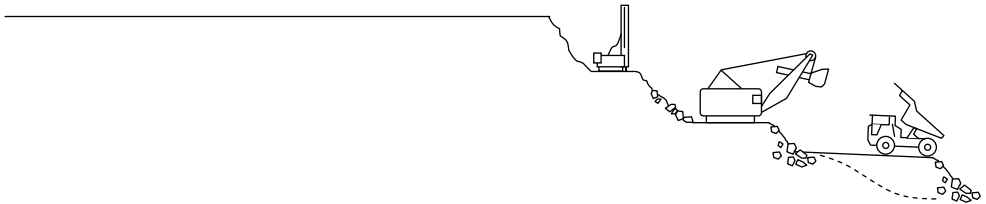


**Faglig notat**

## Mineralforedling ved oppredningslaboratoriet

Erik Larsen<sup>1</sup><sup>1</sup> Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, Sem Sælandsvei 1, 7491 Trondheim (erik.larsen@ntnu.no)

*I tillegg til undervisning og forskning tilbyr oppredningslaboratoriet laboratorietester, analyser og tjenester til eksterne innen fagområdene partikkelreduksjon, fraksjonering, avvanning og separasjon av bergartsmineraler og ulike sekundære råstoff. Ved kontinuerlig fornyelse av kunnskap, kompetanse og utstyr ønsker oppredningslaboratoriet å kunne være en attraktiv bidragsyter mot norsk industri.*



### I. INNLEDNING

Mineralnæringen har i flere år vært et strategisk satsningsområde rundt om i verden, og regjeringen har som uttalt mål å få på plass en strategi for mineralnæringen i Norge i løpet av 2012. Det er med stor interesse oppredningslaboratoriet ved Institutt for geologi og bergteknikk følger hvilken retning regjeringen legger seg på når det gjelder FoU og kompetanse. Oppredningslaboratoriet ønsker å kunne bidra sterkere innen forskning og utvikling, slik at vi kan tiltrekke oss enda flere forskere og studenter som skal bidra inn mot norsk bergindustri. Det må ekstra investeringsmidler til for å kunne oppnå dette i et tempo som industrien kan godta. Oppredning, som tradisjonelt knyttes til foredling av primære råstoff fra bergindustrien, har en betydelig kontaktflate mot en rekke andre tekniske fag, noe som belyses av Sandvik, Digre og Malvik (1999). Resirkulering, rensing og gjenbruk av tilslags- og byggematerialer fra betong, bygg og anlegg er et typisk eksempel. Boreslambehandling i oljeindustrien og gjenvinning av ildfastmaterialer og høyere renhet og økte utbytter i keramisk og metallurgisk industri kan være andre. Sett fra oppredningssiden kan disse fagene og deres sekundære råstoff dra nytte av de muligheter for forbedring og optimalisering som ligger i oppredning. Oppredning som fag er mangfoldig, noe som er forsøkt illustrert i dette notatet, og forhåpentligvis kan vi oppleve en vekst slik at dette

faget kan begynne å bevege seg mot det nivået det fortjener å være på. Notatet er ment å skulle gi en oversikt over oppredningslaboratoriet ved institutt for geologi og bergteknikk og det presenteres derfor en mengde utstyr som laboratoriet besitter, innen fag som partikkelreduksjon, mekanisk aktivering, fraksjonering, avvanning, gravitativ separering, magnetseparering, flotasjon og elektrostatisk separasjon. Notatet begynner med en beskrivelse av det nyeste utstyret, og avsluttes med en liten oversikt over analyser som laboratoriet kan få utført.

