på selve oppredningsprosessen. Målet med inneværende rapport fra *Faggruppe for mineralproduksjon og HMS ved Institutt for geologi og bergteknikk (NTNU)* er å gi en sammenstilling av informasjon fra SGS-001 (og delvis SGS-002) med hensyn til utvalgte fysiske og kjemiske egenskaper ved avgangsmaterialene.

I kapittel 2 gis en oversikt over massebalanse og utvinning av kobber og svovel for flotasjonsforsøkene som var relevante for framstillingen av de konkrete avgangsprøvene. Det er lagt vekt på å beskrive prøveframstillingen sett i forhold til oppredningsprosessen for å belyse prøvenes representativitet. Kapitlet inneholder derfor en kort redegjørelse for flytskjemaet som er benyttet, samt en kort grunnleggende beskrivelse av flotasjon som separasjonsmetode.

I kapittel 3 beskrives den kjemiske og mineralogiske sammensetning av utvalgte avgangsprøver. Kjemisk/mineralogisk sammensetning og oppgitte verdier for avgangsprøvenes spesifikke egenvekt er supplert med informasjon om avgangens kornform og partikkelstørrelsesfordeling.

Vurderingen av kornform og enkelte av partikkelstørrelsesfordelingene er basert på supplerende analyser gjort ved henholdsvis NTNU og SINTEF. Det er gjort rede for hvilke avgangsprøver dette gjelder. Resultatene fra disse undersøkelsene er de eneste som ikke skriver seg fra arbeidet utført av SGS Mineral Services.

Inneværende rapport er i hovedsak en fremstilling av forsøk utført og rapportert av SGS Mineral Services. For utfyllende detaljer med hensyn på forsøksprosedyrer, forsøksresultater og analysemetoder vises det derfor til de bakenforliggende SGS-rapportene. Avslutningsvis (Kapittel 4) gis det imidlertid en kort oppsummering av de forventede egenskapene til fremtidige avgangsmaterialer basert på de foreliggende resultatene og undertegnede egne vurderinger.

2. FREMSTILLING AV AVGANGSPRØVENE

2.1 Identifikasjon og referanse

Denne rapporten beskriver utvalgte fysiske og kjemiske egenskaper til fem ulike prøver av avgangsmateriale fremstilt fra flotasjonsforsøk i laboratorieskala utført av SGS Mineral Services i Canada. Rapporten beskriver også hvordan de ulike prøvene er fremkommet. Prøvene/materialene betegnes som:

1. **"Comb Tails F6/F9"** "Combined Nussir Tails (N-NE) from F6 & F9"
2. **"Comb Tails F11"** "Combined Ulveryggen Tails (U) from F11"
3. **"F12 Comb Tls"** "Combined Nussir Tails (N-NE) from F12"
4. **"LCT-1 Ro Tails C"** "Nussir Rougher tails C (N-NE) from LCT-1"
5. **"LCT-2 Ro Tails C"** "Ulveryggen Rougher tails C (U) from LCT-2"

Merk at material nr. 3 benevnes **"Comb Tails F12"** i SGS-001, mens betegnelsen **"F12 Comb Tls"** er brukt i SGS-002.

2.2 Innledende prøvepreparering

Til sammen 150 kg prøvemateriale fra Nussir og Ulveryggen forekomstene ble sendt til SGS Mineral Services. Materialet besto av splittede borekjerneprøver som ble delt inn og slått sammen i tre komposittprøver (*composites*). Komposittprøvene ble betegnet N-NE (Nussir-North-East), N-OW (Nussir-Old West) og U (Ulveryggen).

Etter at åtte kilo prøvemateriale ble splittet ut fra hver komposittprøve til bruk i nedmalings tester ble de resterende prøvemengdene knust trinnvis til alt materialet var finere enn 1,65 mm. Det ble så splittet ut porsjoner (*charges*) á 1 kg for bruk i videre karakterisering og flotasjonsforsøk. For å unngå oksidering av prøvematerialet ble disse porsjonene lagret i frossen tilstand.

2.3 Satsvise flotasjonsforsøk i laboratorieskala

2.3.1 Prinsippet bak mineralseparasjon ved flotasjon.

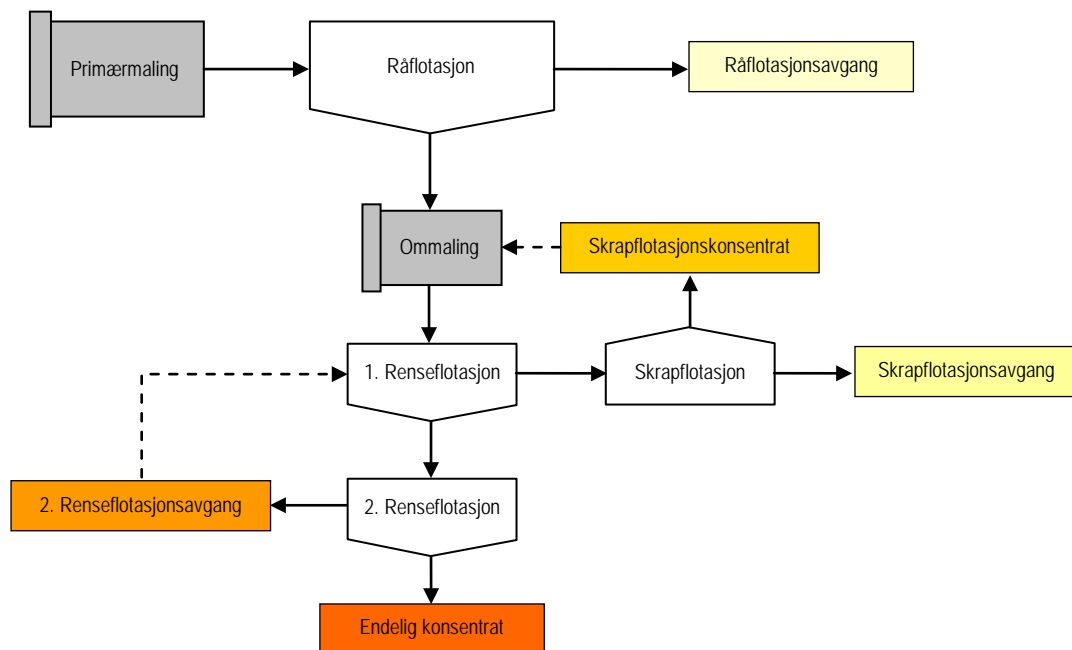
Flotasjon er en separasjonsmetode som baserer seg på forskjeller i mineralenes overflatekemi. I utgangspunktet vil de fleste mineraler få en hydrofil overflate når de dispergeres i vann og har da liten evne til å feste seg til luftbobler. Ved å tilsette små mengder kjemikalier til mineralsuspensjonen i flotasjonscella (dvs. separasjonstanken) som inneholder mineralene som skal separeres kan man selektivt endre overflaten til valgte mineraler slik at disse blir hydrofobe. Dette oppnås ved å benytte overflateaktive kjemikalier (tensider) som består av en reaktiv (hydrofil) funksjonell gruppe forbundet med en hydrofob hydrokarbonkjede. Den reaktive gruppen vil adsorberes selektivt til mineraloverflaten, mens hydrokarbonkjedene vil orienteres ut i vannfasen. Tilstrekkelig adsorpsjonen (overflatedekning) av tensidet vil således danne en hydrofob film på mineraloverflaten. Dersom det så blåses luft inn i suspensjonen vil de nå hydrofobe mineralene kollideres med og festes til luftbobler og flyte til overflaten av flotasjonscella. Her der dannes et mineralrikt skum som enkelt kan skilles fra mineralene som blir igjen i vannfasen. Ved flotasjonsoppredning av sulfidmineraler er det disse som gjøres hydrofobe og anrikes i skumfasen, mens bergartsmineralene synker til bunns i flotasjonscella og tas ut som avgang.

De overflateaktive kjemikaliene som benyttes for å skape hydrofobe mineraloverflater kalles *samlere* (*collectors*). Ved flotasjon av sulfidmineraler benyttes samlere der den funksjonelle gruppen er basert på ulike svovelforbindelser (for eksempel xanthater og dithiofosfater) da disse adsorberes svært spesifikt til sulfidoverflaten. Xanthater basert på en karbonkjede med 2-5 karbonatomer er mye benyttet. I tillegg til selve samleren benyttes det vanligvis også såkalte *skummere* (som regel langkjedede alkoholer) som skal sørge for at det dannes et stabilt og tilstrekkelig fleksibelt skum i flotasjonscella, samt ulike regulerende agenser for å kontrollere blant annet pH og løsningskemi slik at optimal adsorpsjon av samleren oppnås.

