

Torgeir Haavik

Rensing av kalkstein

19/12-95
UNIVERSITETET I TRONDHEIM
NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
FAKULTET FOR BERG,
PETROLEUMS- OG METALLURGI FAG
M. Svendsen



NTH
UNIVERSITETET I TRONDHEIM
Fakultet for berg-, petroleums-
og metallurgifag

HOVEDOPPGAVEN

1995

INSTITUTT FOR GEOLOGI OG BERGTEKNIKK



NTH

UNIVERSITETET I TRONDHEIM
Fakultet for berg-, petroleums-
og metallurgifag

HOVEDOPPGAVEN

Kandidatens navn: *Torgeir Haavik*
Torgeir Haavik

Oppgavens tittel: Rensing av kalkstein

English title: Beneficiation of limestone

Utfyllende tekst: Rensing av kalkstein, spesielt med hensyn på pyritt. Uprøving av Kelsey sentrifugal-jig. Undersøkelse av frimalingskarakteristikk ved ulike nedmalingsmetoder. Flotasjonsforsøk.

Linje: Berg

Studieretning: Miljø- og ressursteknikk

Terje Malvik

Faglærer: Terje Malvik

NTH, 19. Desember 1995

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	4
2. FORMÅL MED OPPGAVEN	6
3. PRESENTASJON AV FORSØKSPROSEDYRER	6
3.1 PREPARERING AV KALKEN FOR VIDERE FORSØK	6
3.2 FOTOGRAFERING AV POLERSLIP FOR DOKUMENTASJON AV MINERALOGI	8
3.3 ANDRE KNUSE/MALE-METODER	11
3.4 PRODUKSJON AV FRIMALINGSKURVER	11
3.5 BESTEMMELSE AV PYRITTMENGDE, OG DENNES KORNTØRRELSSEFORDELING, I SLIP VED HJELP AV BILDEANALYSE	12
3.6 UNDERSØKELSE AV INNHOLD AV PARAMAGNETISKE MINERALER	12
3.7 FJERNING AV PYRITT V.HJ.A. MOZLEY VASKEBORD	13
3.8 FJERNING AV PYRITT V.HJ.A. KELSEY-JIG	14
3.8.1 KELSEY-JIGGENS VIRKEMÅTE	14
3.8.1.1 Riktige kjørebetingelser	16
3.8.2 PREPARERING AV KALKEN FOR KJØRING AV KELSEY-JIGGEN	16
3.8.3 PREPARERING AV OLIVIN SOM RAGGINGMATERIALE	17
3.8.4 PREPARERING AV GRANAT SOM RAGGINGMATERIALE	17
3.8.5 KJØRING AV KELSEY-JIGGEN	17
3.9 FLOTASJONSFORSØK	19
4. PRESENTASJON AV RESULTATENE	20
4.1 SIKTEKURVER	20
4.2 FRIMALINGSKURVER	22
4.3 BILDEANALYSE FOR BESTEMMELSE AV PYRITTMENGDER I HOVEDPRØVE	22
4.4 MAGNETSEPARASJON FOR FJERNING AV PARAMAGNETISKE MINERALER	24

4.5 FJERNING AV PYRITT V.HJ.A. MOZLEY VASKEBORD	24
4.5.1 DTA-ANALYSE AV MOZLEY-SEPARERTE FRAKSJONER	24
4.5.2 MIKROSKOPERING AV MOZLEY-SEPARERTE FRAKSJONER	26
4.5.3 XRD-ANALYSE AV MOZLEY-SEPARERTE FRAKSJONER	27
4.6 FJERNING AV PYRITT V.HJ.A. KELSEY SENTRIFUGAL-JIG	27
4.7 FLOTASJONSFORSØK	29
5. DISKUSJON / TOLKING AV RESULTATER OG FEILKILDER	30
5.1 SIKTEKURVER	30
5.2 FRIMALINGSKURVER	31
5.3 BILDEANALYSE	32
5.4 MAGNETSEPARASJON FOR FJERNING AV PARAMAGNETISKE MINERALER	32
5.5 PYRITTRENSING VED HJELP AV MOZLEY	32
5.6 PYRITTRENSING VED HJELP AV KELSEY-JIG	33
5.7 SAMMENLIGNING AV MOZLEY OG KELSEY	34
5.8 FLOTASJONSFORSØK	35
5.9 VURDERING AV ANALYSEMETODENE	36
6. KONKLUSJON	37
7. ETTERORD	38

Sammendrag

Denne avhandlingen omhandler rensing av en kalkforekomst, med den hensikt å oppnå et produkt med så høyt kalsittinnhold som mulig. I tillegg står utprøving av en relativt ny metode innenfor mineralseparasjonsteknologien, nemlig Kelsey sentrifugal-jig, sentralt.

Metoder som vil bli brukt for kartlegging av forekomstens sammensetning og frimalingsegenskaper er undersøkelser forbundet med mikroskoperingsanalyser knyttet til ulike nedmalingsmetoder. XRD (røntgendiffraksjon) og DTA (differensialtermisk analyse) er analysemetoder som vil bli brukt for deteksjon og kvantifisering av forurensningsminerale.

Mye av arbeidet går ut på pyrittfjerning ved hjelp av to ulike gravitative metoder, nemlig ved hjelp av Mozley vaskebord og Kelsey sentrifugal-jig. I tillegg blir flotasjon utprøvd både som eneste renseprosess, og som andre rensetrinn etter foregående pyrittfjerning.

Kalkforekomsten består i utgangspunktet hovedsakelig av kalsitt. I tillegg kommer små mengder forurensningsminerale som grafitt, pyritt, dolomitt, glimmer, kvarts og andre ulike silikater.

Pyritrensing ved hjelp av Kelsey-jig gir totalfjerning av pyritt, men innfører andre forurensninger. Disse overføres til pyritten fra raggingmaterialet, som inngår som en del av renseprosessen. Mozley-separatoren, altså vaskebord, gir en noe dårligere pyrittfjerning enn Kelsey-jiggen. Resultat fra forsøkene med Mozley-separatoren, sett i sammenheng med frimalingskarakteristikk for kalken, viser at det ideelle området å foreta pyrittseparasjon på er omkring 74-104 μm . Her er rensegraden høy, frimalingen er høy, og tapet av kalsitt er lavt.

Hvithetstest etter flotasjon gir en hvithet på 91,9 % for prøver som på forhånd er renset for pyritt ved hjelp av Kelsey-jig. Dersom dette første rensetrinnet utelates, og flotasjon innføres som eneste rensetrinn, oppnås en hvithet på 93,2 - 94,5 %. Årsaken til dette er forurensningene som innføres under Kelsey-separasjonen.

1. Innledning

Kalsitt, eller kalkspat, er et meget utbredt mineral. I ren tilstand, i krystallform, er det fargeløst og gjennomsiktig, men ofte er kalsitten farget av forurensninger. Kalsitt er bygd opp av CaCO_3 -grupper, og inneslutter ofte små forurensninger som jern- og magnesiumoksyder, kvarts, feltspat, silikater, grafitt og sulfider. Hardheten er 3, noe som er relativt lavt, og densiteten, egenvekten, er $2,71 \text{ g/cm}^3$. Mineraliet krystalliserer trigonalt og spalter i tre retninger etter romboederet, med en kantvinkel på 75° . To andre naturlige, polymorfe former av CaCO_3 er aragonitt (rombisk) og vaterlitt (heksagonal). Kalkspat er en viktig bestanddel av mange sedimentbergarter og deres metamorfe produkter (kalkstein, kritt, marmor), og av enkelte magmatiske bergarter (karbonatitt). Kalkspat avsettes også av kilder som kalktuff, kalsinter, dryppstein og kavertin. Mineraliet finnes dessuten på ganger og sprekker i alle slags fjell. Når kalsitten skal benyttes som industrimineral, for eksempel i papir og malingsindustri, er det som regel hvitheten som gjør dette mineraliet så nyttig. [Tore Prestvik: «Mineralogi», 1992]

Forekomstene er sjelden så rene at man kan male dem ned og bruke dem direkte; en renseprosess for å fjerne spesielt de mørke mineralene er vanligvis nødvendig. Også andre mineraler som ikke bidrar til misfarging av produktet kan det være nødvendig å fjerne. Dette fordi CaCO_3 er et relativt bløtt mineral, og maskinene i for eksempel papirfabrikken er dimensjonert for å behandle nettopp dette mineraliet. Forurensningsmineraler som kvarts, feltspat og andre silikater er langt hardere, og vil bidra til uforholdsmessig stor slitasje på utstyret.

Papirindustrien er en stor forbruker av kalsitt, og for bedriften Hustadmarmor A/S sin del er papirindustrien hovedkunden. Kalsitten har to misjoner i papiret, nemlig som fyllstoff og til bestrykning. Fyllstoff utgjør i vanlig papir omlag 20-30 %. En rekke egenskaper er viktige for materiale som skal brukes som fyllstoff;

- Opasiteten, altså gjennomskinneligheten. Ønsket opasitet kan oppnås ved å tilpasse produktets kornstørrelsesfordeling.
- Hvitheten. Denne bestemmes rett og slett av mengden forurensningsmineraler i produktet, og kan dermed oppnås ved tilstrekkelig grad av rensing. Jo større kravene er til hvithet, jo mer må produktet renses, og desto dyrere blir produksjonen.

- Abrasiviteten, altså hvor slitende produktet er på de maskindeler som skal behandle det. Abrasiviteten har altså ikke noe å si for det endelige produktet, men snarere for økonomien i fremstillingen av papiret.
- Ladningen. Man skulle kanskje ikke tro at fyllstoffets elektriske egenskaper var av særlig stor betydning, men det viser seg at et kationisk fyllstoff gir en bedre kjøring av papirmaskinen enn nøytrale eller anioniske fyllstoffer som var mer vanlig tidligere. For å oppnå denne ønskede ladningen tilsettes simpelthen et dispergeringsmiddel. Med dette oppnås en mer gunstig kjemi i papirfremstillingen.
- Kornstørrelsesfordelingen er viktig, og gunstige, optimale forhold varierer fra produkt til produkt, men vanlig for fyllstoff til papir er en kornstørrelsesfordeling der 50-60 % av materialet er mindre enn 2 μm . Dette blir betegnet som relativt grovt.
- Viskositeten på produktet er også en parameter det er viktig å ta hensyn til. Dette fordi produktet skal kunne håndteres innad i fabrikken, og uten for stor energibruk skal det kunne pumpes rundt i rørledninger. Viskositeten må av den grunn ikke være for stor.

I tillegg til fyllstoff, er kalsitten en viktig faktor når papir skal ha en glatt og fin overflate. Da brukes kalsitten til såkalt bestrykning av papiret. Man klassifiserer pigmentene som brukes til bestrykning i to hovedklasser, nemlig «precoat pigment» og «topcoat pigment». Precoat pigment brukes til forbestrykning av papir som videre skal bestrykes med topcoat pigment. Precoat pigment kan også brukes som eneste bestrykning, og overflaten på papiret vil da bli noe ru. Også her er det endel viktige parametre å ta hensyn til, bl. a. hvithet, konsentrasjon, viskositet og kornstørrelsesfordeling. Vanlig kornstørrelsesfordeling er 60-80 % mindre enn 2 μm .

Topcoat pigmentene brukes i produkter som krever spesiell hvithet og glans, som finere plakater og reklamemateriell. Før bestrykning med disse pigmentene er det nødvendig å forbestryke papiret med precoat pigment. De samme kravene blir vanligvis stilt til topcoat pigmenter som til precoatpigmenter, bortsett fra kornstørrelsesfordelingen. Vanlig finhet på materialet er her 90-100 % mindre enn 2 μm . En slik kornstørrelsesfordeling på bestrykningsmaterialet gir papiret høyere glans.

Når det gjelder renheten på produktet, er det hvitheten som er den viktigste målbare parameter (renhet og hvithet er ikke det samme). Hvithet angis i prosent, der 100 % hvithet er det høyest

oppnåelige. Den renheten som kreves er avhengig av hvilke forurensende mineraler man har med å gjøre. Dersom det forurensende mineralet er kvarts eller andre hvite mineraler, kan det være nok med en renhet på 99,7 % for å oppnå 95 % hvithet. Er forurensningsmineralet derimot mørkt, som for eksempel grafitt, er det nødvendig med en renhet på 99,9 % for å tilfredsstille det samme kravet om 95 % hvithet [pers. Espen Lillebryggfeld].