## **2. NYHETER VED OPPREDNINGSLABORATORIET**

### ***2.1 Membranpressfilter med syrevask***

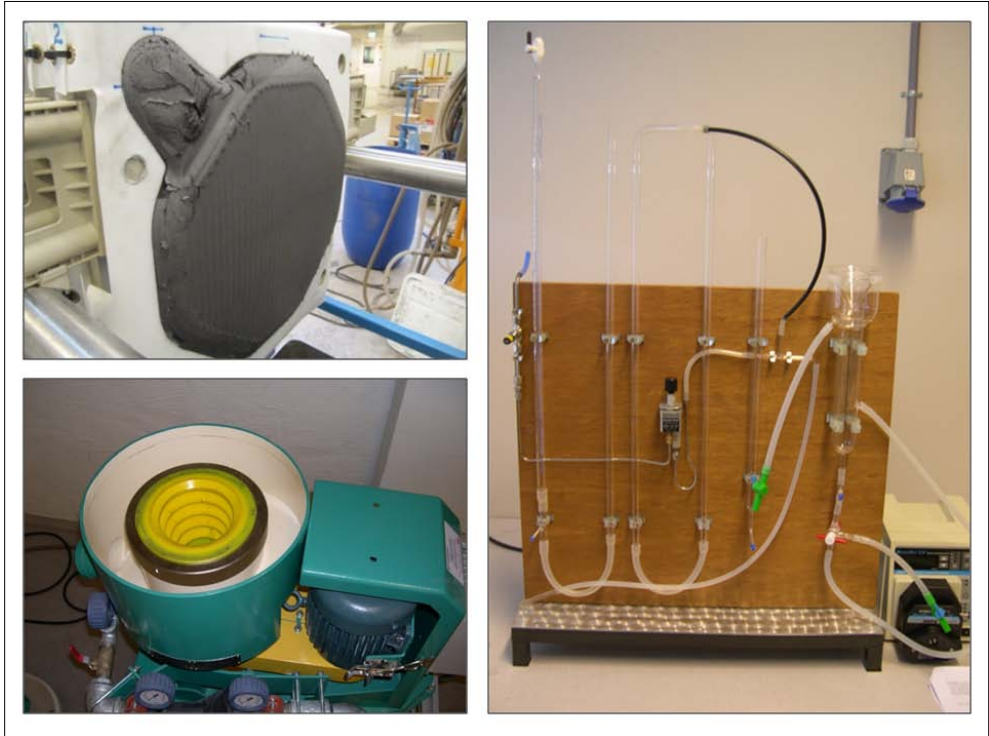
Oppredningslaboratoriets membranpressfilter pumper slurry med inntil 7 bar trykk inn på filteret, før luft blåses inn i membranplatene, og dermed presser noe fukt ut av filterkaken. Vask/syrevask utføres mens filterkaken er under trykk, før filterkaken til slutt trykklåses under 7 bar trykk. Filterduken som benyttes ved instituttet har spesifikk luftpermeabilitet på 0,1-0,2 cfm ( $5 \cdot 10^{-4}$  til  $1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s·m<sup>2</sup>), som er blant det laveste man får for vevde duker av polypropylen. Filteret tar derfor vare på de aller fineste partiklene og produserer i mange tilfeller meget klart filtratvann.

### ***2.2 Knelson sentrifugalkonsentrator***

Knelson sentrifugalkonsentrator er en høyhastighets tyngdekraftkonsentrator med sentrifugalkraft på opptil 60G. Dette er kombinert med en motstrøms fluidiseringsprosess som øker skillet mellom mineraler med høy og lav spesifikk egenvekt, noe som gjør at konsentratoren er spesielt egnet til gjenvinning av tunge mineraler og tungmetaller. Under drift spinner den polyuretanbelagte konsentreringskonen samtidig som vann injiseres ut fra et stort antall hull inne i konsentreringskonens ringer. Slurry pumpes gjennom et rør som går inn sentralt fra toppen av konsentratoren, og som munner ut i nederste del av konsentreringskonen. Sentrifugalkreftene driver de faste partiklene ut i konsentratorens ringer og fyller de opp og danner en seng av partikler etter hvert som mer materiale kommer inn. Vannet som strømmer ut fra hullene inne i ringene sørger for å fluidisere sengen og skaper rom for små og noe mer mobile tungmineralpartikler som dermed kan sildre mellom partiklene i sengen inne i ringene og på den måten oppkonsentreres der til fordel for større partikler med lavere spesifikk egenvekt. Bagnold (1954) identifiserte denne mekanismen som en av de effektive hovedmekanismene ved gravitativ separering.

### 2.3 Mikroflotasjonsutstyr

Oppredningslaboratoriet har nylig mottatt glassblåst mikroflotasjonsutstyr for forsøk med små prøvemengder. Utstyret er spesielt egnet for undersøkelser av mineralers relative floterbarhet.



**Figur 1.** Pressfilter (opp til venstre), Knelson konsentrator (ned til venstre) og mikroflotasjonsutstyr.

## 3. PARTIKKELREDUKSJON - FRAKSJONERING

### 3.1 Partikkelreduksjon og mekanisk aktivering

Stykkstørrelser på opptil 18x18 cm kan behandles i den største kjefteknuseren ved laboratoriet. For materialer hvor forurensning med blant annet jern er lite ønskelig benyttes knusere med slitedeler av wolframkarbid, keramiske eller polyuretanbelagte møller, malelegemer av alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) eller zirkondioksid ( $\text{ZrO}_2$ ) og autogen nedmaling. For materialer som krever spesielt fokus på renhet i alle aspekter av prøvebehandlingen kan operasjoner utføres i et renrom. For grovknusing til finmaling benyttes ulike typer knusere og møller som kjefteknuser,

konknuser, slagknuser, skiveknuser, høytrykksvalseknuser, stavmølle og kulemølle. Når det gjelder mikronisering eller ultrafin nedmaling benyttes kulemølle, jetmølle, røreverksmølle og Hicom-mølle. Hicom-møllen er en roterende mølle som benytter akselerasjonsfelt tilsvarende 40-50G for å oppnå en intens roterende og agiterende bevegelse av partikler og malelegemer i et hurtig roterende knusekammer. Hoyer (1992) og Hoyer og Boyes (1994) sier videre at møllen også kan benyttes til autogenmaling og mekanisk aktivering. Til mekanisk aktivering benyttes også en pulverisette (planetmølle) der nedmaling skjer ved hjelp av kuler i et hurtig roterende møllekammer med justerbar atmosfære.