Flotasjon er en svært anvendelig separasjonsmetode, men stiller også krav til kornstørrelsen til materialet som skal separeres. Store partikler (dvs. større enn ca. 300 μm avhengig av spesifikk egenvekt) er vanskelige å flotere da de har en tendens til å rives løs fra luftboblene på grunn av turbulens i flotasjonscella. Små partikler (dvs. mindre enn 10-40 μm avhengig av hvor spesifikt samleren adsorberes) er også vanskeligere å flotere da sannsynligheten for kollisjon med luftbobler blir tilsvarende lav.

2.3.2. Gjennomføring av satsvise flotasjonsforsøk F6, F9, F11 og F12.

De to kombinerte avgangsprøvene definert i underkapittel 2.1. er fremstilt ved satsvise flotasjonsforsøk etter flytskjemaet som er vist i fig. 1. Her beskriver hovedpilene det faktiske fremstillingsløpet for de satsvise forsøkene, mens stiplede piler angir løpet for en kontinuerlig prosess. I SGS-001 er de enkelte forsøkene betegnet F1 til F12. Her er det kun forsøk F6, F9, F11 og F12 som er relevante for framstillingen av de kombinerte avgangsprøvene (se underkapittel 2.4). Gjennomføringen av forsøk F6, F9, F11 og F12 er beskrevet i de etterfølgende avsnitt.



Figur 1. Flytskjema for de satsvise flotasjonsforsøkene F6, F9, F11 og F12. Stiplede linjer angir løp for kontinuerlig prosess.

Forsøkene tok utgangspunkt i materiale finere enn 1,65 mm, fremstilt og lagret som beskrevet i underkapittel 2.2. Forsøk F6, F9 og F12 ble utført på Nussir-materialet (N-NE), mens forsøk F11 er basert på materiale fra Ulveryggen (U). Første trinn besto av

primærmaling (*primary grinding*) i kulemølle. I forsøk F6, F9 og F11 ble det benyttet en pågangsmengde på ca. 2 kg, mens hele 10 kg ble benyttet i forsøk F12

I forsøk F6 og F9 som ble primærmalingen gjennomført slik at maleproduktet fikk P80-verdier (dvs. partikkelstørrelsen som definerer en finfraksjon slik at 80% av produktmassen i det undersøkte produktet tilhører denne fraksjonen) på henholdsvis 160 μm og 86 μm , mens P80 for maleproduktet fra forsøk F11 ble funnet å være 88 μm . I forsøk F12 gav primærmalingen et produkt med P80 lik 82 μm . Forsøk F6 skiller seg altså ut ved at det ble benyttet grovere primærmaling.

Etter primærmaling gikk maleproduktet som pågang til råflotasjon (*rougher flotation*). Denne separasjonen gir opphav til hovedavgangen fra prosessen da råflotasjonsavgangen (*rougher tailings*) utgjør vel 90% av massen inn til primærmaling. Råflotasjonen ble utført med en total samlertilsats på 20 g/tonn *sodium isopropyl xanthate* (SIPX). Under forsøk F12 ble det benyttet en vesentlig større flotasjonscelle enn i forsøk F6, F9 og F11 (Cell #8 (10000g) mot Cell #9 (2000g)) for å kunne prosessere den fem ganger større pågangsmengden.

Konsentratet fra råflotasjonen gikk så til ommaling (*regrinding*) i kulemølle for å oppnå endelig frimaling. I forsøk F6, F9 og F11 resulterte ommalingen i P80 verdier på henholdsvis 29 μm , 22 μm og 22 μm . Verdien av P80 etter ommaling i forsøk F12 er ikke oppgitt, men kan antas å ligge i samme område.

Etter ommaling ble maleproduktet flotert i to rensetrinn (*1. and 2. cleaner flotation*) slik at konsentratet fra 2. rensflotasjon utgjorde det endelige konsentratet (*cleaner concentrate*). Rensflotasjonen i forsøk F6, F9 og F11 ble utført med en total samlertilsats på 5 g/tonn SIPX, mens det ble benyttet 3,75 g/tonn SIPX i forsøk F12.

Avgangen fra 1. rensflotasjon gikk til et skrapflotasjonstrinn (*1. cleaner scavenger flotation*) der siste rest av floterbare kobberminerale ble konsentrert i et skrapkonsentrat (*cleaner scavenger concentrate*). I en kontinuerlig prosess kan 2. rensflotasjonsavgang (*2. cleaner tails*) føres tilbake til 1. rensflotasjon, mens skrapkonsentratet kan gå tilbake til ommaling. Skrapavgangen (*cleaner scavenger tails*) er å betrakte som endelig avgang sammen med avgangen fra råflotasjonen.

2.3.3. Gjennomføring av "locked cycle"-forsøk LCT-1 og LCT-2

For å simulere en kontinuerlig flotasjonsprosess og oppnå mer representative produkter og avgangsmaterialer ble det også gjennomført såkalte "locked cycle"-forsøk. Disse tok utgangspunkt i samme forsøksoppsett og flytskjema som beskrevet i underkapittel 2.3.2,

men ble gjennomført som en serie av etterfølgende satsvise flotasjonsforsøk der skrapkonsentrat og 2. rensflotasjonsavgang fra et gitt forsøk ble tilbakeført som pågang til henholdsvis ommaling og 1. rensflotasjon til det etterfølgende forsøket i serien. I "locked cycle"-forsøkene LCT-1 og LCT-2 besto hver serie med fem trinn (Cycle A-E) som ble gjennomført med samme male- og flotasjonsutstyr som ble benyttet i forsøk F6, F9 og F11. For ytterligere beskrivelse av forsøksoppsettet vises det til SGS-001.

Forsøk LCT-1 ble gjennomført på Nussir-materiale (N-NE) under betingelser tilsvarende forsøk F9, mens forsøk F11 og pågang fra Ulveryggen (U) ligger til grunn for forsøk LCT-2. I LCT-1 og LCT-2 ble det benyttet en total pågangsmengde på henholdsvis 9638 g og 9578 g. Under forsøkene ble det tatt ut prøver av råflotasjonsavgang fra det tredje trinnet (Cycle C) i de respektive "locked cycle"-testene. Disse prøvene er betegnet "LTC-1 Ro Tail C" og "LTC-2 Ro Tail C".

2.3.4. Kommentar til flytskjema flotasjonsforsøkene

For å oppnå effektiv mineraseparasjon med rene konsentrater og høy utvinning er det en forutsetning at mineralene som skal plasseres i konsentratet er mest mulig frimalt, dvs. at de i størst mulig grad foreligger som monomineralske korn og ikke i aggregater med andre mineraler. Materialet må derfor males ned før effektiv flotasjonssepareringen kan gjennomføres. Samtidig ønsker man ikke å male materialet for langt ned da finstoff er vesentlig vanskeligere å separere, og fordi unødvendig nedmaling kan medføre en betydelig kostnad. Det er derfor en fordel å gjennomføre separasjonen i to hovedtrinn, såkalt råflotasjon og rensflotasjon, der det verdifulle konsentratet fra råflotasjonen blir videre nedmalt (ommalt) før rensflotasjonen. Under råflotasjonen prioriteres altså utvinning av kobber framfor renheten av flotasjonskonsentratet ettersom sistnevnte produkt likevel skal renses i senere trinn. Dette medfører at også bare delvis frimalte sulfidpartikler havner i råflotasjonskonsentratet. Disse må så frimales under ommalingstrinnet for å oppnå rene konsentrater.

Fordelen med separasjon og nedmaling i to trinn er at man ikke pulveriserer korn som allerede er frimalte etter primærmalingen slik at disse tapes som vanskelig floterbart finstoff. I tillegg trenger man bare å male en liten del av pågangsmengden ned til endelig frimalingsfinhet. Under forsøkene basert på flytskjemaet i fig. 1 ble mer enn 90% av massen ut som grov avgang) etter råflotasjonen.

2.3.5 Resultater fra satsvise flotasjonsforsøk F6, F9, F11 og F12.

Tabell 1 viser de viktigste resultatene fra flotasjonsforsøk F6, F9, F11 og F12. I tabellen gis det en oversikt over vektutbyttet av ulike produkter og mellomprodukter, samt tilhørende kobber- og svovelskonsentrasjoner og beregnet relativ fordeling av kobber og svovel (dvs. utvinning). For informasjon om analysemetoder og tilhørende analyseprosedyrer vises det til SGS-001.

Tabell 1. Vektutbytter, konsentrasjoner og utvinningstall for forsøk F6, F9, F11 og F12.