2. Formål med oppgaven

For at kalken skal kunne brukes til industriformål, er det som nevnt nødvendig å rense den for forurensninger. Ulike metoder vil bli tatt i bruk for å kartlegge bergarten og dens egenskaper, og for å finne den best egnete metoden for å fjerne uønskede mineraler. I kartleggingsprosessen vil det bli lagt vekt på ulike anvendelser av mikroskop og utstyr knyttet til dette, og gravitative metoder vil stå sentralt i renseforsøkene. Separasjonsforsøk som utføres av undertegnede ved NTH vil begrense seg til fjerning av pyritt. Andre forurensningsstoffer vil bli fjernet ved flotasjon ved bedriften Hustadmarmor A/S. Målet er å fjerne forurensningene ved en lavest mulig nedmalingsgrad. For å optimalisere frimalingsgraden ved lavest mulig nedmaling, vil ulike nedmalingsmetoder bli utprøvd for om mulig å finne den mest egnete.

3. Presentasjon av forsøksprosedyrer

{Vedlegg 1: Flytskjema over forsøksprosedyrer}

3.1 Preparering av kalken for videre forsøk

Utgangspunktet for de videre forsøkene var en last på 500 kg kalk, bestående av to hovedprøver, i form av noen få blokker. For at disse forsøkene skulle utføres med representativt materiale, måtte all stein knuses ned og splittes ut i mindre mengder. Man kan i utgangspunktet aldri være sikker på at den prøven man sitter med er representativ for den forekomsten som senere skal drives, og for å ta høyde for de eventuelle variasjonene som vil kunne forekomme, ble partiet behandlet som to separate hovedprøver. Disse prøvene betegnes

heretter henholdsvis prøve 1 og prøve 2. De to hovedprøvene ble gjennom alle forsøk behandlet identisk, med unntak som vil nevnes eksplisitt.

Første trinn i nedknusningsprosessen var en kjeftetygger. Ettersom denne kjeftetyggeren hadde sin klare begrensning i størrelsen på påmatingssteinen, måtte blokkene først knuses manuelt etter steinaldermetoden, det vil si at de eneste aktørene er en mann, hans slegge og et større parti gnagsårplaster. Noen passende stykker fra hver av blokkene ble tatt vare på, og disse ble siden grunnlaget for produksjon av polerte tynnslip og polerslip for undersøkelse av steinen i mikroskop. Etter å ha knust ned blokkene til passende størrelse, d.v.s. til steiner på omlag 2-3 kg, ble disse kjørt gjennom kjeftetyggeren. Matingen foregikk for hånd. Maksimumsstørrelse på steinen etter kjeftetyggeren lå i området rundt 35 mm. Videre nedknusning foregikk i slagknuser, men noe av materialet ble tatt ut av prosessen for knusing ved andre metoder. Til mating av slagknuseren ble det brukt en automater. Før materialet ble knust videre ned i slagknuseren, ble finstoff, d.v.s. materiale finere enn 8 mm siktet fra for å unngå unødig høy finstoffproduksjon. Resultatet etter slagknuseren var materiale der omkring 80 % var mindre enn 4 mm. Alt materiale inkludert finstoffet fra kjeftetyggeren ble siktet på 4 mm sikt. Det som var større enn 4 mm ble på nytt kjørt gjennom slagknuseren, som denne gang var stilt litt finere. På ny ble materialet siktet på 4 mm, og etter enda en gjennomgang i slagknuseren var til slutt alt materiale finere enn 4 mm. ✓

For å lette den senere håndtering av den store materialmengden ble kalken splittet to ganger, slik at prøven nå bestod av fire identiske deler. Videre ble det splittet ut åtte mindre prøver på 1 kg, materiale som skulle brukes i en rekke kommende forsøk. Materialet til bruk i disse forsøkene må være finmalt slik at mineralene som skal fjernes (pyritt og grafitt) i størst mulig grad er frimalt. Frimalingen sørger for at forurensningsmineralenes spesielle egenskaper som f.eks. egenvekt og overflateegenskaper, som jo er de som gjør at de kan fjernes, blir mest mulig forskjellige fra kalsittens egenskaper. En av de utsplittede kiloprøvene ble derfor malt i en liten kulemølle (indre diameter 20 cm). Til malingen ble det brukt 4 kg jernkuler, og maletiden var 6 minutter. Maleproduktet, som nå i hovedsak bestod av materiale mindre enn 500 μm ble siktet på følgende siktesats i tyve minutter:

(Alle tall er i mikrometer, og dette er den samme siktesatsen det vil bli referert til andre steder, såfremt ikke noe annet eksplisitt blir nevnt)

-
- 0
 - 53
 - 74
 - 104
 - 147
 - 208
 - 295
 - 417
 - 589
 - 833
 - 1168
 - 1651
 - 2362

På grunnlag av denne siktingen ble det fremstilt siktekurver for det malte materialet.

3.2 Fotografering av polerslip for dokumentasjon av mineralogi

Ved hjelp av et fotoapparat montert på mikroskopet, ble det tatt bilder av utsnitt av polerslip produsert av både stoff og av nedmalte fraksjoner. Her dokumenteres pyrittens og grafittens opptreden i kalken, og i slipene av de nedmalte fraksjonene ser man hvordan pyritt og grafitt opptrer som frimalte helkorn og som halv- og smittakorn. *{Vedlegg 2: Mikroskopbilder}*

Bilde nr. 7:

Prøve 2. Her ser man en grafittansamling (lyse korn) innesluttet i kalsittkorn. Dette er den type grafittforekomst som er mest ugunstig med hensyn på rensing av kalken. For å frigjøre denne grafitten er det trolig nødvendig med stor grad av nedmaling.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

Bilde nr. 8:

Prøve 2. Dette bildet er av samme grafittansamling som er avbildet på bilde nr.7. Legg merke til den fiberaktige kornformen. Denne er typisk for grafitten man finner som forurensning i kalken.

Objektiv: 20x

Målestokk: 1:340

Bilde nr. 15:

Prøve 2. Her ser man pyrittkorn (lyse korn) innesluttet i kalsittkorn. Som på dette bildet er det vanlig at pyritten opptrer som enkeltkorn, og ikke i ansamlinger slik som grafitten på bilde 8.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

Bilde nr. 19:

Prøve 1. Dette bildet viser en grafittansamling (lyse korn) på korn grensen mellom to grafittkorn. Denne typen grafittansamling er noe lettere å frimale ettersom den sitter på korn grensene. Like stor grad av nedmaling som for grafitten på bilde nr. 8 er ikke nødvendig her.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

Bilde nr. 20:

Prøve 1. Denne grafittansamlingen (lyse avlange korn) er den samme som er avbildet på bilde nr. 19.

Objektiv: 20x

Målestokk: 1:340

Bilde nr. 23:

Prøve 2. Dette bildet viser nedknust kalsitt, fri for synlige forurensninger. Disse kornene er mellom 295 og 417 μm . Man ser her tydelig spaltevinkelen på 75° .

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

Bilde nr. 35:

Prøve 2. Her ser man kalsittkorn fra fraksjonen 208-295 μm . Kornet i sentrum av bildet er forurenset av endel grafittkorn (lyse, avlange korn). For å separere grafitten fra kalsitten er det i dette tilfellet nødvendig å male kalken ytterligere ned, slik at grafitten frigjøres.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

Bilde nr. 36:

Prøve 2. Her ser man kalsittkorn fra samme fraksjon som bilde nr. 35 viser, nemlig 208-295 μm . Også her er kalsittkornet i sentrum av bildet forurenset. Her er forurensningen pyritt (lyst korn). Som tilfellet var for grafitten i bilde nr. 35, er det også her nødvendig med ytterligere nedmaling for å frigjøre forurensningsmineralet.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

3.3 Andre knuse/male-metoder

Andre knuse/male-metoder ble også utprøvd for å se hvordan dette påvirket kornstørrelsesfordelingen og frimalingen av pyritt og grafitt. Den ene nedkushningsmetoden som ble undersøkt var følgende:

- kjeftetygger, knuste ned til < 35 mm
- spindelknuser, flere gjennomkjøringer med sikting imellom

Etter dette ble materialet siktet på siktesats i tyve minutter, og siktekurve ble produsert. Den andre metoden som ble undersøkt var denne:

- kjeftetygger, knuste ned til < 35 mm
- spindelknuser
- stor kulemølle (indre diameter 40 cm), 15 kg kuler i 6 minutter

Også her ble materialet siktet i tyve minutter på siktesats, med etterfølgende produksjon av siktekurve.

For begge knuse/malemetodene ble det tatt ut materiale fra hver størrelsesfraksjon, og polerslip ble produsert for å undersøke frimalingskarakteristikken.

3.4 Produksjon av frimalingskurver

Frimaling av forurensningsstoffene som skal fjernes er svært viktig for at egenskapene til forurensningsmineralet skal bli så tydelige som mulig, og for å unngå fjerning av mineraler som ikke skal fjernes. Det er også hensiktsmessig å fjerne mineralene ved en så lav nedmalingsgrad som mulig for å unngå unødig stor finstoffproduksjon, og også fordi det rett og slett er energisparende. På grunnlag av de polerte tynnslipene og polerslipene som ble laget av de ulike siktefraksjonene av hovedprøven, ble det fremstilt frimalingskurver for pyritten og grafitten i kalken. {Vedlegg 3: Frimalingskurver} Måten dette ble gjort på var at de ulike slipene ble undersøkt i mikroskop. Her ble alle korn av grafitt og pyritt registrert, og klassifisert som korn av typen

- 0-5 %
- 5-20 %
- 20-50 %
- 50-90 %
- 90-100 %

Frimalingskurver ble laget ved å plote andelen av helkorn (90-100%) i prosent av den totale mengde korn mot gjennomsnittlig kornstørrelse.

Å kartlegge frimalingskarakteristikken til et materiale som skal renses for urenheter er svært viktig for å optimalisere renseprosessene. På grunnlag av frimalingsundersøkelser er det mulig å fastslå nødvendig nedmalingsgrad før separasjonsprosessen,

3.5 Bestemmelse av pyrittmengde, og dennes kornstørrelsesfordeling, i slip ved hjelp av bildeanalyse

Ved hjelp av et mikroskop koblet til et videokamera, en monitor og en PC er det mulig å gå systematisk gjennom slip av bergarten og registrere hvert enkelt pyrittkorn. Bildeanalysatoren vil gi nøyaktig arealbestemmelse av alle pyrittkorn som blir registrert, og alle korn blir dessuten evaluert visuelt for bestemmelse av diameter. På grunnlag av bildeanalysetorens registreringer blir det mulig å bestemme svært nøyaktig pyritinnholdet i polerslipet. Innholdet blir registrert på arealbasis, så det er nødvendig å multiplisere resultatet med forholdet mellom pyrittens og kalkens egenvekt for å bestemme slipets vektprosentale innhold av pyritt. Bergartens naturlige inhomogenitet vil naturligvis reflekteres i svært forskjellige resultat fra slip til slip, og da resultatene også viste tildels store avvik fra pyritinnholdet bestemt ved DTA-analyse, ble det besluttet å ikke legge for stor vekt på denne type bildeanalyse.

3.6 Undersøkelse av innhold av paramagnetiske mineraler

Franz Magnetic Barrier Separator er en innretning som utnytter mineralers paramagnetiske egenskaper for å skille disse fra mineraler som ikke innehar slike egenskaper. Paramagnetiske mineraler er mineraler som blir magnetiske når de kommer inn i et elektrisk felt. Det er altså

snakk om en industert magnetisme som oppstår i et elektrisk felt, og som forsvinner idet det elektriske feltet opphører. Separatoren er av typen LB-1, og fungerer som en svakstrømseparator. Eksempler på slike mineraler er krom og mangan.

5 gram materiale ble tatt ut fra fraksjon 74-104 μm , og prøvd ut på fem ulike strømstyrker:

- 0,1 A
- 0,3 A
- 0,6 A
- 1,2 A
- 1,65 A

Det ble ikke ved noen av forsøkene registrert noen paramagnetiske mineraler, og selv om dette bare er en snever størrelsesfraksjon, er det naturlig å anta at det ikke er noen slike mineraler av betydning i hele hovedprøven.

3.7 Fjerning av pyritt v.hj.a. Mozley vaskebord

Dette var en første kartlegging av egnetheten av gravitative metoder for å fjerne pyritt fra den relativt lettere kalken. Vaskebordet er lite og egner seg kun for mindre batch-forsøk. Dersom separasjonen er vellykket på vaskebordet, er det imidlertid grunn til å tro at forsøkene er overførbare til større skala. Forskjellige størrelsesfraksjoner ble behandlet hver for seg for om mulig å kunne påvise forskjeller i separasjonseffektivitet for ulike nedmalingsgrader. To ulike vaskebord ble brukt under forsøkene. For materiale mindre enn 100 μm ble et flatt vaskebord benyttet, mens et v-formet bord ble benyttet for forsøkene med materiale større enn 100 μm . Vaskebordet virker på den måten at de lette mineralene på grunn av vannstrøm og vibrasjoner blir ført nedover bordet og ut i utløpet, mens det relativt tyngre materialet blir ført oppover bordet, eller rettere sagt *forblir* i øvre del av bordet. {Vedlegg 4: Mozley vaskebord} Størrelsesfraksjoner som ble utprøvd på vaskebordet var følgende:

- 0-53 μm
- 53-74 μm
- 74-104 μm
- 104-147 μm
- 147-208 μm
- 208-295 μm
- 295-417 μm
- 417-589 μm

Til hvert forsøk ble det brukt 30 gram materiale. Dette ble plassert øverst på vaskebordet og fuktet med vann v.hj.a en enkel spruteflaske. For fraksjonene under 104 μm ble materialet blandet ut med vann og dispergeringsmiddelet calgon før utplassering øverst på vaskebordet.