**Figur 2.** Hicom-mølle (øverst til venstre), røreverksmølle (øverst nr 2 fra venstre), jetmølle (øverst nr 3 fra venstre), pilotmølle (øverst til høyre), pulverisette (nederst til venstre), høytrykksvalseknuser (nederst nr 2 fra venstre), skiveknuser (nederst nr 3 fra venstre), polyuretanbelagt mølle og keramisk mølle (nederst til høyre).

### 3.2 Fraksjonering og avvanning

Når det gjelder sikting og klassering så kan dette utføres tørt eller vått. I tillegg til flere typer sikt med ulike kapasiteter benyttes luftklasserere, våtklasserere, hydrosykloner og sedimentasjonskolonne for å lage ønskede kornfordelinger. Tørr

klassering utføres ved at en luftklasserer settes opp i kombinasjon med en syklon og ett filter, slik at tre ulike produkter kan tas ut om ønskelig. I tillegg til ulike typer hydrosykloner har laboratoriet en mobil testrigg med utskiftbare sykklondeler av polyuretan i ulike størrelser og dimensjoner. Ventiler, by-pass og trykkmåler gjør at man har god kontroll på trykket under drift av riggen. Avvanning utføres ved bruk av hydrosykloner, sedimentasjonskolonne og pressfiltre. Laboratoriets pilotskala membranpressfilter har også muligheter for syrevask på en trykksatt filterkake.



**Figur 3.** Pilot membranpressfilter (øverst til venstre), pressfilter og sikt (øverst i midten), luftklasserer (øverst til høyre), hydrosyklon test rigg (nederst til venstre), polyuretan hydrosyklon (nederst nr 2 fra venstre), sedimentasjonskolonne (nederst nr 3 fra venstre) og mekanisk våtklasserer (nederst til høyre).



## 4. SEPARERINGSMETODER

### 4.1 Gravitativ separering

Gravitativ separering er basert på forskjeller i mineralenes spesifikke egenvekter. Ved oppredningslaboratoriet utføres gravitativ separering på konvensjonelt vaskebord og gullvaskebord, med Kelsey jig, i Knelson sentrifugalkonsentrator og i MGS-separatoren. Multi Gravity Separatoren (MGS) utviklet av Richard Mozley (1989) kombinerer tynnfilm og risting med sentrifugalkrefter. Separatoren består av en svakt vinklet, roterende trommel i tillegg til en drivmekanisme som gir en syklisk horisontal bevegelse av trommelen. Kraftfeltet gjør at separering kan skje mellom mineraler med mindre forskjeller i egenvekt, i tillegg til separering av meget finkornige materialer.



**Figur 4.** Benkeflotasjonscelle (øverst til venstre), impeller/stator i pilot flotasjonscelle (i midten øverst), Kelsey jig (øverst til høyre), svakfelt og sterkfelt magnetseparatorer (sentralt i bildet), Multi Gravity Separator (til høyre) og vaskebord (nederst).

## ***4.2 Magnetseparering***

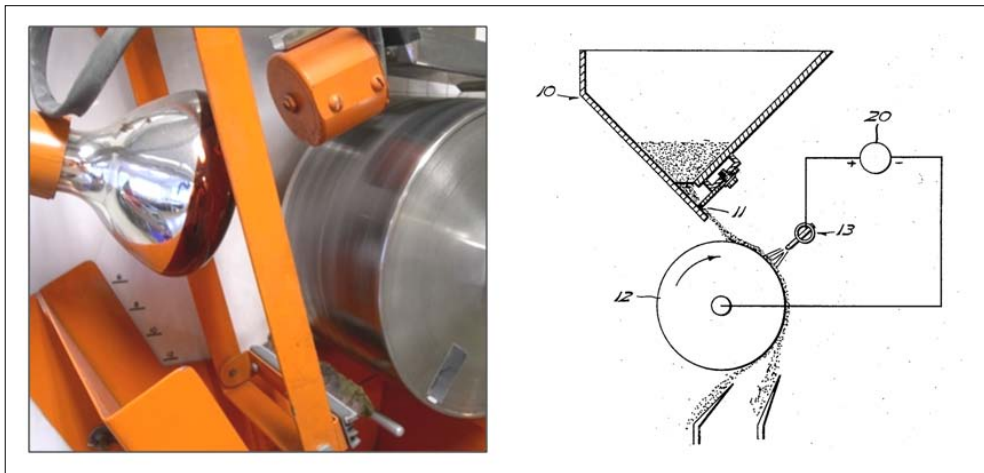
Magnetseparering baserer seg på forskjeller i mineralers magnetiske egenskaper. Sterkfelt magnetseparering av umagnetiske og svakt magnetiske materialer skjer på permroll med magnetisk feltstyrke opptil 9500 Gauss (max) og på Dings Tube Tester. Våt svakfelt magnetseparering utføres på Sala magnetseparator. Små prøvemengder kan i tillegg magnetsepareres på Frantz magnetseparator, som man også benytter i bestemmelse av mineralenes evne til å påvirke et magnetfelt (magnetisk susceptibilitet).