Forsøk	Produkt	Vektutbytte [%]	Cu-kons. [%]	S-kons. [%]	Cu-utvinning [%]	S-utvinning [%]
F6	Råflotasjonsavgang	90,3	0,093	0,04	8,1	9,8
	Skrapavgang	5,9	0,12	0,04	0,7	0,6
	(Skrapkonsentrat)	1,0	0,62	0,38	0,6	1,0
	(2. renseavgang)	1,0	1,94	0,85	1,8	2,3
	Endelig konsentrat	1,8	51,4	17,9	88,7	86,3
	Beregnet pågang	100	1,03	0,37	100	100
F9	Råflotasjonsavgang	92,7	0,07	0,01	6,7	2,9
	Skrapavgang	5,3	0,30	0,10	1,6	1,7
	(Skrapkonsentrat)	0,3	7,27	3,59	2,6	3,4
	(2. renseavgang)	0,3	14,1	5,57	5,0	5,3
	Endelig konsentrat	1,4	58,8	19,6	84,1	86,7
	Beregnet pågang	100	0,96	0,32	100	100
F11	Råflotasjonsavgang	92,2	0,058	0,02	7,1	5,6
	Skrapavgang	6,2	0,80	0,41	6,5	7,8
	(Skrapkonsentrat)	0,2	25,1	11,5	6,8	7,0
	(2. renseavgang)	0,3	14,6	7,46	5,9	6,8
	Endelig konsentrat	1,1	49,9	21,7	73,7	72,8
	Beregnet pågang	100	0,75	0,33	100	100
F12	Råflotasjonsavgang	90,5	0,041	0,030	3,9	7,6
	Skrapavgang	7,0	0,34	0,17	2,5	3,4
	(Skrapkonsentrat)	0,4	3,69	1,75	1,7	2,1
	(2. renseavgang)	0,4	4,02	1,68	1,7	2,0
	Endelig konsentrat	1,6	54,9	19,2	90,2	85,0
	Beregnet pågang	100	0,96	0,36	100	100

Resultatene i tabell 1 viser at materiale fra Ulveryggen (F11) er noe vanskeligere å flotere enn materialet fra Nussir-forekomsten (F6, F9 og F12). I tillegg til lavere utvinning (endelig konsentrat) kan dette illustreres ved å se på mengden kobber som tapes i skrapavgangen. I forsøk F11 bidrar denne avgangsstrømmen med tilnærmet like mye kobber som råflotasjonsavgangen. I forsøk F6 og F9 er skrapavgangen av underordnet betydning. Sammenliknet med sistnevnte forsøk gir forsøk F12 en noe forhøyet verdi, men her tapes

vesentlig mindre kobber i råflotasjonsavgangen. Forsøk F12, som kan sees på som en oppskalering av forsøk F9, gir en utvinning på hele 90,2% og illustrerer trolig effekten av en større og mer effektiv flotasjonscelle.

Ved å slå sammen råflotasjonsavgang og skrapavgang og vekte de tilhørende kobberanalysene fås en totalavgang med et beregnet kobberinnhold på henholdsvis 0,095%, 0,082 og 0,10% for forsøk F6, F9 og F11, mens F12 resulterer i en konsentrasjon på 0,062%.

2.3.6 Resultater fra "locked cycle"-forsøkene LCT-1 og LCT-2

Tabell 2 viser de viktigste resultatene fra "locked cycle"-forsøkene LCT-1 og LCT-2. I tabellen gis det en oversikt over vektutbyttet av ulike produkter og mellomprodukter, tilhørende kobber- og svovelkonsentrasjoner, samt beregnet relativ fordeling av kobber og svovel (dvs. utvinning). For informasjon om analysemetoder og tilhørende analyseprosedyrer vises det til SGS-001.

Tabell 2. Vektutbytter, konsentrasjoner og utvinningstall for forsøk LCT-1 og LCT-2.

Forsøk	Produkt	Vektutbytte [%]	Cu-kons. [%]	S-kons. [%]	Cu-utvinning [%]	S-utvinning [%]
LCT-1	Råflotasjonsavgang	89,4	0,041	0,02	3,4	4,8
	Skrapavgang	8,6	0,13	0,05	1,0	1,3
	Endelig konsentrat	2,1	50,2	16,9	95,5	93,9
	Beregnet pågang	100	1,08	0,37	100	100
LCT-2	Råflotasjonsavgang	93,6	0,038	0,04	4,4	8,7
	Skrapavgang	4,7	0,24	0,20	1,4	2,5
	Endelig konsentrat	1,7	45,7	19,9	94,2	88,8
	Beregnet pågang	100	0,81	0,38	100	100

Sammenliknes resultatene fra LCT-1 og LCT-2 med resultatene fra F9 og F11 ser man hvordan "locked cycle"-forsøkene gir et riktigere og mer representativt bilde av prosessen, konsentratet og avgangsmaterialene ved å fordele kobbermengden i skrapkonsentrat og 2. renseavgang på de endelige produktene. Dette resulterer i høyere utvinning. Forskjellen er størst for LCT-2/F11 ettersom forsøk F11 resulterte i mye kobber i skrapkonsentratet. Det må imidlertid bemerkes at kobberanalysene for råflotasjonsavgangen er noe høyere i F9 og F11 enn i de korresponderende "locked cycle"-forsøkene. Dette er ikke en effekt av flytskjemaet, men kan skyldes primær prøvetakingsfeil (naturlig variasjon) eller forskjeller i analyseprosedyrer.

Resultatene i tabell 2 viser at det er mulig å oppnå rike konsentrater selv ved svært høy utvinning. Dette resulterer i at lite kobber tapes i avgangen. Ved å slå sammen råflotasjonsavgang og skrapavgang og vekte de tilhørende kobberanalysene fås en totalavgang med et beregnet kobberinnhold på henholdsvis 0,049% og 0,048% for forsøk LCT-1 og LCT-2.

2.4 Fremstilling av kombinerte avgangsprøver

Råflotasjonsavgang og skrapavgang fra forsøk F11 ble blandet sammen i riktig vektforhold for å lage en kombinert avgangsprøve betegnet "Comb Tails F11". Tilsvarende ble gjort for avgangen fra forsøk F12 for å lage den kombinerte prøven "F12 Comb Tls". "Comb Tails F6/F9" ble fremstilt etter samme prinsipp, men her ble avgangsmaterialene fra forsøk F6 og F9 slått sammen.

Avgangsprøvene "LTC-1 Ro Tail C" og "LTC-2 Ro Tail C" er ikke kombinerte avgangsprøver, men består av råflotasjonsavgang fra det tredje trinnet (Cycle C) i "locked cycle"-testene.

3. AVGANGENS FYSISKE, KJEMISK OG MINERALOGISKE EGENSKAPER

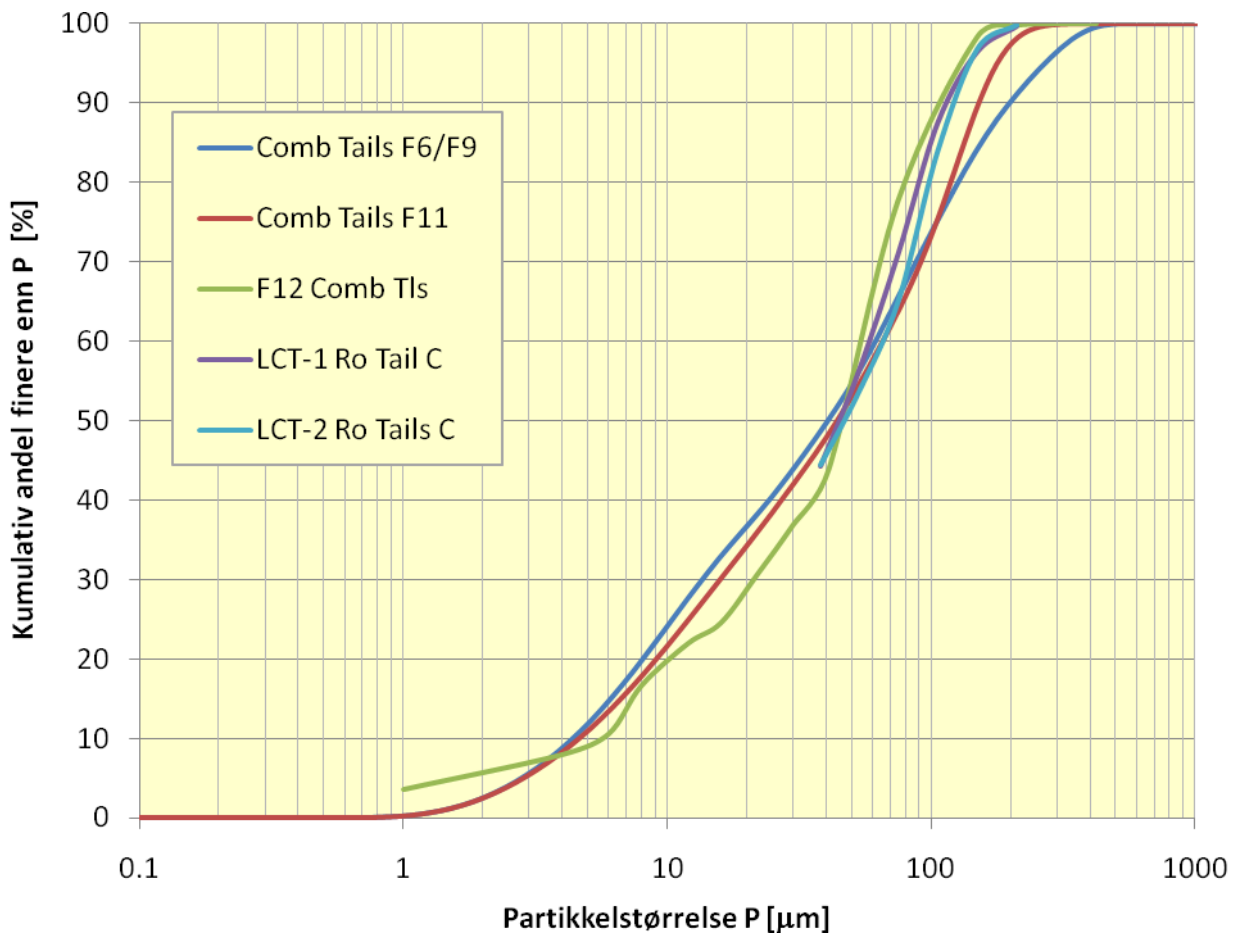
3.1 Partikkelstørrelsesfordeling, kornform og spesifikk egenvekt