Det helt skarpe skillet mellom en tungfraksjon og en lettfraksjon oppstod aldri, men mesteparten av pyritten ble likevel utskilt fra kalken. Det ble nødvendig å bestemme visuelt hvor lenge separasjonen skulle pågå for å unngå at pyritt ble ført ut sammen med kalken.

Etter endt separasjon ble lettfraksjon og tungfraksjon samlet opp i bøtter (lettfraksjonen som ble ført ut utløpet ble naturligvis samlet opp fortløpende). Mesteparten av vannet ble dekantert av, og resten ble tørket bort på varmeplate. Både tung- og lettfraksjonene ble siden analysert i mikroskop og i en DTA-prosedyre. I tillegg ble noen fraksjoner undersøkt ved hjelp av XRD-analyse. {Vedlegg 5: XRD-analyse av Mozley-separerte fraksjoner}

3.8 Fjerning av pyritt v.hj.a. Kelsey-jig

3.8.1 Kelsey-jiggens virkemåte

Kelsey-jiggen er en relativt ny retning innenfor mineralseparasjonsteknologien. Den bygger hele sin utvikling på den allerede eksisterende konvensjonelle jiggen, og bruker i tillegg noen nye virkemidler for å bedre separasjonen av tunge og lette mineraler. For å forklare teknologien bak Kelsey-jiggen er det nyttig å begynne med den konvensjonelle jiggen, og deretter vise til forskjeller.

En prinsippskisse av en konvensjonell jig er vist i {Vedlegg 6: Prinsippskisser av konvensjonell jig og Kelsey sentrifugal-jig}. Øverst er et lag med raggingsmateriale som hviler på et sikt. Raggingsmaterialet har en densitet som ligger mellom densiteten til de mineraler som skal separeres fra hverandre. Påmatingen fordeles over raggingsmaterialet. Separasjonen foregår ved at tungfraksjonen strømmer gjennom raggingsmaterialet og siktet, og ut i bunnen. Den pulserende vannstrømmen, som fluidiserer raggingsengen, er svært viktig og er ikke illustrert på denne figuren. Dersom man tenker seg at den konvensjonelle jiggen spennes rundt en akse slik at adderende sentrifugalkrefter induseres, har man basisen for prinsippene bak Kelsey-jiggen (som gjerne kalles Kelsey sentrifugal-jig).

Det finnes flere utgaver av Kelsey-jiggen, og det som skiller disse fra hverandre er størrelse og dermed kapasitet. Følgende utgaver med tilhørende kapasitet er tilgjengelige:

- J-200, kapasitet: ca. 35 kg konsentrat/time
- J-650, kapasitet: ca. 2 tonn konsentrat /time
- J-1350, kapasitet: ca 4-5 tonn konsentrat /time

Tallene 200, 600 og 1350 angir diameteren til siktet. Konsentratet er den fraksjonen som går gjennom raggingsengen og siktet, altså tungfraksjonen. Under de omtalte forsøkene er den minste utgaven, J-200, benyttet.

Prinsippskisse av teknologien bak Kelsey-jiggen er vist i {Vedlegg 6: Prinsippskisse av konvensjonell jig og Kelsey sentrifugal-jig}.

Pulsarmens høyfrekvente bevegelser produserer en innadvendt vannpuls gjennom raggingsengen og forårsaker etterfølgende utviding og komprimering av raggingsengen. Vannpulsene induserer en differensiert akselerasjon av påmatingsmaterialet og raggingsmaterialet på grunn av deres forskjellige egenvekt. De tunge mineralene vil dermed på grunn av tyngdekrefter og sentrifugalkrefter sette gjennom raggingsmaterialet, mens de lette mineralene følger den innadvendte vannstrømmen og vandrer over raggingsengen. [pers. Arvid Rein]

3.8.1.1 Riktige kjørebetingelser

Det er en rekke forsøksbetingelser som kan justeres i forhold til hverandre med den hensikt å optimalisere separasjonen. Ut fra empiriske data er det utarbeidet retningslinjer for gunstige kjørebetingelser for Kelsey-jiggen for å oppnå optimale resultater. Følgende seks punkter er spesielt viktige å overholde:

- Lysåpningen i siktet bør være 3 til 5 ganger så stor som d_{50} for påmatingen, 3 ganger d_{50} av påmatingen dersom denne er svært fin.
- Raggingsstørrelsen bør være slik at d_{50} for raggingen er 5 til 7 ganger så stor som d_{50} for påmatingen, eller minst 150 μm større enn lysåpningen i siktet.
- Maksimumsstørrelsen på påmatingen bør være minst 150 μm mindre enn lysåpningen i siktet.
- Dybden av raggingsengen bør være 120-150 ganger større enn d_{50} for påmatingen.
- Dersom formålet er å fremstille en lettfraksjon med høyest mulig renhet, og dersom litt tap av lettfraksjon er tolerert, bør raggingmaterialet ha en så lav egenvekt som mulig

I tillegg til dette er det mulig å påvirke separasjonsresultatet ved å manipulere kornformen på raggingmaterialet.

Man kan i hovedsak si at fordelene ved Kelsey-jiggen fremfor den konvensjonelle jiggen er følgende:

- Høyere produksjonskapasitet med mindre maskinstørrelser.
- Bedre separasjon, da spesielt med hensyn på ultrafine kornstørrelser, helt ned til 5 μm .

[MITU, MinFo: Preprints, Konferens i mineralteknikk, 1995]

3.8.2 Preparering av kalken for kjøring av Kelsey-jiggen

På grunnlag av vurderinger av frimalingskurvene og ønsket om minst mulig grad av nedmaling før fjerning av pyritten, ble det som et kompromiss besluttet å male kalken ned til $< 200 \mu\text{m}$ før den skulle renses for pyritt i Kelsey-jiggen. Gangen i nedmalingen var som følger: Først knusing i kjeftetygger, deretter videre nedknusing i slagknuseren. Den siste nedmalingen ble foretatt i stor kulemølle med 15 kg kuler i 30 minutter. Etter dette ble kalken

siktet på swecosikt 210 μm . Det viste seg at all kalken var mindre enn 210 μm , så trolig ville det vært gunstig å male kalken i en litt kortere periode, og å sikte fra nedmalt kalk underveis for å unngå unødig stor finstoffproduksjon. Siktekurve for dette materialet ble ikke produsert. Det ville innebære bruk av sedigrafanalyse, og i denne fasen var tidspresset en faktor å ta hensyn til.

3.8.3 Preparering av olivin som raggingmateriale

Olivinen kom fra AS Olivin, og var av kvaliteten afs 30. afs 30 betyr at materialet er siktet på 30 mesh, slik at alt materialet er mindre enn ca. 500 μm (ideelt sett). Størrelsesfraksjonen som skulle brukes var 425-589 μm , og dette ble siktet fra i to omganger på et sweco-sikt. Etter dette var olivinen klar for bruk.

3.8.4 Preparering av granat som raggingmateriale

Det var hele tiden meningen å fremstille granaten som skulle brukes som raggingmateriale på egen hånd. Granaten ankom i form av «blokker» av granatglimmerskifer på 2-3 kg, og granaten måtte frigjøres og knuses ned til størrelse 425-589 μm for å kunne brukes som raggingmateriale. Skiferen ble først knust i en kjeftetygger ned til en størrelse på <35 mm, og deretter knust videre i konknuser. Det skulle etterhvert vise seg å være vanskelig å friknuse granaten uten at den ble finmalt og dermed ubrukelig som sengemateriale. Ved lavere nedknusningsgrad var det igjen vanskelig å oppnå god separasjon av granaten fra resten av glimmeren på vaskebordet som ble benyttet. På grunn av disse omstendighetene ble det valgt å bruke granat som var ferdig preparert.

3.8.5 Kjøring av Kelsey-jiggen

For at pulpen skal være lett pumpbar, er det viktig å ha kontroll med faststoff-mengden i pulpen. Et ønske om 25 % faststoff i pulpen, på grunnlag av erfaring med jiggen, ble oppfylt ved å blande 5 kg gods med 15 l vann, altså en totalmengde på 20 kg pulp. I og med at godset

har en egenvekt på omlag 2,71 kg/l, tilsvarer 5 kg gods 1,85 l. Totalmengde pulp som ble kjørt gjennom jiggen var dermed 16,85 l. Andre forsøksbetingelser: ✓

- Spin: 35 Hz
- Puls: 35 Hz
- Sikt: 300 μm
- Raggingsstørrelse: 425-589 μm
- Raggings type:
 - * Forsøk 1: Olivin
 - * Forsøk 2: Olivin
 - * Forsøk 3: Granat
 - * Forsøk 4: Granat
- Pulsvann: 23,3 l/min
- Vann til lettfraksjon: 8,7 l/min
- Vann til tungfraksjon: 14,6 l/min

I utgangspunktet var det meningen å kjøre kun to forsøk, med henholdsvis olivin og granat som raggingsmateriale. Grunnen til at det ble kjørt to separate forsøk med olivin, var følgende: I det rensede produktet fra første forsøk (der olivin ble benyttet som sengemateriale) ble det observert endel fremmedmateriale som i utgangspunktet ikke var observert i kalken. Dette kan ha to opprinnelser:

- Materiale fra tidligere forsøk med andre mineraler kan ha blitt skylt med i det rensede produktet. Det betyr at rengjøringen fra tidligere forsøk har vært kritikkverdig. ✓
- Olivinen kan ha vært inhomogen, slik at den har inneholdt elementer med egenvekt ulik (lavere enn) den rene olivins entydige egenvekt. ✓

Det sannsynlige er at feilkilden er en kombinasjon av disse to tilfellene.

På grunn av denne observasjonen ble det besluttet å gjennomføre et nytt forsøk med olivin som sengemateriale. Forsøket var altså identisk, bortsett fra at betingelsene for en vellykket gjennomføring nå var betraktelig bedre. (Det ble forutsatt at mesteparten av olivinen med

avvikende egenvekt nå var fjernet, slik at sengematerialet i dette forsøket var homogent). Ved dette forsøket ble bare halvparten av pulpen, dvs. omtrent 8,4 l, kjørt igjennom. Deretter ble raggingmaterialet byttet ut med granat. Resten av pulpen ble kjørt med granat som raggingmateriale. Det ble i ettertid kjørt nok et forsøk med granat som raggingmateriale, denne gang var årsaken at det var behov for mer materiale for de etterfølgende flotasjonsforsøk.

Ellers skal det bemerkes at forsøk 1 ble gjennomført med prøvemateriale fra hovedprøve 1, mens forsøk 2, 3 og 4 ble gjennomført med prøvemateriale fra hovedprøve 2.

Under kjøringen ble det tatt ut prøver av både påmatingspulpen og av den rensede fraksjonen og forurensningsfraksjonen. Prøvene fikk stå en stund slik at materialet sedimenterte. Deretter ble mesteparten av vannet dekantert av. Resten av vannet ble tørket bort på varmeplate. Når alt vannet var dampet bort, ble alle prøvene analysert ved hjelp av DTA med hensyn på pyritt.

Heron Vaboni

3.9 Flotasjonsforsøk

Som siste trinn i renseprosessen ble kalken, som allerede var rensert for pyritt ved hjelp av Kelsey-jiggen, rensert for grafitt og silikater ved hjelp av flotasjon. Disse forsøkene ble gjort ved bedriften Hustadmarmor A/S. Fire separate prøver ble behandlet:

- Ubehandlet hovedprøve 1, under resultatbehandlingen kalt prøve 1
- Ubehandlet hovedprøve 2, under resultatbehandlingen kalt prøve 2
- Prøve rensert for pyritt v.hj.a. Kelsey-jig. Raggingmateriale: Oliyin. Under resultatbehandlingen kalt prøve 3
- Prøve rensert for pyritt v.hj.a. Kelsey-jig. Raggingmateriale: Granat. Under resultatbehandlingen kalt prøve 4

Etter flotasjonsforsøkene ble materialet testet med hensyn på hvithet. Hvitheten ble målt med en metode kalt Tappi på 457 nm. Flere ulike målinger med forskjellige fargefilter blir brukt. På grunnlag av disse er det mulig å regne ut en såkalt index, som er en annen måte å angi hvitheten på. Alle hvithetsmålingene ble foretatt på mikronisert materiale.