## ***4.3 Flotasjon***

Separering ved flotasjon baserer seg på forskjeller i mineralenes fysikalsk-kjemiske overflateegenskaper, og utnyttelsen av disse for selektivt å skille mineralene fra hverandre. Ved oppredningslaboratoriet kan separering utføres med mikroflotasjon, benkeflotasjon, kolonneflotasjon og konvensjonelle mekaniske pilotceller. Et rikt utvalg kjemikalier dekker en rekke konvensjonelle flotasjonsprosesser og øvrig eksperimentelt arbeid. En eller flere av følgende forbehandlingsteknikker kan være aktuell ved separasjon: frimaling, fraksjonering, avslamming, mekanisk og kjemisk aktivering. Flotasjon er en meget anvendbar skilleprosess, og mulige bruksområder er separasjon av ulike bergartsmineraler, metaller, slagger og keramer, m.m.

## ***4.4 Elektrostatisk separasjon***

Den elektrostatiske separatoren ved instituttet er en elektro-dynamisk separator basert på design av Carpenter (1951). En jordet rotor mater partiklene inn i feltet til en ioniserende elektrode, hvor partikkeloppladning skjer ved såkalt ionebombardement. Deretter skjer separasjon på grunnlag av forskjell i partiklenes fysiske, overflatekjemiske og elektriske egenskaper. Ledende materialer mister sin ladning til den jordede rotoren og kastes bort fra rotoren ved hjelp av sentrifugalkrefter, i tillegg til den ikke-ioniserende elektrodens tiltrekkende krefter. Ikke-ledende partikler mister ikke sin ladning til den jordede rotoren så raskt og vil derfor holdes fast til rotoren i lengre tid. En eller flere av følgende forbehandlingsteknikker kan være aktuell ved separasjon: frimaling, fraksjonering, avslamming, oppvarming/nedkjøling, fukting/tørking, mekanisk og kjemisk aktivering.



**Figur 5.** Elektrostatisk separator og prinsippsskisse av Carpenter (1951).

Bruksområder for separatoren er separering av ulike typer bergartsmineraler, separering av metaller fra ikke-metaller (slagger, m.m.) og i forbindelse med plastgjenvinning.

## 5. ANALYSER

Mange prøver som analyseres ved tilstøtende laboratorier må innom oppredningslaboratoriet i forbindelse med prøvepreparering og uttak av representativt prøvemateriale. Følgende er en oversikt over en del av de målinger/analyser som normalt utføres ved eller i tilknytning til oppredningslaboratoriet: frimalingsanalyser, partikkelteksturanalyse, kornfordelingsanalyser, måling av sirkularitet og konveksitet, måling av magnetisk susceptibilitet, bestemmelse av magnetisk innhold, mineralogiske og kjemiske analyser, måling av spesifikk overflate, måling av spesifikk egenvekt, viskositetsmåling, måling av pH og sedimentasjonsanalyse.

## REFERANSER

Bagnold, R.A., 1954: Experiments on a gravity free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. Proc. R. Soc. Lond., Set. A., 225, 49-63 (1954).

Carpenter, J. H., 1951: Electrostatic Separator. U.S. Patent 2548771.



Hoyer, D.I., 1992: High-intensity autogenous milling in the Hicom mill – a preliminary simulation model. *Comminution – Theory and Practice*, publ SME-AIME, S.K. Kawatra ed., kap. 25, s. 339-354.

Hoyer, D.I. og Boyes, J.M. 1994: High-intensity fine and ultrafine grinding in the Hicom mill. XVth CMMI Congress, Johannesburg, SAIMM, vol. 2, s. 435-441.

Mozley, R. H., 1989: Minerals separator. U.S. Patent 4964845.

Sandvik, K.L., Digre, M. og Malvik, T. 1999: *Oppredning av primære og sekundære råstoffer*. Tapir forlag, Trondheim. ISBN 82-519-1333-0.