Innledningsvis må det nevnes av analysene av kornform og partikkelstørrelsesfordeling som er utført av henholdsvis NTNU og SINTEF er basert på to avgangsprøver oversendt fra *Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA)* i Oslo. Prøvene ble mottatt i tørr tilstand og var merket "Nussir F6/F9" og "Ulveryggen F11". Det antas at disse prøvene representerer henholdsvis "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11" definert i underkapittel 2.1.

3.1.1 Partikkelstørrelsesfordeling

Partikkelstørrelsesfordelingen til alle avgangsmaterialene er vist samlet i figur 2. Partikkelstørrelsesfordelingen for "F12 Comb Tls" er funnet ved sikting på standard Tyler siktesats ned til 75 µm. Den resterende delen av kurven (dvs. materialet finere enn 75 µm) er bestemt ved hjelp av sedimentasjonsanalyse (hydrometer). For ytterligere detaljer vises det til SGS-002. Partikkelstørrelsesfordelingen for "LCT-1 Ro Tails C" og "LTC-2 Ro Tails C" er funnet ved sikting på standard Tyler siktesats ned til 38 µm. Finfraksjonen er ikke analysert videre. Partikkelstørrelsesfordelingen for "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11" ble

fastlagt ved laser-diffraksjonsanalyse på dispergerte prøver ved hjelp av en *Coulter LS 230 Particle Size Analyser*. Denne analysen ble utført av SINTEF Bergteknikk i Trondheim.



Figur 2. Partikkelstørrelsesfordeling for de enkelte avgangsmaterialene.

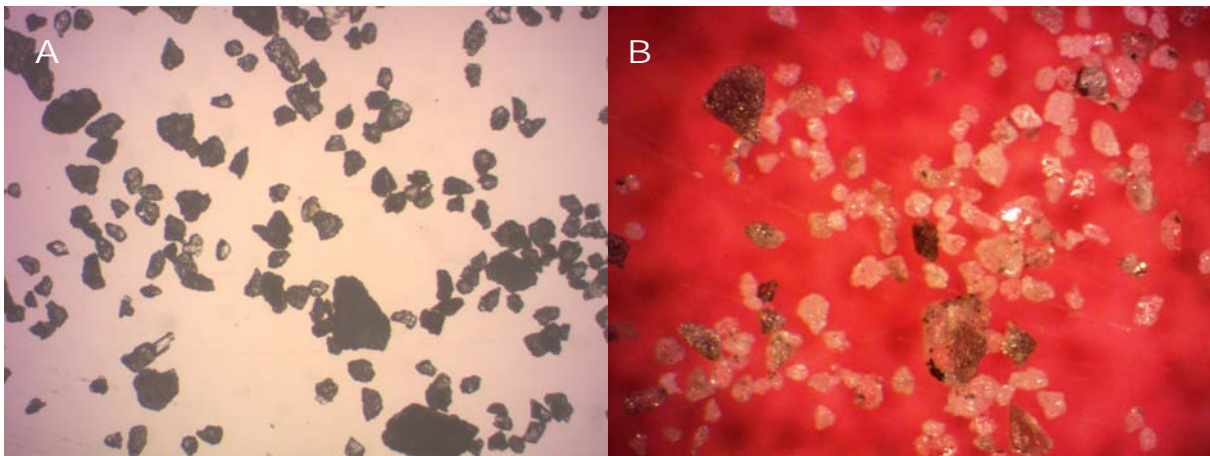
Som vist i figur 2 er partikkelstørrelsesfordelingen til avgangsprøvene relativt like. Den vesentligste forskjellen ligger i at den kombinerte prøven fra forsøk F6 og F9 har en noe større andel av grove korn. Dette skyldes at det ble benyttet grovere primærmaling under forsøk F6. "F12 Comb Tls" viser også en noe høyere andel av partikler finere enn 1 µm.

Figur 2 viser at det er godt samsvar mellom kurvene for "F12 Comb Tls", "LCT-1 Ro Tails C" og "LCT-2 Ro Tails C". De to sistnevnte materialene representerer riktignok kun avgang fra råflotasjon og ikke kombinerte avgangsprøver. Analysen av "F12 Comb Tls" kan anses å gi den mest representative partikkelstørrelsesfordelingen for totalavgang fra Nussirforekomsten. For dette materialet ble de beskrivende størrelsesparameterne P10, P50 og P90 ble funnet å være ca 6 µm, 45 µm og 110 µm. Partikkelstørrelsesfordelingen til "F12 Comb Tls" er vist i tabellform vedlegg A.

3.1.2 Kornform

Avgangsmaterialets kornform ble analysert ved Institutt for geologi og bergteknikk ved NTNU i Trondheim. Analysen ble kun utført på "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11", men resultatene vil med stor sannsynlighet være representative også for de øvrige avgangsprøvene/materialene.

Representative delprøver av "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11" ble dispergert i vann ved hjelp av ultralyd og våtsiktet på mikrosikt for å produsere følgende størrelsesfraksjoner: $-37 \mu\text{m}$, $37-75 \mu\text{m}$ og $+75 \mu\text{m}$. Materiale fra hver fraksjon ble så plassert mellom to dekkglass og studert i lysmikroskop ved bruk av både pålys og gjennomfallende lys. Av praktiske årsaker lot det seg ikke gjøre å ta brukbare fotografier av den fineste fraksjonen, men typiske trekk ved de øvrige fraksjonene illustreres av fotografiene i vedlegg B.1 og B.2. Fotografiene er tatt ved samme forstørrelse og fraksjonsangivelsen tjener som målestokk. Et typisk eksempel er vist i figur 3.



Figur 3. "Comb Tails F6/F9": $+75 \mu\text{m}$ i henholdvis gjennomfallende lys (A) og p ålys (B).

Kornformen kan kanskje lettest vurderes i gjennomfallende lys. Begge de undersøkte avgangsprøvene viser her typisk kornform for nedknuste finkornige materialer og kan karakteriseres som kantet til litt rundet (ikke skarpkantet eller skjærende). I pålys ser man lettere forskjell på de lyse bergartsmineralene (kvarts/feltspat/kalsitt) og de mørke mineralene. Mørke mineraler som Fe-Mg-silikater og glimmer ser ut til å ha en litt mer langstrakt kornform. Dette er også typisk. Også i pålys ser man at kornformen tydelig fremstår som lett kantet til litt avrundete korn.

3.1.3 Spesifikk egenvekt

I SGS-001 oppgis den spesifikke egenvekten av tørt materiale for både "Comb Tail F6/F9" og "Comb Tail F11" til $2,76 \text{ g/cm}^3$. Denne verdien kan med stor sannsynlighet også antas å være representativ for de øvrige avgangsmaterialene.

3.2 Kjemisk sammensetning

3.2.1 Total kjemisk sammensetning av "F12 Comb Tls"

Den kjemiske sammensetningen av "F12 Comb Tls". ble bestemt ved hjelp av både røntgenfluorescensanalyse (XRF) og syreoppløsning etterfulgt av ICP-OES/MS. Resultatene er presentert i henholdsvis tabell 3 og tabell 4. For ytterligere informasjon om analysemetoder og tilhørende analyseprosedyrer vises det til SGS-002.

Tabell 3. XRF-analyse (hovedelementer) av "F12 Comb Tls".