4. Presentasjon av resultatene

4.1 Siktekurver

På grunnlag av målte vektmengder av de ulike størrelsesfraksjonene etter tre ulike knuse/malemetoder, ble det fremstilt siktekurver, kornstørrelsesfordelingskurver (*Vedlegg 7: Siktekurver*), for å vise hvordan bergarten eventuelt reagerer ulikt på de ulike knuse/malemetodene. De ulike metodene var som tidligere nevnt:

- metode 1
 - * kjeftetygger
 - * slagknuser
 - * liten kulemølle
- metode 2
 - * kjeftetygger
 - * spindelknuser
- metode 3
 - * kjeftetygger
 - * spindelknuser
 - * stor kulemølle

Tabellene nedenfor viser karakteristika for siktekurvene tilhørende de ulike knuse/malemetodene:

Prøve 1			
	Metode 1	Metode 2	Metode 3
d_{10} (μm)	65 ^{*)}	150	40 ^{*)}
d_{50} (μm)	190	750	160
d_{90} (μm)	450	1600	500
Modifisert sorteringstall d_{60}/d_{20} ¹⁾	3,4	3,2	5

Tabell 4-1 Karakteristiske verdier for siktekurver for prøve 1

Prøve 2			
	Metode 1	Metode 2	Metode 3
d_{10} (μm)	70 ^{*)}	150	70 ^{*)}
d_{50} (μm)	200	610	250
d_{90} (μm)	550	1400	810
Modifisert sorteringstall d_{60}/d_{20} ¹⁾	3,6	3,0	5

Tabell 4-2 Karakteristiske verdier for siktekurver for prøve 2

^{*)} Her foreligger ikke verdier for d_{10} . Istedet er d_{20} benyttet.

¹⁾ Definisjon på sorteringstall er egentlig d_{60}/d_{10} , men da d_{10} ikke foreligger, er d_{20} benyttet.

4.2 Frimalingskurver

Frimalingskurvene er fremkommet ved å plote prosentandel helkorn av det totale antall korn av henholdsvis grafitt og pyritt mot gjennomsnittlig kornstørrelse. Undersøkelsene er gjort på polerte tynnslip og polerslip av nedmalt materiale.

{Vedlegg 3: Frimalingskurver}

4.3 Bildeanalyse for bestemmelse av pyrittmengder i hovedprøve

Tallene i tabellene nedenfor representerer observerte skjermbilder inneholdende pyritt. Tallene er pyrittens dekning av bilderegistreringen på prosental arealbasis. I tillegg vises det til antall registrerte skjermbilder frie for pyritt. På grunnlag av dette, i tillegg til kjennskap til pyrittens egenvekt, blir pyrittinnholdet i slippet regnet ut som vektprosent.

Prøve 1a							
1,08	0,02	0,20	0,13	0,14	1,07	2,00	0,04
0,02	0,23	12,63	0,23	0,59	0,06	0,01	<i>% areal</i>
Antall «tomme» skjermbilder: 325							
Pyrittinnhold: 0,1 % <i>vekt</i>							

Tabell 4-3 Bildeanalyse, prøve 1

Prøve 1b						
0,10	0,02	0,03	0,52	0,04	0,44	1,66
Antall «tomme» skjermbilder: 368						
Pyrittinnhold: <u>0,01 %</u> <i>vekt</i>						

Tabell 4-4 Bildeanalyse, prøve 1

Prøve 2							
0,02	0,04	0,06	0,09	0,24	0,03	0,03	0,32
0,12	0,04	0,08	0,02	0,16	0,05	0,27	0,99
0,30	0,00	0,29	0,04	0,15	0,08	1,12	0,25
0,30	0,18	0,36	0,45	0,09	0,10	1,39	0,56
0,02	0,33	0,31	2,14	0,03	3,90	2,00	0,03
0,18	6,67	0,50	0,02	0,11	0,52	31,76	1,84
1,83	2,21	0,07	0,03	0,02	0,12	0,23	0,20
1,04	0,09	1,37	16,23	4,05	10,80	16,19	0,58
13,80	0,49	1,06	0,17	1,06	0,55	0,05	0,08
1,12	0,56						

Antall «tomme» skjermbilder: 258

Pyrittinnhold: 0,74 %

Tabell 4-5 Bildeanalyse, prøve 1

Ettersom samtlige registrerte korn også ble undersøkt med hensyn på kornstørrelse (diameter), var det mulig på dette grunnlag å fremstille kornstørrelsesfordelingskurver for pyritten. {Vedlegg 8: Kornstørrelsesfordeling for pyritt på grunnlag av bildeanalyse} Ut av grafene kan man lese følgende karakteristikker: (tall i μm)

	d_{10}	d_{50}	d_{90}
Prøve 1	35	130	300
Prøve 2	30	150	500

Tabell 4-6 Karakteristiske verdier for siktekurver for kornstørrelsesfordeling av pyritt

4.4 Magnetseparasjon for fjerning av paramagnetiske mineraler

Det ble ikke detektert noe paramagnetisk materiale under separasjonsforsøkene med Franz Magnetic Barrier Separator. Ettersom det heller ikke ble registrert noen slike mineraler ved XRD-analysene, ble det konkludert med at et eventuelt innhold av slike mineraler er så lite at det kan sees på som neglisjerbart.

4.5 Fjerning av pyritt v.h.j.a. Mozley vaskebord

Etter separasjonsforsøkene med Mozley vaskebord var alle størrelsesfraksjonene delt inn i lett- og tungfraksjoner. Relativt mye kalk befant seg i tungfraksjonene. Både lettfraksjonene og tungfraksjonene ble analysert ved hjelp av mikroskopundersøkelser og DTA-prosedyre. I tillegg ble noen av fraksjonene undersøkt ved hjelp av XRD-analyse. Følgende tabeller viser separasjonsresultatene. Pyrittinnholdet har fremkommet ved bruk av DTA:

4.5.1 DTA-analyse av Mozley-separerte fraksjoner

Prøve 1					
Fraksjon (µm)	Tung (%) ¹⁾	Pyrittinnhold (%) ³⁾	Lett (%) ²⁾	Pyrittinnhold (%) ⁴⁾	Totalprosent pyritt
0-53	5,40	1,43	94,60	0,01	0,09
53-74	1,61		98,39		
74-104	1,44	4,90	98,56	0,05	0,12
104-147	3,39	2,50	96,61	0,00	0,08
147-208	3,61		96,39		
208-295	5,89	0,56	94,11	0,03	0,06
295-417	16,59		83,41		
417-589	15,69	1,34	84,31	0,08	0,28

Tabell 4-7 DTA-analyse av Mozley-separerte fraksjoner, prøve 1

Prøve 2					
Fraksjon (μm)	Tung (%) ¹⁾	Pyrittinnhold (%) ³⁾	Lett (%) ²⁾	Pyrittinnhold (%) ⁴⁾	Totalprosent pyritt
0-53	10,21		89,79		
53-74	11,14	0,74	88,86	0,03	0,11
74-104	2,44		97,56		
104-147	2,59	2,50	97,41	0,00	0,06
147-208	8,15	1,13	91,85	0,01	0,10
208-295	10,54		89,46		
295-417	15,08	0,48	84,92	0,03	0,10
417-589	25,31		74,69		

Tabell 4-8 DTA-analyse av Mozley-separerte fraksjoner, prøve 2

¹⁾ Denne kolonnen viser hvor stor prosentandel av prøvematerialet som etter separasjonen havnet i tungfraksjonen.

²⁾ Denne kolonnen viser hvor stor prosentandel av prøvematerialet som etter separasjonen havnet i lettfraksjonen.

³⁾ Denne kolonnen representerer pyrittprosent i tungfraksjonen.

⁴⁾ Denne kolonnen representerer pyrittprosent i lettfraksjonen.

Ved å veie vektprosenten av pyritt mot prosentandelen materiale som befinner seg i denne fraksjonen, er det mulig å komme fram til totalprosent pyritt for ubehandlet prøve 1 og prøve 2. Følgende resultat fremkom:

- Prøve 1: 0,13 %
- Prøve 2: 0,09 %

I tillegg til DTA-analyse av lett- og tungfraksjonene ble de også undersøkt i mikroskop. Følgende observasjoner ble gjort i den prosedyren (når det snakkes om svarte mineraler, er dette i all hovedsak pyritt og grafitt):

4.5.2 Mikroskopering av Mozley-separerte fraksjoner

- 1: Pr.1 0-53 Tung: *Mye svart. Noen smitta/halvkorn. Trolig noe grafitt.*
- 2: Pr.2 0-53 Tung: *Noe mindre svart. Endel smitta korn.*
- 3: Pr.1 0-53 Lett: *Endel grafitt. Smitta, halv og helkorn. Svovelkis?*
- 4: Pr.2 0-53 Lett: *Som 3. Mye smitta-korn.*
- 5: Pr.1 53-74 Tung: *Svært mye svovelkis. Noe annet grønt/gult/orange. Stort sett bare helkorn.*
- 6: Pr.1 53-74 Lett: *Langt mindre svart. Mest grafitt. Noe svovelkis.*
- 7: Pr.2 53-74 Tung: *Som 5, men mye mer kalsitt; langt dårligere separasjon. (brakte dispergeringsmiddelet calgon).*
- 8: Pr.2 53-74 Lett: *Mye grafitt. Noe smitta.*
- 9: Pr.1 74-104 Tung: *Som 5.*
- 10: Pr.2 74-104 Tung: *Som 5.*
- 11: Pr.1 74-104 Lett: *Mye grafitt. Svært lite svovelkis. Finfordelt smitta grafitt.*
- 12: Pr.2 74-104 Lett: *Som 11.*
- 13: Pr.2 147-208 Tung: *Svovelkis hovedsakelig, men mye hvitt.*
- 14: Pr.1 147-208 Tung: *Som 13.*
- 15: Pr.2 147-208 Lett: *Endel grafitt. Nesten kun halv/smitta-korn.*
- 16: Pr.1 147-208 Lett: *Mye smitta grafitt. Noe fritt, noe smitta svovelkis.*
- 17: Pr.2 208-295 Tung: *Noen rene kiskrystaller. Mest halv/smitta-korn. Grafitt?*
- 18: Pr.1 208-295 Tung: *Langt flere helkorn her. Ikke like mye smitta/halvkorn.*

- 19: Pr.2 208-295 Lett: *Mesteparten/alt det svarte er trolig grafitt. Få eller ingen helkorn.*
- 20: Pr.1 208-295 Lett : *Flere helkorn grafitt her, men også endel halv/smitta-korn.*
- 21: Pr.2 295-417 Tung: *Noen helkorn kis. Endel halv/smitta.*
- 22: Pr.1 295-417 Tung: *Som 21.*
- 23: Pr.2 295-417 Lett: *Mye grafitt. Få helkorn. Kis?*
- 24: Pr.1 295-417 Lett: *Som 23, men noe mindre grafitt.*
- 25: Pr.1 417-589 Tung: *Endel helkorn pyritt. Endel smitta/halvkorn.*
- 26: Pr.2 417-589 Tung: *Omtrent som 25. Noe mindre kis.*
- 27: Pr.2 417-589 Lett: *Mye grafitt. Nær ingen helkorn.*
- 28: Pr.1 417-589 Lett: *Som 27.*

4.5.3 XRD-analyse av Mozley-separerte fraksjoner

En XRD-analyse ble utført på fraksjon 104-147 μm av både tung- og lettfraksjonen av prøve 1 og prøve 2. {Vedlegg 5: XRD-analyse av Mozley-separerte fraksjoner} I alle fraksjonene ble det foruten kalsitt funnet spormengder av dolomitt, muskovitt og kvarts. I tungfraksjonen av prøve 1 ble det i tillegg funnet spor av nitratitt og mackinawitt. Hverken pyritt eller grafitt, som i utgangspunktet var de mest interessante mineralene, ble oppdaget i XRD-analysen. På grunnlag av dette ble det besluttet å se bort fra XRD som aktuell analysemetode for deteksjon av små mengder pyritt og grafitt.