Parameter (oksid)	Konsentrasjon [%]
SiO ₂	48,8
Al ₂ O ₃	9,41
Fe ₂ O ₃	2,41
MgO	2,27
CaO	16,5
Na ₂ O	1,62
K ₂ O	3,49
TiO ₂	0,32
P ₂ O ₅	0,09
MnO	0,41
Cr ₂ O ₅	0,03
V ₂ O ₅	0,01
Glødetap	13,8
Sum	99,1

XRF-analysen i tabell 3 gir en oversikt over hovedelementene i prøven. Det høye glødetapet skyldes at materialet inneholder mye karbonat (se underkapittel 3.3). I sporelementanalysen vist i tabell 4 vil verdiene for hovedelementer være relativt usikre. Sporelementanalysen gir en kobberkonsentrasjon på $320 \mu\text{g/g}$ (dvs. 0,032%).

Tabell 4. ICP-OES/MS-analyse av "F12 Comb Tls".

Element	Konsentrasjon [µg/g]	Element	Konsentrasjon [µg/g]
Hg	0,3	Na	11000
Ag	0,96	Ni	74
Al	54000	P	380
As	2,5	Pb	5,1
B	120	Sb	0,9
Ba	1400	Se	<0,7
Be	1,0	Si	23,9
Bi	<0,09	Sn	4,0
Ca	100000	Sr	150
Cd	0,22	Ti	1600
Co	14	Th	5,1
Cr	180	Tl	0,75
Cu	320	U	3,6
Fe	1600	V	4,7
K	29000	W	4,0
Li	18	Y	9,8
Mg	12000	Zn	78
Mn	2700	Zr	76
Mo	12		

3.2.2 Fraksjonsanalyser av "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11"

I SGS-001 oppgis den kjemiske sammensetningen av de enkelte størrelsesfraksjonene i avgangsprøvene "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11". Materialene er delt inn i følgende fraksjoner: -400mesh (-37 µm), +400 (37–53 µm), +270mesh (53–104 µm) og +150mesh (+104 µm). Resultatene fra fraksjonsanalysene er vist i vedlegg C. For informasjon om analysemetoder og tilhørende analyseprosedyrer vises det til SGS-001.

Kobber er det eneste tungmetallet som opptrer i konsentrasjoner som er interessante fra et miljøsynspunkt. En sammenstilling av analysene for kobber og svovel er vist i tabell 3. Her er det også beregnet en totalanalyse for hver avgangsprøve basert på vekting av fraksjonsanalysene.

Resultatene i tabell 3 viser at kobber er fordelt ulikt i de to avgangsprøvene. I "Comb Tails F6/F9" ligger hele 45,3% av det totale kobberinnholdet i den grovste fraksjonen, mens tilsvarende fraksjon kun representerer 18,8% i "Comb Tails F11"-materialet. Avgangsprøven fra Ulveryggen har også en mer typisk fordeling da 47,3% av kobberet befinner seg i finfraksjonen. Kobber er relativt jevnt fordelt over de ulike størrelsesfraksjonene med unntak av den forhøyede konsentrasjonen i +104 µm-fraksjonen for avgangsprøven fra

Nussir. Sistnevnte observasjon må sees i sammenheng med at forsøk F6 som danner halve grunnlaget for "Comb Tails F6/F9"-materialet ble gjennomført med grovere primærmaling.

Tabell 3. Fraksjonsanalyser av kobber og svovel for "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11".

Prøve	Fraksjon [µm]	Vektutbytte [%]	Cu-kons. [g/tonn]	S-kons. [%]	Cu-fordeling [%]	S-fordeling [%]
Comb Tails F6/F9	+104	20,9	1400	0,04	45,3	14,8
	53-104	26,8	507	0,04	21,0	19,0
	37-53	10,9	336	0,04	5,7	7,7
	-37	41,4	438	0,08	28,1	58,6
	Beregnet totalanalyse	100	646	0,057	100	100
Comb Tails F11	+104	17,2	989	0,04	18,8	13,3
	53-104	35,7	707	0,04	27,9	27,6
	37-53	7,8	709	0,04	6,1	6,0
	-37	39,3	1090	0,07	47,3	53,1
	Beregnet totalanalyse	100	906	0,052	100	100

3.2.3. Restkonsentrasjoner av xanthat i prosessvann

Restkonsentrasjoner av xanthat i avgangsprøvene er ikke målt, med det ble gjennomført analyse av filtrert prosessvann fra råflotasjonsavgangen fra forsøk F9 og F11. I begge tilfeller lå konsentrasjonen lavere enn deteksjonsgrensen på 5 mg/l. For mer informasjon om analyseprosedyrene vises det til SGS-001.

På generelt grunnlag kan man si at det ikke forventes høye restkonsentrasjoner av xanthat i avgangen så lenge det ikke overdoseres under flotasjonssepareringen. Xanthater bindes til metallsulfidene ved kjemisorpsjon og adsorberes svært selektivt til disse. Tilsatt samler vil således ende opp i kobberkonsentratet.

3.3 Mineralogisk sammensetning

3.3.1 Semi-kvantitativ XRD-analyse av "F12 Comb Tls"

Den mineralogiske sammensetningen av "F12 Comb Tls" ble bestemt ved hjelp av semi-kvantitativ røntgendiffraksjonsanalyse (XRD). Resultatene er vist i tabell 4. For ytterligere informasjon om analysemetoden og tilhørende analyseprosedyrer vises det til SGS-002.

Tabell 4. Semi-kvantitativ XRD-analyse av "F12 Comb Tls".

Mineral	Konsentrasjon [%]
Kvarts (<i>Quartz</i>)	25,8
Kloritt (<i>Clinochlor</i>)	1,1
Muskovitt (<i>Muscovite</i>)	17,3
Biotitt (<i>Biotite</i>)	3,1
Plagioklas (<i>Plagioclase</i>)	15,0
Kalifeltspat (<i>K-feldspar</i>)	6,2
Kalsitt (<i>Calsite</i>)	28,4
Dolomitt (<i>Dolomite</i>)	1,9
Pargasitt (Pargasite) ?	0,8
Talk (<i>Talc</i>) ?	0,5
Totalt	100,0

Det bør bemerkes at verdiene gitt i tabell 4 kun må betraktes som et estimat på mineralogisk sammensetning. XRD-analysen vil ikke kunne gi sikre verdier for mineraler som kun opptrer som spormineraler, og basis for konsentrasjonsberegningen er kun basert på summen av mineraler som har blitt detektert i signifikante mengder. Metoden egner seg derfor ikke til å bestemme restkonsentrasjonene av sulfidmineraler i avgangen, men gir et godt bilde av materialets hovedmineralogi.

Da samlet avgang forventes å utgjøre rundt 97-98% av pågangsmassen vil avgangsprøvenes mineralogiske sammensetning være svært lik de opprinnelige komposittprøvene med unntak av kobbersulfidene som er blitt utvunnet under flotasjonsprosessen. I SGS-001 presenteres mineralogisk sammensetning av de tre komposittprøvene, N-NE, N-OW og U, basert på en alternativ analysemetode som er bedre egnet til å detektere spormineraler. Metoden og resultatene beskrives i underkapittel 3.3.2.

3.3.2 Semi-kvantitativ QEMSCAN-analyse av de opprinnelige komposittprøvene

Den mineralogiske sammensetning komposittprøvene ble analysert ved hjelp av QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by SCANing electron microscopy) som er en analysemetode basert på identifikasjon av mineraler i elektronmikroskop kombinert med statistisk bildebehandling. Analysen ble gjennomført i ARMS-modus (Automated Rapid Mineral Scan) som gir et semi-kvantitativ estimat på det relative mengdeforholdet av signifikant forekommende mineraler. Materialet som ble analysert ble fremskaffet ved at prøver på 150 g av hver komposittprøve ble splittet ut under prøveprepareringen og malt ned i laboratoriemølle slik at 95% av massen ble finere enn 150 µm. For ytterligere informasjon om analysemetoden vises det til SGS-001. Resultatet fra QEM-ARMS analysen er vist i tabell 5.

Tabell 5. Semi-kvantitativ mineralsammensetning i de tre komposittprøvene.

Mineral	Komposittprøve	N-NE Comp [%]	N-OW Comp [%]	U Comp [%]
Kobberkis (<i>Chalcopyrite</i>)		0,11	1,04	0,27
Bornitt (<i>Bornite</i>)		1,14	1,53	0,87
Covelin (<i>Covellite</i>)		0,02	0,02	0,02
Kobberglans (<i>Chalcocite</i>)		0,50	0,05	0,88
Svovelkis (<i>Pyrite</i>)		0,00	0,00	0,07
Andre sulfider		0,00	0,00	0,00
Kvarts (<i>Quartz</i>)		24,6	28,9	53,8
Plagioklas (<i>Plagioclase</i>)		13,5	10,0	24,3
Kalifeltspat (<i>K-feldspar</i>)		8,60	7,69	1,58
Amfiboler (<i>Amphiboles</i>)		0,26	0,80	0,08
Glimmer/leire (<i>Mica/clay</i>)		16,8	15,5	15,1
Talk (<i>Talc</i>)		0,03	0,72	0,01
Kloritt (<i>Chlorites</i>)		0,22	0,05	1,90
Kalsitt (<i>Calcite</i>)		32,0	2,67	0,04
Dolomitt (<i>Dolomite</i>)		1,10	30,6	0,01
Fe-Ti-oksider (<i>Fe-Ti-oxides</i>)		0,65	0,31	1,03
Andre		0,43	0,19	0,12
Totalt		100,0	100,0	100,0

Tabell 5 viser tydelige forskjeller mellom de tre komposittprøvene. Materialet fra Nussir består av en tredjedel karbonater i tillegg til kvarts (24-29%), feltspat (17-22%) og glimmer (15-17%), mens materiale fra Ulveryggen mangler karbonater og har tilsvarende mer kvarts (54%). I N-NE-kompositten er karbonatmineralet kalsitt, mens dolomitt dominerer i N-OW. Resultatene fra QEM-ARMS-analysen viser også at bornitt er det viktigste kobbermineralet i alle tre komposittprøvene, sammen med kobberglans i materialet fra Ulveryggen. N-OW-komposittprøven utmerker seg ved også å ha et relativt høyt innhold av kobberkis, men lite kobberglans. For de to andre komposittprøvene er det omvendte tilfelle. Komposittprøvene inneholder også spor av covelin og pyritt (sistnevnte kun i materialet fra Ulveryggen). QEM-ARMS-analysen kunne ikke påvise andre sulfidmineraler i konsentrasjoner over 1%.

Den relative andelen sulfidmineraler i avgangen vil være vesentlig lavere enn andelen i de opprinnelige komposittprøvene. Konsentrasjonen av sulfidmineraler vil reduseres med en faktor omtrent tilsvarende utvinningskoeffisienten for kobber i samlet avgang (dvs. til 8-15% av opprinnelig nivå).

4. VURDERING AV AVGANGSPRØVENES EGENSKAPER

4.1 De enkelte avgangsprøvenes representativitet

De fem avgangsprøvene/materialene som er beskrevet i denne rapporten vil i ulik grad være representative for fremtidig avgang. Med utgangspunkt i flotasjonsprosessen er det liten tvil om at materialet fra 'locked cycle'-testene står fram som det mest representative avgangsmaterialet og vil følgelig kunne gi det beste estimatet på avgangens kobberinnhold. Det er derimot "F12 Comb Tls" (prøven fra det oppskalerte satsvise flotasjonsforøket) som er best karakterisert og gjenstand for flest tester. Det er godt samsvar mellom "F12 Comb Tls" og "LCT-1" med hensyn på partikkelstørrelsesfordeling. "Comb Tails F6/F9" vil ikke være representativ med hensyn på partikkelstørrelsesfordeling eller kobberinnhold da det er benyttet langt grovere primærmaling under fremstilling av denne avgangsprøven. Spesifikk egenvekt vil i praksis den samme for alle avgangsprøvene, og informasjon om kornform funnet ved analyse av "Comb Tails F6/F9" og "Comb Tails F11" kan også antas å være generelt gjeldende. Det beste estimatet på avgangens mineralogiske sammensetning fås ved å betrakte analysen av de opprinnelige komposittprøvene.

4.2 Den fremtidige avgangens egenskaper

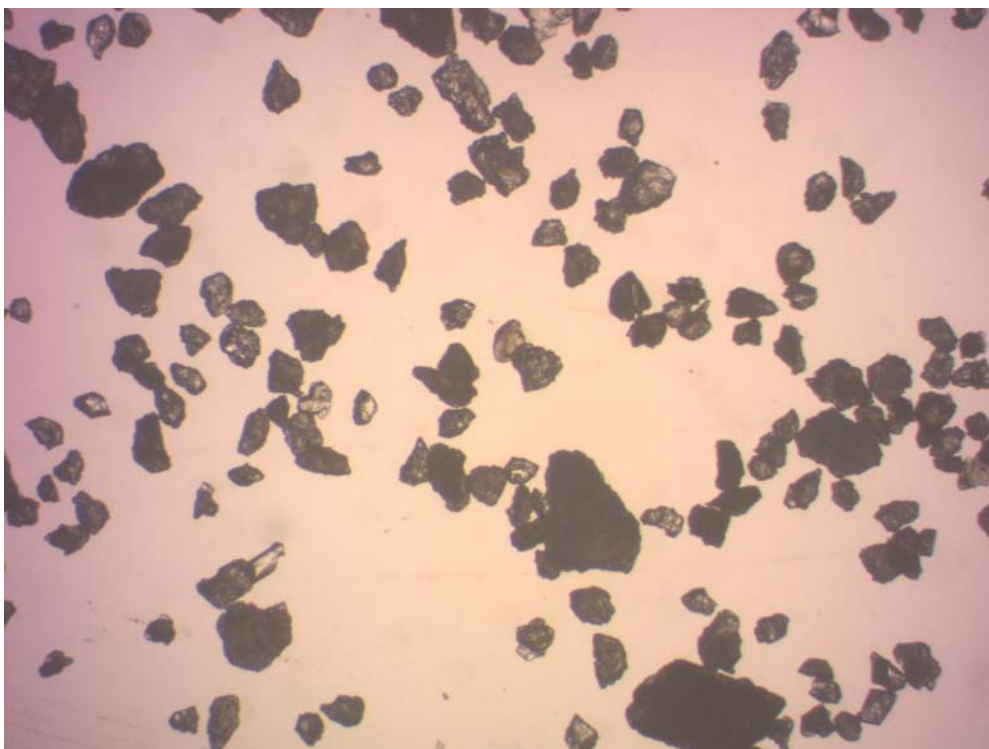
På bakgrunn av resultatene presentert i denne rapporten og vurderingene gjort i underkapittel 4.1 er det rimelig å anta følgende:

Fremtidig avgang fra Nussir- og Ulveryggen-forekomstene kan forventes å ha et kobberinnhold rundt 0,05%. I tillegg til kvarts og feltspat vil Nussir-avgangen inneholde over 30% kalsitt, mens avgangen fra Ulveryggen i praksis vil være fri for karbonater. Begge avgangsmaterialene vil ha en gjennomsnittelig spesifikk egenvekt rundt 2,76 g/cm³ og kornformen vil kunne karakteriseres som kantet til litt rundet. Partikkelstørrelsesfordelingen vil trolig ha en P90 på 100-130 µm, mens P10 vil ligge rundt 4-6 µm.

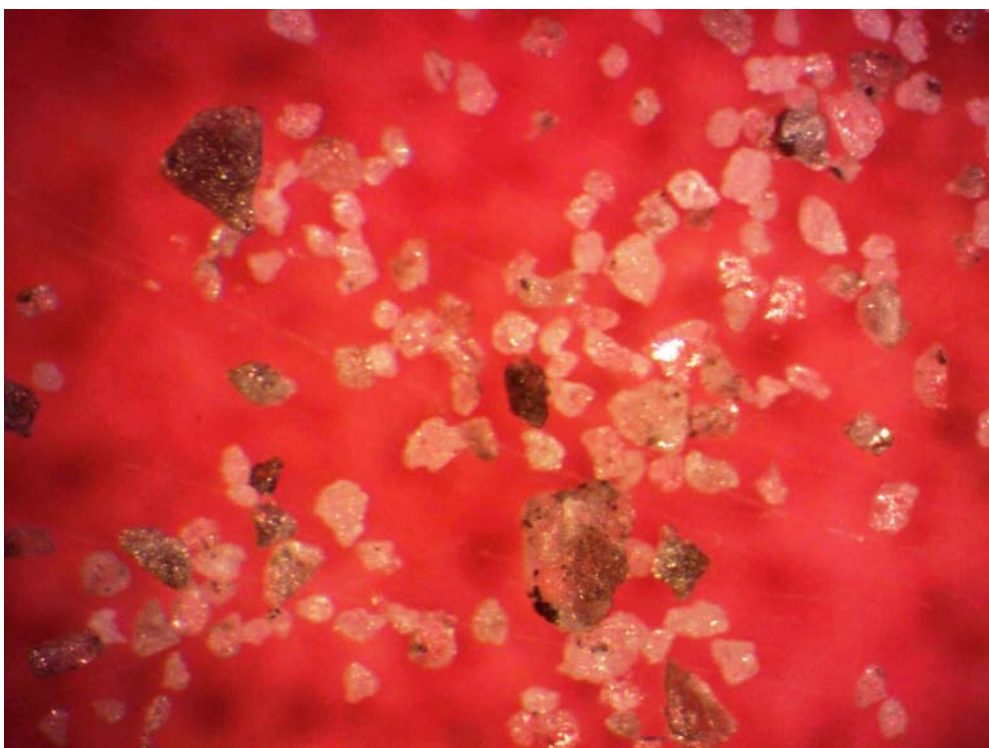
VEDLEGG A Rådata fra partikkelstørrelsesfordeling for "F12 Comb TIs"