4.6 Fjerning av pyritt v.hj.a. Kelsey sentrifugal-jig

Under kjøringen av Kelsey-jiggen ble det tatt ut prøver av pågang, rensset lettfraksjon og forurensningsfraksjon (tungfraksjon). Disse prøvene (bortsett fra tungfraksjonen) ble analysert ved hjelp av DTA med hensyn på pyritt, og resultatet ble som følger:

	Ragging	Hovedprøve	Pyrittmengde (%) i lettfraksjon	Pyrittmengde (%) i pågang
Forsøk 1	Olivin	1	0	<0,05
Forsøk 2	Olivin	2	0	<0,05
Forsøk 3	Granat	2	0	<0,05
Forsøk 4	Granat	2		<0,05

Tabell 4-9 DTA-analyse av Kelsey-separerte fraksjoner

Også ved bruk av Kelsey-jiggen, i likhet med Mozley-separasjonen, var tapet av kalsitt merkbart. Følgende tabell viser hvordan kalken fordelte seg mellom lettfraksjonen og tungfraksjonen:

	Vekt i tungfraksjon (gram)	Vekt i lettfraksjon (gram)
Forsøk 1	30,17	248,37
Forsøk 2	35,03	236,95
Forsøk 3	51,66	167,38

Tabell 4-10 Kalkfordeling etter Kelsey-separasjon

4.7 Flotasjonsforsøk

Følgende resultat fremkom av flotasjonsforsøkene:

	Kjemikaliedosering		Pågang		Avgang	
	Grafittmiddel	Silikatmiddel	Vekt	syrerest	Vekt	syrerest
	(g/t)	(g/t)	(g)	(%)	(g)	(%)
Prøve 1	160	160	493,5	1,07	69,7 ^⓪ <i>avgang i % !</i>	6,85
Prøve 2	160	280	492,6	1,03	62,6	8,01
Prøve 3	130	220	433,5	1,04	95,2	4,38
Prøve 4	120	200	493,0	1,04	93,6	4,81

69,7 ^⓪
423,8
493,50

Konsentrat							
	Vekt	Syrerest	Tappi Rx	Tappi Ry	Tappi Rz	Tappi R457	Index
	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Prøve 1	423,8 ^⓪	0,02	94,0	93,8	93,1	93,2	0,96
Prøve 2	430,0	0,01	95,1	95,0	94,5	94,5	0,67
Prøve 3	338,3	0,14	93,6	93,3	91,8	91,9	1,88
Prøve 4	399,4	0,14	93,7	93,4	91,8	91,9	2,03

Tabell 4-11 Resultater fra flotasjonsforsøk

Forklaringer til tabellen:

- Syrerest: mineraler som ikke lar seg løse i HCl. ✓
- Tappi Rx: Hvithet, målt med rødt filter.
- Tappi Ry: Hvithet, målt med grønt filter.
- Tappi Rz: Hvithet, målt med blått filter.

- Tappi R 457: Hvithet, lignende Tappi Rz. Bruker denne når hvitheten omtales.
- Index: Funksjon av de ulike hvithetstallene.

5. Diskusjon / tolking av resultater og feilkilder

5.1 Sikteturver

For de tre ulike nedknusnings/malingsmetodene ble det fremstilt sikteturver for dokumentasjon av kornstørrelsesfordelingen. *{Vedlegg 7: Sikteturver}* Sikteturvene for prøve 1 og prøve 2 skiller seg ikke nevneverdig fra hverandre. De ulike knuse/malemetodene derimot gir noe forskjellige forhold innad i de to hovedprøvene. For å friske opp minnet kan det være hensiktsmessig å rekapitulere de ulike metodene:

- metode 1
 - * kjeftetygger
 - * slagknuser
 - * liten kulemølle (indre diameter 20 cm)
- metode 2
 - * kjeftetygger
 - * spindelknuser
- metode 3
 - * kjeftetygger
 - * spindelknuser
 - * stor kulemølle (indre diameter 40 cm)

Sett i lys av frimalingsundersøkelsene, som i etterkant viste at en nedmaling til under 200 μm var nødvendig for stor grad av frimaling av både pyritt og grafitt, kan en undersøkelse av nedmaling koblet i krets med et sikt på for eksempel 200 μm være hensiktsmessig. I tillegg kan det være interessant å undersøke andre metoder for nedknusing/maling enn de som er nevnt her, da de nevnte ikke skiller seg svært mye fra hverandre. De ønskede kretser var ikke

tilgjengelig i denne undersøkelsen, og en manuell prosedyre som ville innebære avbrudd i knusing/maling for å sikte bort finstoff, etterfulgt av videre knusing/maling, ville i denne undersøkelsen bli for tidkrevende. Et ønske om å utprøve andre knusemetoder, som for eksempel bruk av valseknuser, ble forkastet på grunn av denne knuserens relativt intrikate virkemåte, noe som innebærer svært mye prøving (og sannsynligvis også feiling) for å finne riktig innstilling av apparaturen. Dette ville sprengt tidsrammen for undersøkelsen.

Når det gjelder fremstillingen av siktekurver, er det ikke svært mange feilkilder som kan forstyrre resultatet. Det kan nevnes at noe materiale setter seg fast i siktene under sikting, men dette er en så liten andel av totalmengden (promillenivå) at det ikke gir nevneverdige utslag på resultatet.

5.2 Frimalingskurver

Frimalingskurvene for prøve 1 og prøve 2 {Vedlegg 3: *Frimalingskurver*} representerer 3 forskjellige nedknusnings/malings-metoder. Kurvene er fremstilt for både grafitt og pyritt. Det fremkommer av kurvene at de tre ulike metodene ikke gir vesentlig forskjellig frimalingsgrad. Samtidig manifesteres en klar tendens til forskjellig frimalingsgrad mellom prøve 1 og prøve 2. Denne forskjellen later likevel ikke å ha stor betydning for renseprosessen, i og med at den opptrer ved relativt store kornstørrelser. Ved kornstørrelser mindre enn 200 μm er frimalingsgraden svært lik for de forskjellige nedmalingsmetodene. Ulikhetene finnes for kornstørrelser større enn 200 μm , og her er frimalingsgraden for både prøve 1 og prøve 2 likevel så lav at det neppe er aktuelt å sette inn renseprosessen her. For en effektiv renseprosess bør materialet males ytterligere ned slik at frimalingsgraden økes. Uten en relativt omfattende undersøkelse er det vanskelig å si noe bastant om hvor høy frimalingsgraden bør være for at renseeffektiviteten skal bli tilfredsstillende. I denne undersøkelsen ble det valgt å fokusere på fraksjonen $<200 \mu\text{m}$. Siktekurven er ikke spesielt bratt etter de anvendte metoder for nedmaling av alt materiale til under 200 μm . En brattere siktekurve vil trolig ha en positiv innvirkning på renseprosessen, men å finne optimal kornstørrelse for optimal renseprosess ville sprengt tidsrammen for denne undersøkelsen.

Feilkildene ved fremstillingen av frimalingskurvene er ikke uvesentlige. Størrelsesfraksjonene som ble vurdert er relativt vide, noe som medfører at oppløsningen på kurven blir lavere enn

om flere snevrere størrelsesfraksjoner hadde blitt undersøkt. Dette er imidlertid tidkrevende. For de største fraksjonene ble det under mikroskoperingen brukt en forstørrelsesfaktor på 5. Dette medfører naturligvis en risiko for å overse små korn. Dette trenger likevel ikke gi store utslag på resultatet, da det er overveiende sannsynlig at antall helkorn og halv/smittakorn som oversees oppveier hverandre.

5.3 Bildeanalyse

Pyrittkonsentrasjonen som reflekteres av bildeanalysen har sin klart begrensede troverdighet i og med at man ikke har noen garanti for at slipene som undersøkes er representative. Den høye verdien av prøve 2 representerer således en svært liten del av hovedprøven, med høy konsentrasjon av pyritt. Hadde man kunnet foreta samme prosedyre på slip av nedmalte fraksjoner (analysen ble foretatt på slip av stoff), ville representativiteten vært mye bedre, men dette er naturligvis ikke mulig ettersom slippet da ikke består av 100 % mineraler.

Kornstørrelsesfordelingen av pyritt er trolig mer realistisk. Den viser i hovedsak lik tendens for prøve 1 og prøve 2, nemlig at en stor del av pyrittkornene befinner seg i størrelsesområdet under 200 μm , mye av dette mellom 100 og 200 μm . I prøve 2 later det til å være noe større korn enn i prøve 1. Prøve 2 må sees på som mer representativ enn prøve 1 når det gjelder kornstørrelsesfordeling i og med at det her rett og slett var langt flere pyrittkorn.

5.4 Magnetseparasjon for fjerning av paramagnetiske mineraler

Kalken inneholder ikke paramagnetiske mineraler, d.v.s. mineraler som lar seg fjerne ved først å magnetisere dem i et magnetfelt, og deretter separere dem fra kalken ved hjelp av en magnet. Separasjonsundersøkelsene ble kun undersøkt på *en* størrelsesfraksjon, men det er ingen grunn til å tro at dette er mangelfullt.

5.5 Pyritrensing ved hjelp av Mozley

Pyritinnholdet i kalken etter rensing ved hjelp av Mozley-separatoren varierer for de ulike størrelsesfraksjonene, og ligger mellom 0 og 0,08 vektprosent. Dette er svært tilfredsstillende

sett i lys av visse problemer med justeringen av vaskebordet. Til tross for gjentatte forsøk ble ikke separasjonsprosessen optimal fordi et tilfredsstillende skarpt skille mellom de lette og de tunge mineraler ikke oppstod. Med optimal innstilling av forholdet mellom vatring av vaskebordet, slaglengde og slagfrekvens, samt riktig bruk av dispergeringsmiddel, er det trolig mulig å oppnå nær fullstendig pyrittrensing.

Et annet moment det er viktig å påpeke, er tapet av kalsitt som oppstod under separasjonen. Den størrelsesfraksjonen som kom ut av separasjonen med minst tap av kalsitt var fraksjonen mellom 74 og 147 μm . Denne fraksjonen oppnådde også nokså høy rensing av pyritt. Ser man dette i sammenheng med frimalingskurvene, som forteller at denne fraksjonen inneholder relativt små mengder av halvkorn og smittakorn, altså en stor andel av frimalte korn, er det klart at dette er den gunstigste kornstørrelsen for pyrittfjerning ved hjelp av Mozley-separatoren. Denne konklusjonen må ikke tolkes for bastant i og med at fraksjonene under 53 μm ikke er undersøkt.

De hittil diskuterte pyrittmengdene (i dette delkapittelet) er blitt bestemt ved hjelp av DTA. Fraksjonen 104-147 μm av både prøve 1 og prøve 2 ble i tillegg undersøkt ved hjelp av XRD. Denne analysemetoden bygger på helt andre prinsipper, og viste seg å være lite egnet for bestemmelse av pyrittinnhold, da pyritten overhodet ikke ble detektert.

Mikroskoperingen av de separerte fraksjonene gir ikke spesielt mange overraskende svar på interessante spørsmål, da undersøkelsen er mer kvalitativ enn kvantitativ. Undersøkelsen er gjennomført for å bli bedre kjent med materialet. For mer kvantitative og representative undersøkelser ville det vært nødvendig å produsere slip av materialet, og deretter se på disse i mikroskop. Likevel observeres det tydelig at lite pyritt befinner seg i lettfraksjonen, her er det stort sett grafitt som forurenses. I tungfraksjonen er det lite grafitt, men endel pyritt. Altså er dette en slags visuell bekreftelse på at separasjonsprosessen fungerer prinsipielt.

5.6 Pyrittrensing ved hjelp av Kelsey-jig

DTA-analyse av renseset kalk etter separasjon i Kelsey-jiggen viste svært lovende resultater. I de tre prøvene som ble analysert ble det overhodet ikke funnet pyritt. Derimot ble det funnet andre forurensingsstoffer som var vanskelige å identifisere. Det er likevel klart at disse mineralene kommer fra følgende kilder:

- Ragging som blir revet med fra sengen og følger den lette, rensede fraksjonen.
- Materiale som ikke er blitt vasket skikkelig ut etter tidligere kjøring.

Selv om rensingen var tilfredsstillende på den måten at det ikke var noe detekterbart pyritt i den rensede fraksjonen, var det likevel litt foruroligende at det havnet såpass mye kalsitt i tungfraksjonen. Som det fremgår av tabellen nedenfor lå tapet av kalsitt mellom 10 og 24 %.

	Kalsitt-tap (%)
Forsøk 1	10,8
Forsøk 2	12,9
Forsøk 3	23,6

Tabell 5-1 Kalsitt-tap etter Kelsey-separasjon

Verdiene er omtrentlige og ikke 100 % riktige, i og med at noe av vekten utgjøres av pyritt og andre tunge mineraler.

Det er likevel stor sannsynlighet for at det lar seg gjøre å bringe tapet av kalsitt ned på et akseptabelt nivå. Ved å endre forsøksbetingelsene, d.v.s. parametre som puls, spin og vannstrøm, vil separasjonseffektiviteten også endres. Slike forsøk for optimalisering av Kelsey-separasjonen er ikke foretatt i denne undersøkelsen.