Particle Size (mm)	Weight Passing %
0.425	100.0
0.212	99.8
0.150	98.3
0.075	77.6
0.041	43.8
0.030	36.8
0.022	30.6
0.016	24.5
0.012	21.9
0.008	16.6
0.006	10.5
0.004	7.9
0.001	3.5

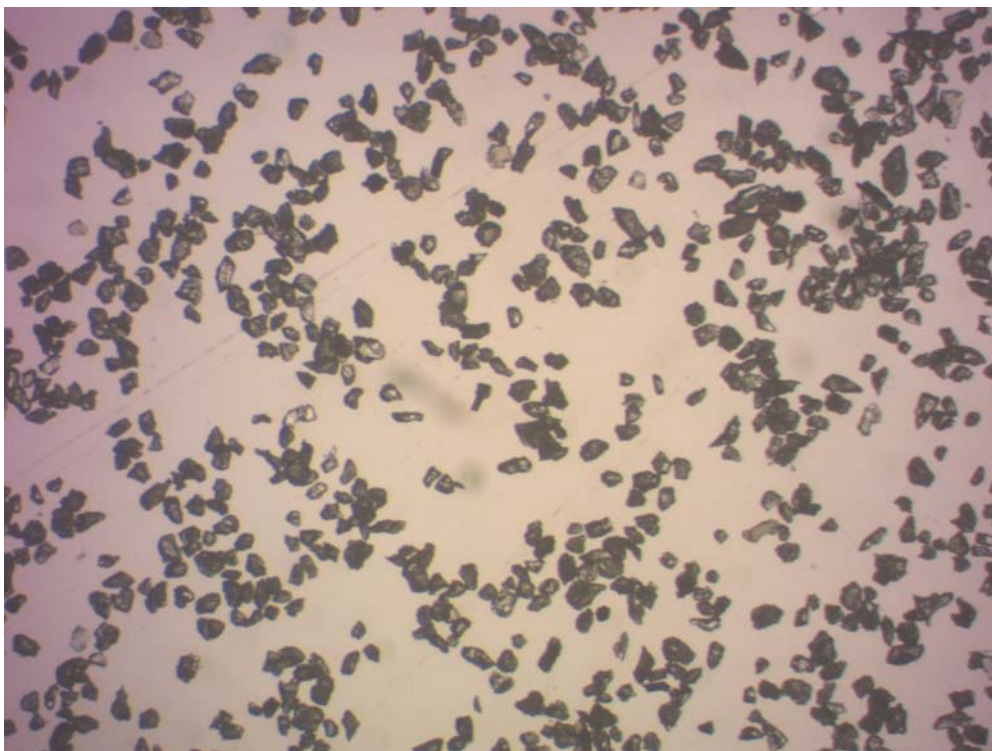
VEDLEGG B.1. Lysmikroskopbilder av "Comb Tails F6/F9"



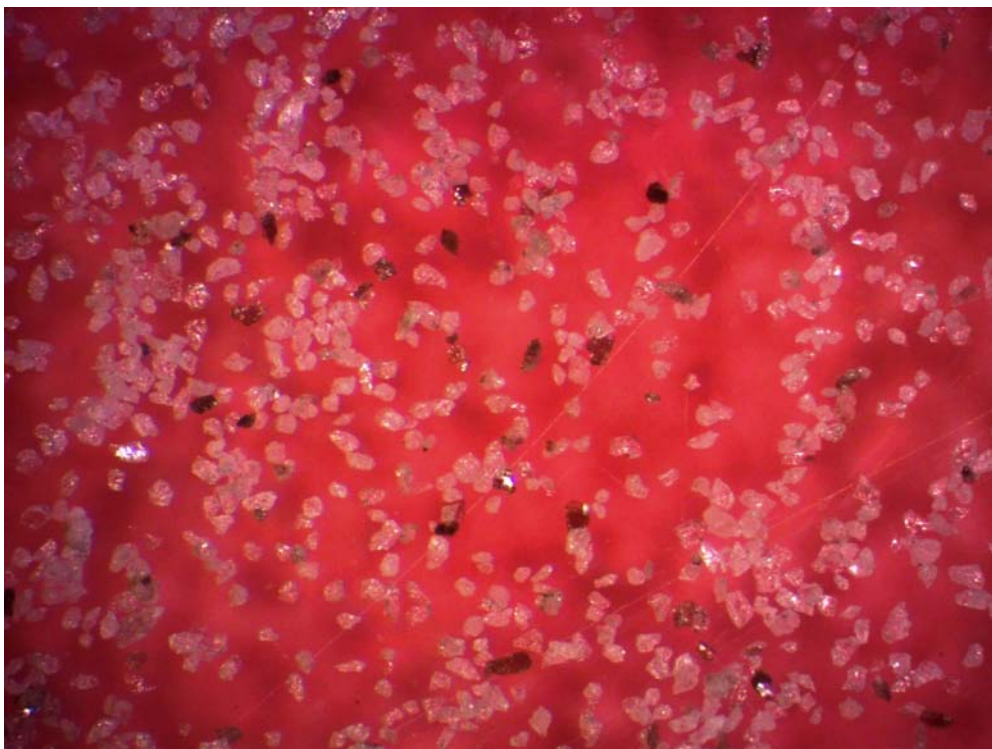
B.1.1: "Comb Tails F6/F9": +75 μm i gjennomfallende lys.



B.1.2: "Comb Tails F6/F9": +75 μm i pålys.

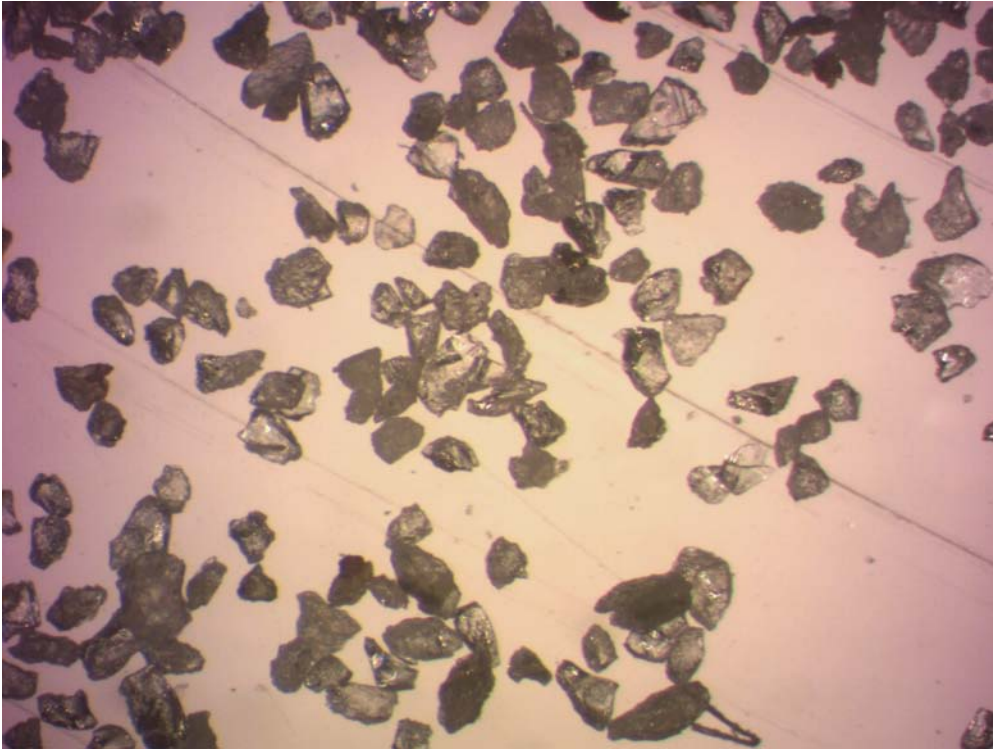


B.1.3: "Comb Tails F6/F9": 37–75 μm i gjennomfallende lys.