5.7 Sammenligning av Mozley og Kelsey

Kelsey-jiggen gir en klart bedre pyrittrensing enn Mozley vaskebord, skjønt vaskebordet også gir god rensing. Det er likevel ikke tilrådelig å kategorisk avfeie vaskebord som en aktuell rensemetode i og med at det er mange justeringer som klart kan bedre rensesprosessen. Kelsey-jiggen som ble benyttet under forsøkene er i prinsippet identisk med de større storskalamaskinene, noe som gir en trygghet for at rensesprosessen lett kan overføres til storskalaproduksjon. Kelsey-jiggen har sin klare ulempe ved at den innfører et fremmedmineral som «katalysator» for rensesprosessen. Dette mineralet, som utgjør raggingen, har en tendens til å *forurense* materialet som skal renses. Dette problemet kan

imidlertid løses ved å innføre et raggingmateriale med lavere spesifikk vekt, for eksempel ferrosilisium. Videre undersøkelser av dette vil være interessant.

5.8 Flotasjonsforsøk

Det første som utmerker seg blant resultatene fra disse forsøkene er kolonnen som angir hvithet på de rensede produkter, altså kolonnen merket Tappi R457. Som det fremgår av tallene, er hvitheten størst for prøve 1 og prøve 2. De er nettopp for disse prøvene man i utgangspunktet ville forventet lavest hvithet, i og med at disse prøvene ikke har gjennomgått noen pyrittrensing i forkant av flotasjonsforsøkene. Forklaringen ligger etter alt å dømme i det som tidligere er bemerket, nemlig at prøve 3 og prøve 4 under kjøring av Kelsey-jiggen ble forurenset av raggingmaterialet, henholdsvis olivin og granat. Flotasjonsprosessen er ikke dimensjonert for disse mineralene, og dermed blir sluttresultatet dårligere enn om man lar være å kjøre Kelsey-jiggen på forhånd. Det kan likevel ikke rettferdiggjøres å fullstendig avskrive Kelsey-jiggen som en aktuell delrenseprosess, men skal man benytte seg av denne teknologien må man dimensjonere etterfølgende prosesser for de forurensninger som eventuelt måtte bli tilført fra Kelsey-rensingen. Men det er klart at dersom Kelsey-jiggen tilfører like mye forurensninger som den fjerner, er nytten av en slik rensesprosess borte. Problemet består i at man krever svært høy renhet for det endelige produktet. Kelsey-jiggen egner seg antageligvis bedre for produkter som krever lavere renhet, og der Kelsey-jiggen ikke inngår i en direkte rensesprosess med krav om total rensing, men nærmere som en oppkonsentreringsprosess.

Forskjellen på hvitheten på prøve 1 (93,2 %) og prøve 2 (94,5 %) er relativt stor. Disse prøvene er hentet fra forskjellige lokaliteter av malmbeforekomsten, og forskjellen er resultat av naturlige variasjoner. Hva som er mest representativt for hele forekomsten er det ikke mulig å si noe om. Til sammenligning ligger kravene til hvithet i overkant av 95 %. Dette varierer naturligvis fra produkt til produkt, men rensesprosessen må forbedres for å imøtekomme de strenge krav som stilles til hvitheten. Dette bør kunne gå greit i og med at disse verdiene *ikke* er resultat av omfattende undersøkelser av optimale flotasjonsbetingelser.

Det fremgår av tabellen at prøve 3 og prøve 4 er svært like, hvilket stemmer bra ut i fra de prosesser disse prøvene har gjennomgått. Prøvene er i utgangspunktet identiske, det som

skiller dem er smittemineralene fra Kelsey-jiggen. Under kjøringen av Kelsey-jiggen var alle betingelser bortsett fra raggingmaterialet identiske. Prøve 3 blir dermed forurenset av olivin, mens prøve 4 blir forurenset av granat. Det ser ut som om flotasjonsprosessen reagerer nokså likt på disse forurensningene.

Det er verdt å legge merke til den store forskjellen i syreresten av avgangen for de ulike prøvene. Spesielt utmerker forskjellen mellom prøve 1 og prøve 2 seg. Man ser at det for prøve 2 er tilsatt langt mer silikatmiddel (280 g/t) enn hva tilfellet er for prøve 1 (160 g/t). Ser man på hvor stor del av avgangen som er HCl-uløselig, er denne betydelig større for prøve 2 enn for prøve 1. En naturlig konklusjon å trekke av dette, dersom man mener at de to prøvene har lik sammensetning, er at nedmalingen før flotasjon ikke er identisk. Når det som i dette tilfellet er klart at nedmalingen var lik, er det overveiende sannsynlig at sammensetningen for prøve 1 og prøve 2 er forskjellig.

5.9 Vurdering av analysemetodene

Analysemetodene som er brukt i denne undersøkelsen for deteksjon og kvantifisering er :

- XRD (røntgendiffraksjon)
- DTA (differensialtermisk analyse)
- Mikroskopering

XRD-analyse må sees på som utilfredsstillende metode for deteksjon/kvantifisering av pyritt i kalk når mengdene er så små som i dette tilfellet. Det er også grunn til å være kritisk til resultatene som fremkom ved hjelp av DTA. DTA har en deteksjonsgrense som ligger rundt 0,02 - 0,05 %, og pyrittinnholdet som er aktuelt i denne undersøkelsen ligger nettopp i dette området, og litt over. Når man i tillegg ser at resultatene varierer endel når samme type materiale blir analysert i ulike sammenhenger (totalinnhold pyritt undersøkt i forbindelse med Mozley-separasjon og Kelsey-separasjon, som viste henholdsvis 0,09-0,11%, og <0,05%), er det ikke tilrådelig å stole blindt på resultatene. Det er ikke gjort noe forsøk på å finne frem til analysemetoder som kan erstatte XRD og DTA når det gjelder spormengder av pyritt. Mikroskopering og bildeanalyse bestemmer pyrittinnhold (og innhold av andre mineraler) svært nøyaktig, men da dette må utføres på slip av stuff, finnes det ingen garanti for at analysematerialiet er representativ for en større hovedprøve.

6. Konklusjon

Den kalkforekomsten som er undersøkt i dette prosjektet er utgangspunktet for et produkt bestående av nær 100 % kalsitt. Forurensninger som må fjernes for å oppnå dette er i hovedsak grafitt, pyritt, dolomitt, glimmer, kvarts og andre ulike silikater. Pyrittinnholdet ligger mellom i underkant av 0,05 % og 0,13 %. Forekomsten inneholder ikke paramagnetiske mineraler.

Analyse ved hjelp av XRD er uegnet for påvisning og kvantifisering av pyritt og grafitt i kalken. DTA-analyse er noe mer pålitelig, men en tendens til noe variasjon i resultatene gir likevel grunn til å ta et visst forbehold når man forholder seg til disse.

Ved separasjon med Kelsey sentrifugal-jig fjernes pyrittinnholdet fullstendig, men denne separasjonsmetoden har en tendens til å tilføre andre forurensninger fra raggingmaterialet. Videre forsøk med raggingmaterialer med lavere egenvekt, for eksempel ferrosilisium, vil være gunstig. Problemet kan løses ved riktig bruk av ragging. Enkle flotasjonsforsøk etter pyrittfjerning v.h.j.a. Kelsey-jig gir en renhet på 91,9 % målt med Tappi R457. Dersom foregående pyrittfjerning utelates, gir de samme flotasjonsforsøk en hvithet på mellom 93,2 og 94,5 % målt med samme prosedyre. *gjenta forklarings!*

Mozley-separatoren, altså vaskebord, gir en noe dårligere pyrittfjerning enn Kelsey-jiggen. Resultat fra forsøkene med Mozley-separatoren, sett i sammenheng med frimalingskarakteristikk for kalken, viser at det ideelle området å foreta pyrittseparasjon på er omkring 74-104 μm . Her er rensegraden høy, frimalingen er høy, og tapet av kalsitt er lavt.

Det er ikke avdekket noen forskjell i frimalingsgrad ved ulike nedmalingsmetoder.

Når det gjelder forskjeller/likheter på de to hovedprøvene, prøve 1 og prøve 2, kan følgende sies: Prøvene viser ikke nevneverdige ulikheter i kornstørrelsesfordeling ved nedmaling. Derimot er frimalingskarakteristikken noe forskjellig for de to prøvene. Forskjellen består i en høyere grad av frimaling ved kornstørrelser omkring 180 μm for prøve 1 enn for prøve 2. I tillegg er det mer silikater i prøve 2 enn i prøve 1. Likevel gir enkle flotasjonsforsøk bedre rensing av prøve 2 enn av prøve 1.

7. Etterord

Alt arbeid er utført av undertegnede, bortsett fra følgende: Flotasjonsforsøk, mikronisering og hvithetstester er utført ved Hustadmarmor A/S. XRD-analyser er utført av Ivar Rømme ved institutt for geologi og bergteknikk. DTA analyser er utført av Filip Dahl og Arne Hov ved samme institutt.

De slutninger som her trekkes tar utgangspunkt i at de hovedprøvene som er undersøkt er representative for forekomsten det er snakk om. Når det er nevnt, er det klart at det ikke finnes noen garanti for dette, men når alt kommer til alt må konklusjoner trekkes på de opplysninger man har til rådighet. En rekke feilkilder forbundet med selve forsøkene vil også være med på å begrense resultatenes absolutte gyldighet. Derfor er det alltid viktig at konklusjoner behandles med nøkternhet og skjønn.

Avslutningsvis vil jeg rette en takk til følgende personer:

- ☺ Terje Malvik, for fin veiledning i arbeidet med oppgaven.
- ☺ Hustadmarmor AS og Espen Lillebrygfjeld, for generell veiledning og utførelse av labforsøk.
- ☺ Arvid Rein, for hjelp med kjøring av Kelsey-jiggen.
- ☺ Alf Gaarden, glimrende hjelp med hva det måtte være på labben.
- ☺ Eli Grøtte, for ypperlig praktisk hjelp. Det være seg alt fra kopiering til sending av pakker. Alltid et upåklagelig humør.
- ☺ Kjetil, for ypperlig moralsk støtte i tunge tider.

Referanser:

Terje Malvik

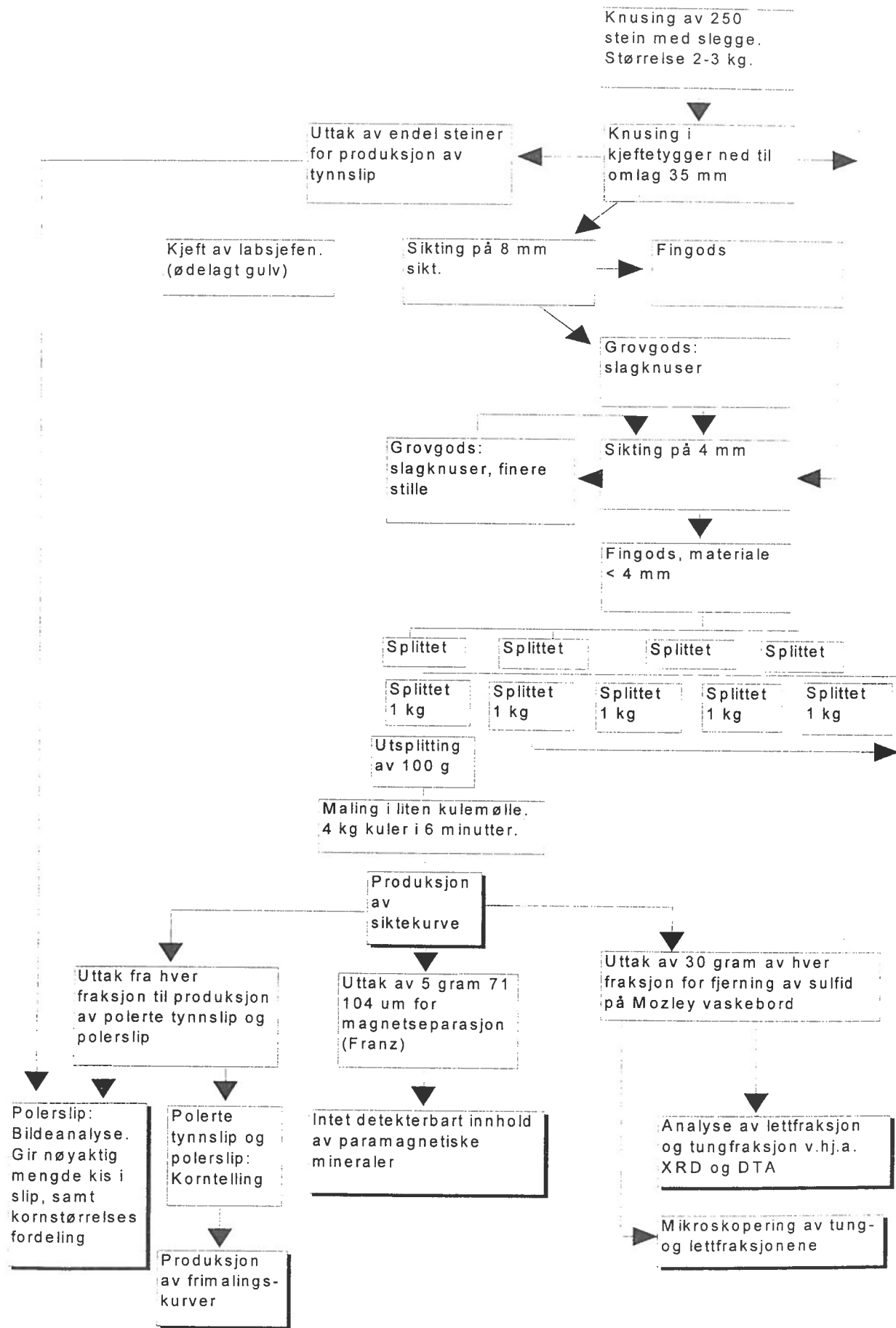
Arvid Rein

Espen Lillebrygfjeld

MITU, MinFo: «Preprints. Konferens i mineralteknikk», 1995

Tore Prestvik: «Mineralogi», 1992

Vedlegg 1: Flytskjema over forsøksprosedyrer



Knusing av 250 stein med slegge. Størrelse 2-3 kg.

Uttak av endel steiner for produksjon av tynnslip

Knusing i kjeftetygger ned til omlag 35 mm

Kjeft av labsjefen. (ødelagt gulv)

Sikting på 8 mm sikt.

Fingods

Grovgods: slagknuser

Grovgods: slagknuser, finere stille

Sikting på 4 mm

Fingods, materiale < 4 mm

Splittet Splittet Splittet Splittet Splittet
 Splittet 1 kg Splittet 1 kg Splittet 1 kg Splittet 1 kg Splittet 1 kg

Utsplitting av 100 g

Maling i liten kulemølle. 4 kg kuler i 6 minutter.

Produksjon av siktekurve

Uttak fra hver fraksjon til produksjon av polerte tynnslip og polerslip

Uttak av 5 gram 71 104 um for magnetseparasjon Franz

Uttak av 30 gram av hver fraksjon for fjerning av sulfid på Mozley vaskebord

Polerslip: Bildeanalyse. Gir nøyaktig mengde kis i slip, samt kornstørrelsesfordeling

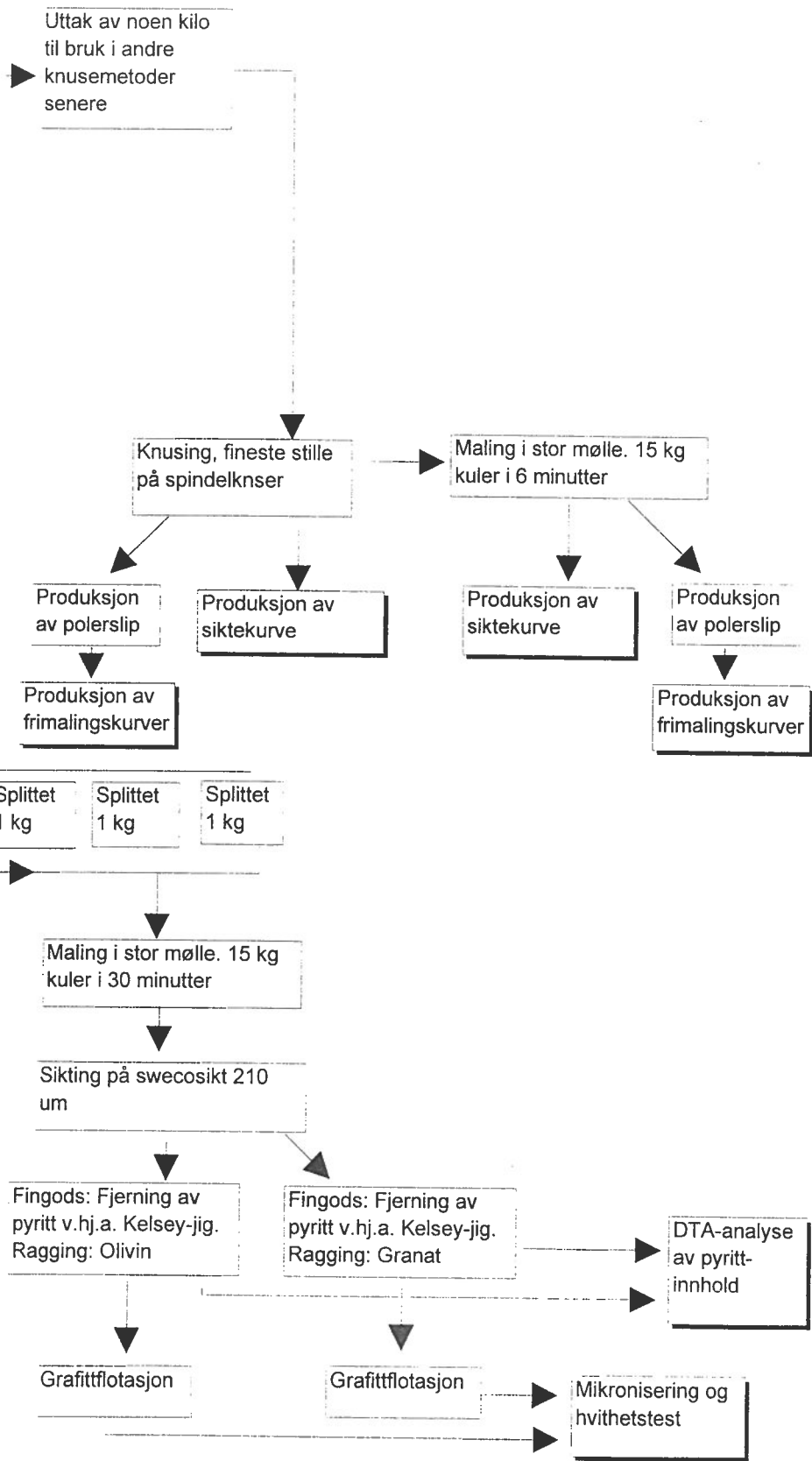
Polerte tynnslip og polerslip: Korntelling

Intet detekterbart innhold av paramagnetiske mineraler

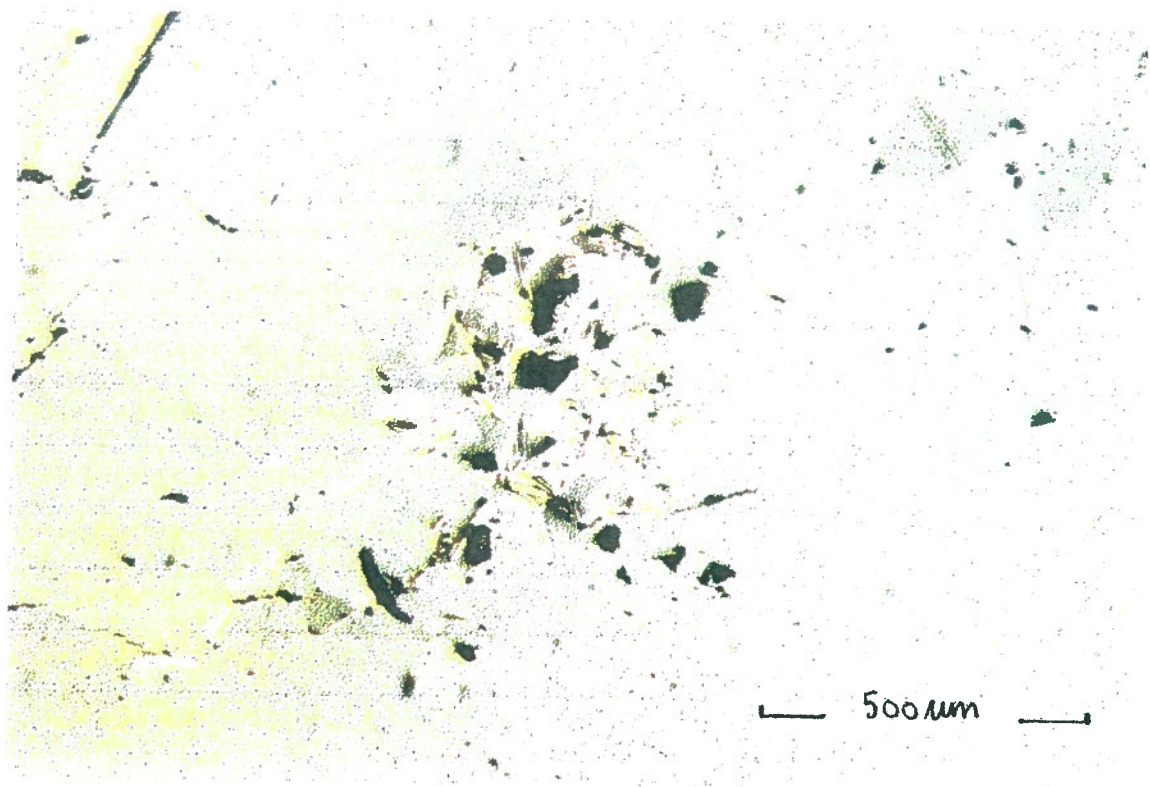
Produksjon av frimalingskurver

Analyse av lettfraksjon og tungfraksjon v.h.j.a. XRD og DTA

Mikroskopering av tung- og lettfraksjonene



Vedlegg 2: Mikroskopbilder



Bilde nr. 7:

Prøve 2. Her ser man en grafittansamling (lyse korn) innesluttet i kalsittkorn. Dette er den type grafittforekomst som er mest ugunstig med hensyn på rensing av kalken. For å frigjøre denne grafitten er det trolig nødvendig med stor grad av nedmaling.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

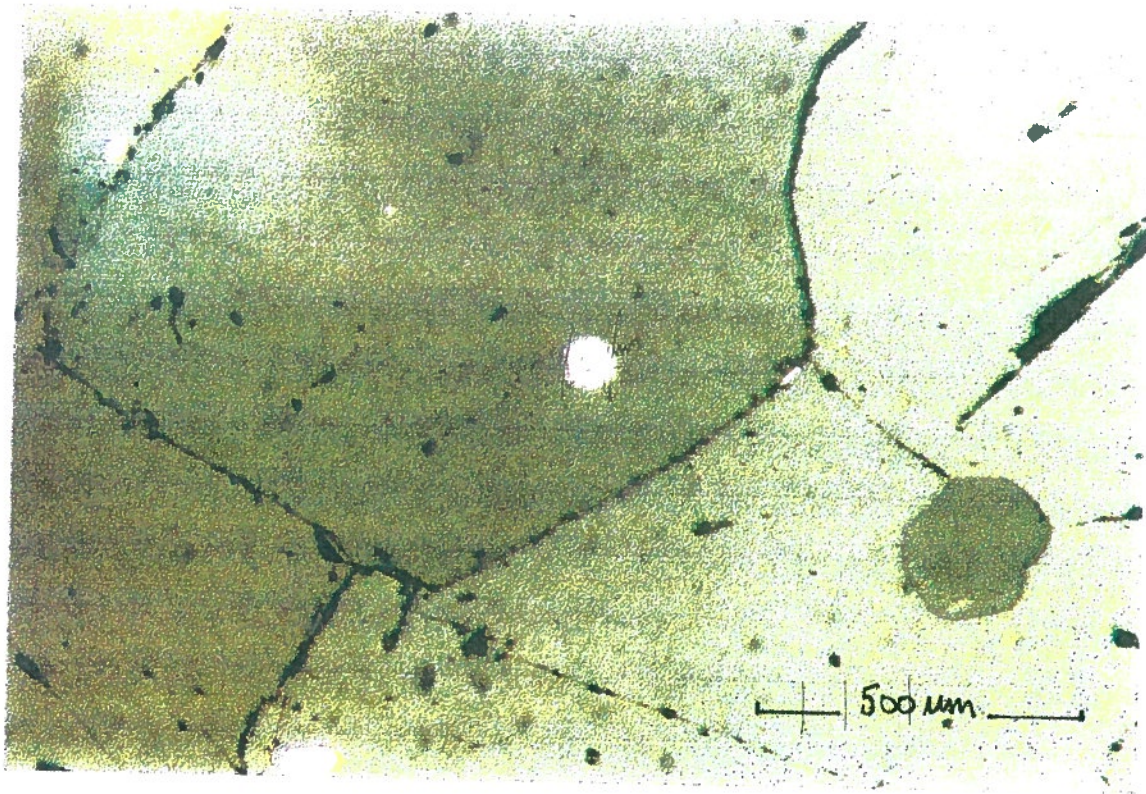


Bilde nr. 8:

Prøve 2. Dette bildet er av samme grafittansamling som er avbildet på bilde nr.7. Legg merke til den fiberaktige kornformen. Denne er typisk for grafitten man finner som forurensning i kalken.