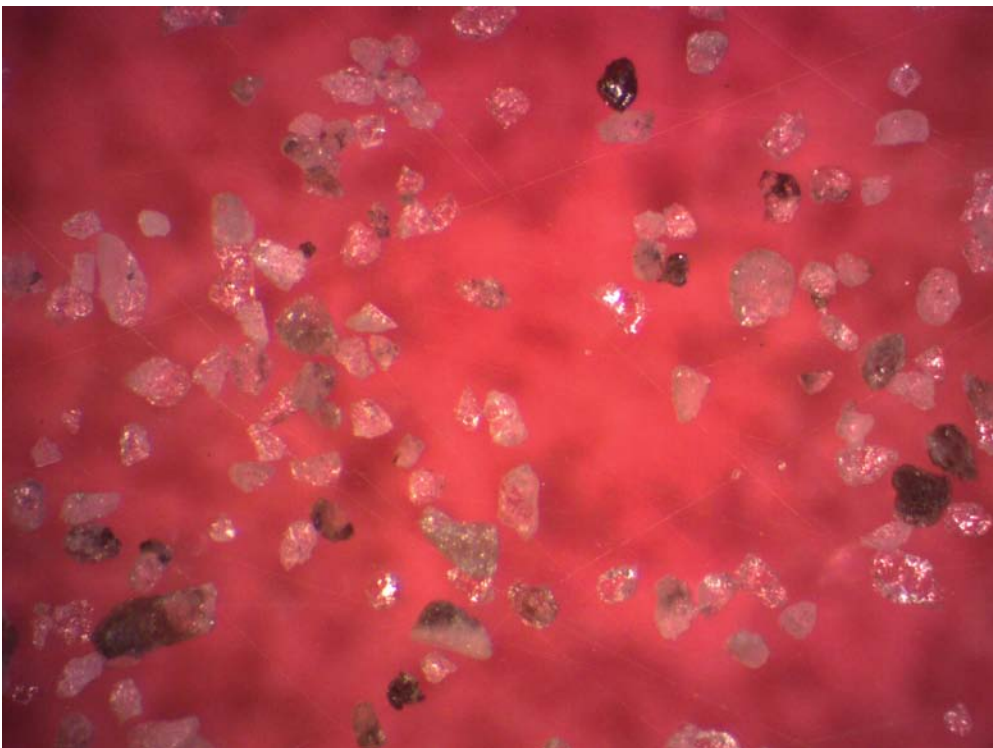


B.1.4: "Comb Tails F6/F9": 37–75 μm i pålys.

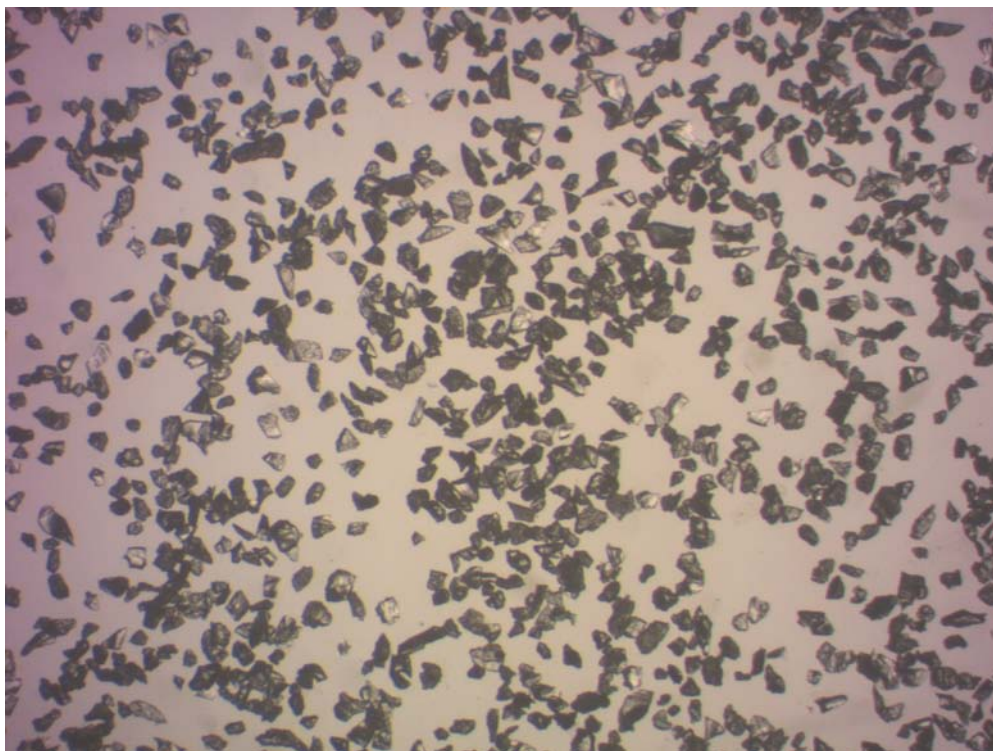
VEDLEGG B.2. Lysmikroskopbilder av "Comb Tails F11"



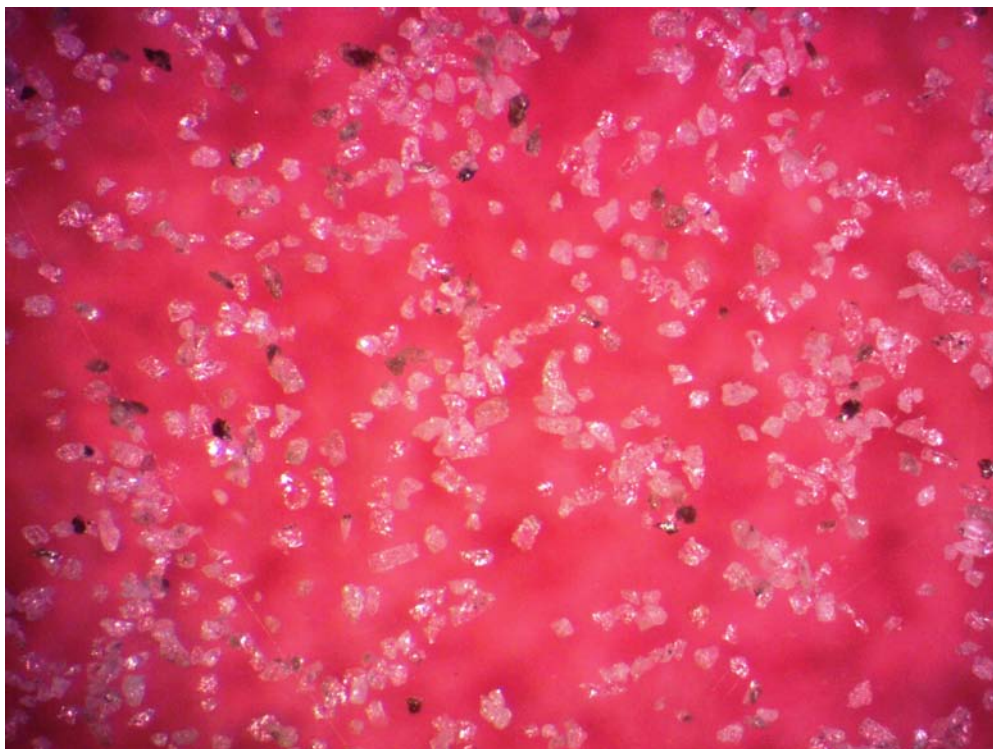
B.2.1: "Comb Tails F11": +75 μm i gjennomfallende lys.



B.2.2: "Comb Tails F11": +75 μm i pålys.



B.2.3: "Comb Tails F11": 37–75 μm i gjennomfallende lys.



B.2.4: "Comb Tails F11": 37–75 μm i pålys.

VEDLEGG C. Kjemisk sammensetning av avgangsprøvene (fraksjonsanalyser).

Element units	Combined Nussir Tails (N-NE) from F6 & F9				Combined Ulverggen Tails (U) from F11			
	+150 mesh	+270 mesh	+400 mesh	-400 mesh	+150 mesh	+270 mesh	+400 mesh	-400 mesh
Mass, %	20.9	26.8	10.9	41.4	17.2	35.7	7.8	39.3
Ag g/t	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Al g/t	58300	41100	35200	46600	45800	35000	40000	57000
As g/t	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Ba g/t	1260	1130	1200	1480	633	392	402	776
Be g/t	1.06	0.56	0.46	1.1	0.44	0.28	0.3	0.54
Bi g/t	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Ca g/t	52600	130000	166000	149000	2790	1690	3260	3550
Cd g/t	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Co g/t	17	12	12	55	11	8	15	96
Cr g/t	77	< 40	< 40	118	246	259	201	823
Cu g/t	1400	507	336	438	989	707	709	1090
Fe g/t	15900	10700	9940	16400	14700	12200	16500	32100
K g/t	32000	19900	16500	20700	12300	8860	9140	16900
Li g/t	21	< 10	< 10	42	11	< 10	< 10	21
Mg g/t	12300	9490	9470	14000	6060	4570	5620	9670
Mn g/t	1310	2970	3830	3590	199	152	219	317
Mo g/t	< 10	< 10	< 10	12	< 10	< 10	< 10	13
Na g/t	13700	12500	12000	11200	19000	16500	19700	23100
Ni g/t	38	37	38	179	38	50	110	355
P g/t	428	320	393	498	< 200	< 200	< 200	< 200
Pb g/t	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sb g/t	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Se g/t	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Sn g/t	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Sr g/t	94	181	227	226	80.9	62.7	67.3	70.5
Ti g/t	2260	1410	1130	1770	1630	1220	1470	2010
Tl g/t	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
U g/t	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
V g/t	56	30	26	45	37	25	28	50
Y g/t	10.4	10	12.3	14.2	4	3.5	4.5	5.8
Zn g/t	29	19	15	59	22	19	21	44
Hg g/t	0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
S %	0.04	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.07