Objektiv: 20x

Målestokk: 1:340

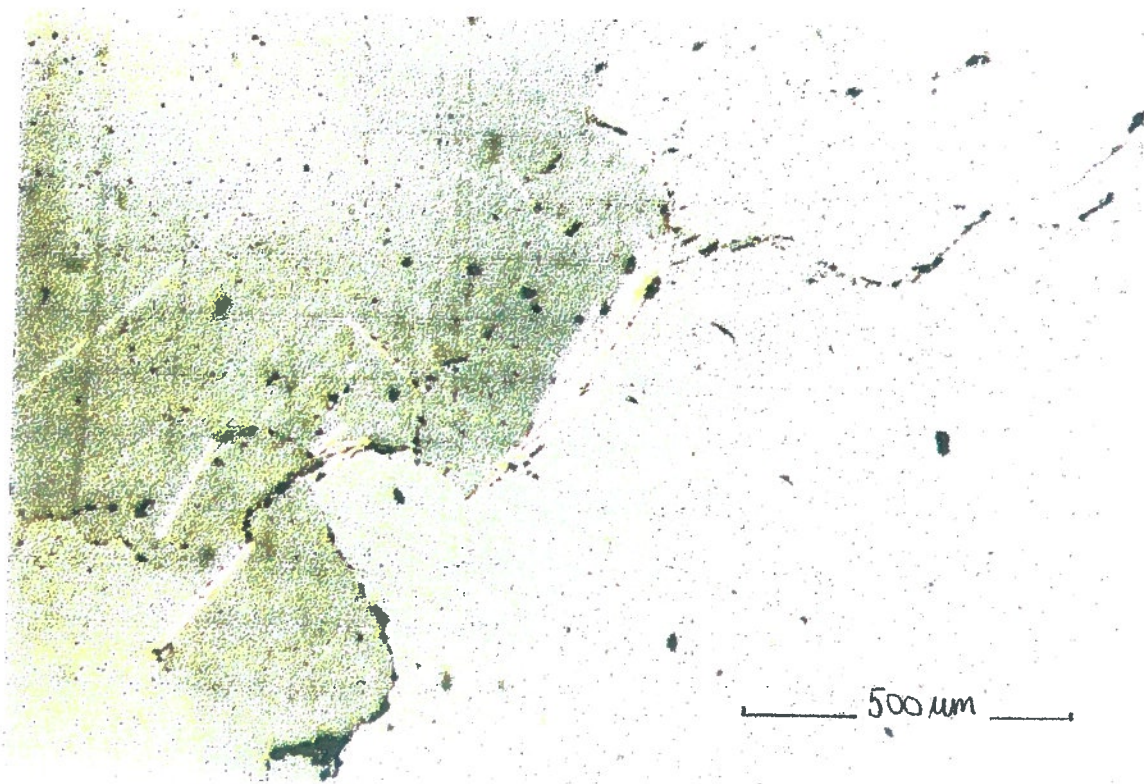


Bilde nr. 15:

Prøve 2. Her ser man pyrittkorn (lyse korn) innesluttet i kalsittkorn. Som på dette bildet er det vanlig at pyritten opptrer som enkeltkorn, og ikke i ansamlinger slik som grafitten på bilde 8.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

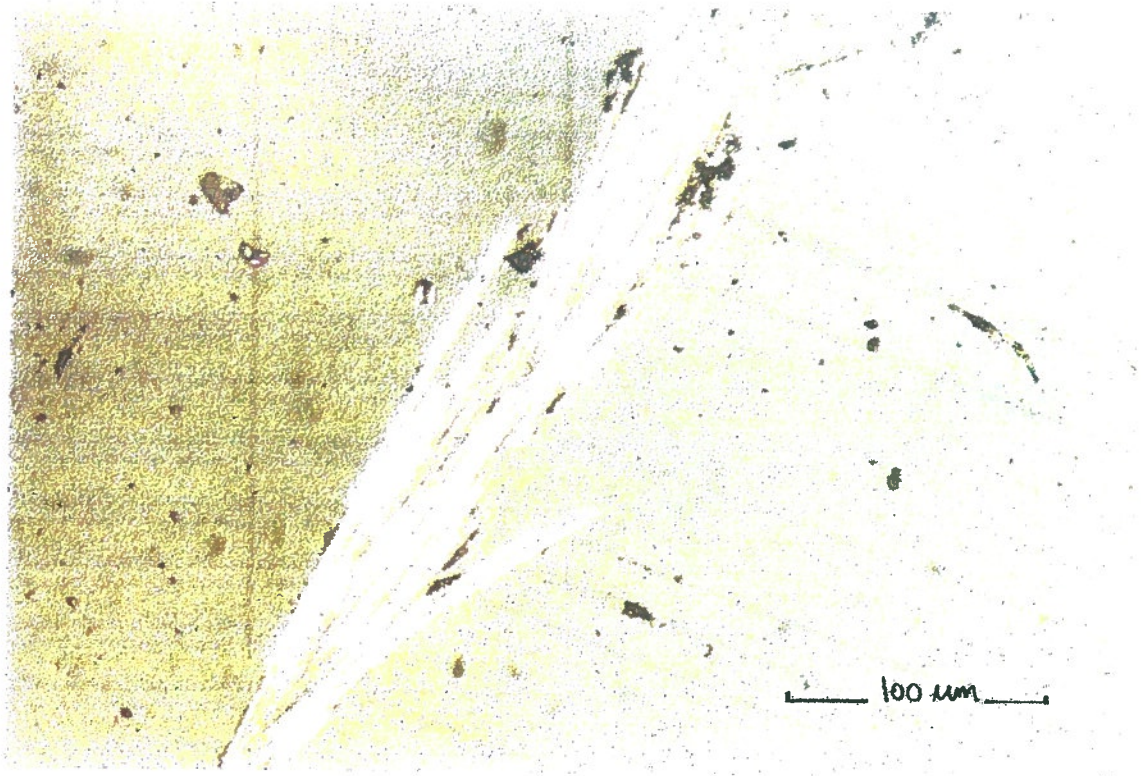


Bilde nr. 19:

Prøve 1. Dette bildet viser en grafittansamling (lyse korn) på korn grensen mellom to grafittkorn. Denne typen grafittansamling er noe lettere å frimale ettersom den sitter på korn grensene. Like stor grad av nedmaling som for grafitten på bilde nr. 8 er ikke nødvendig her.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

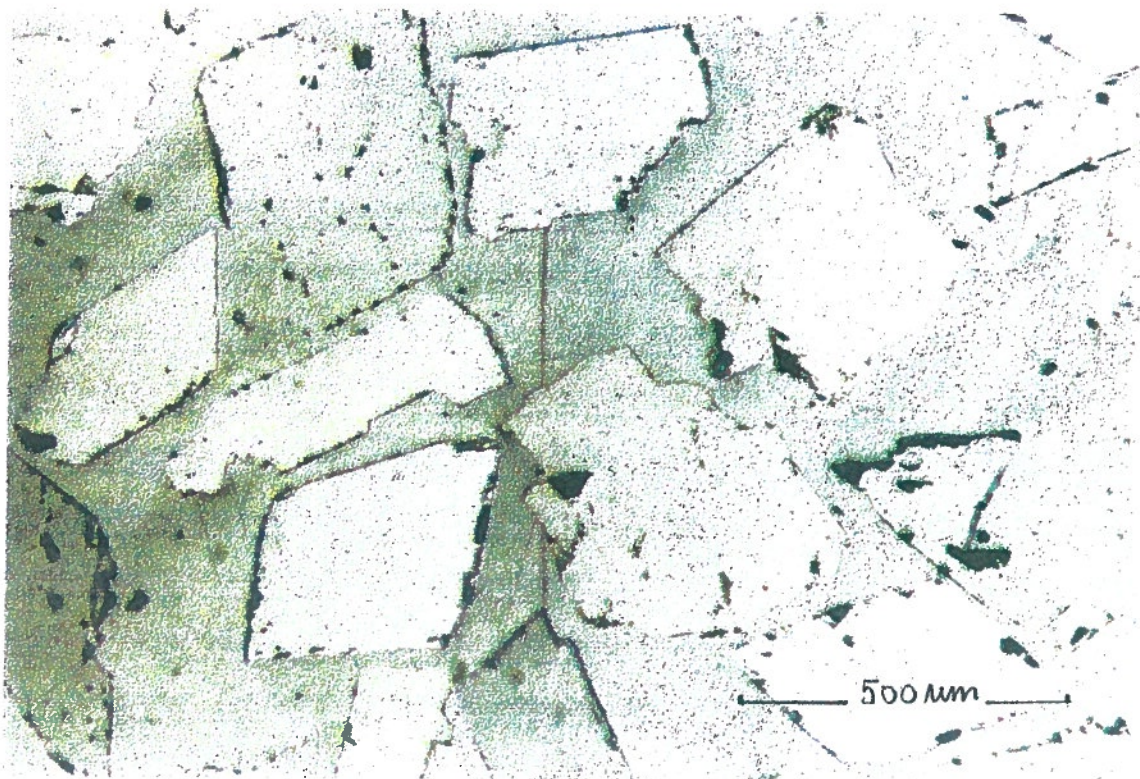


Bilde nr. 20:

Prøve 1. Denne grafittansamlingen (lyse avlange korn) er den samme som er avbildet på bilde nr. 19.

Objektiv: 20x

Målestokk: 1:340

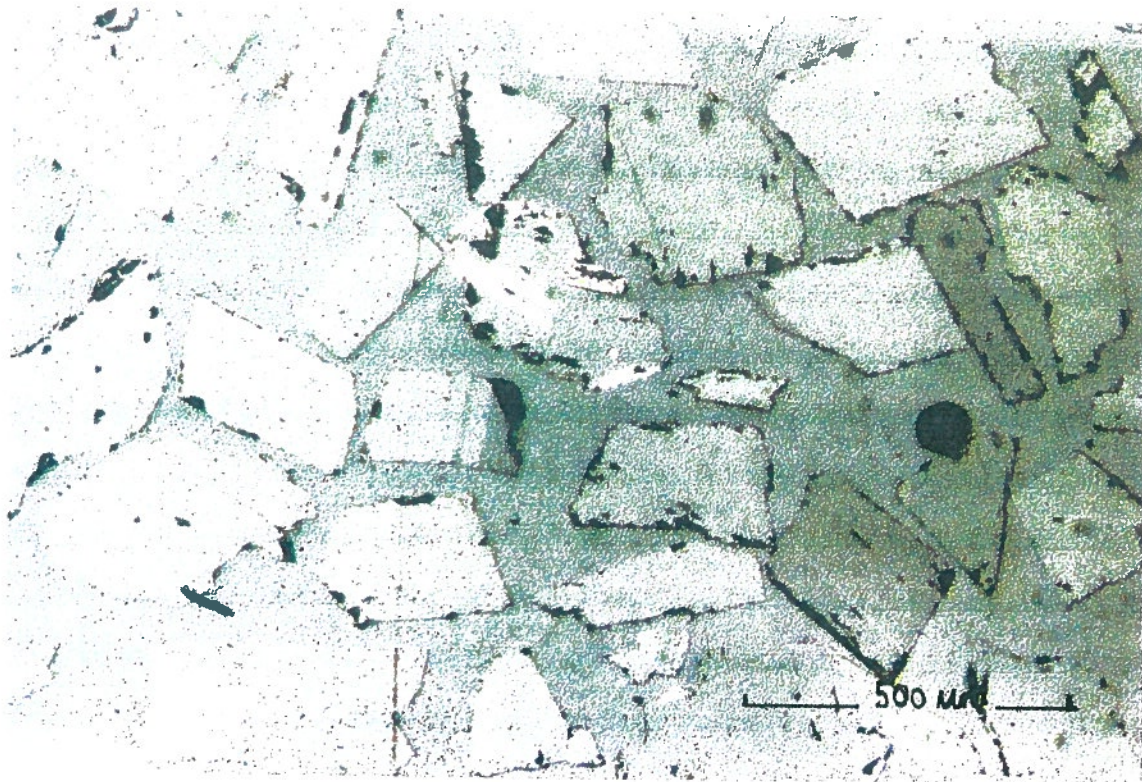


Bilde nr. 23:

Prøve 2. Dette bildet viser nedknust kalsitt, fri for synlige forurensninger. Disse kornene er mellom 295 og 417 μm. Man ser her tydelig spaltevinkelen på 75° .

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86

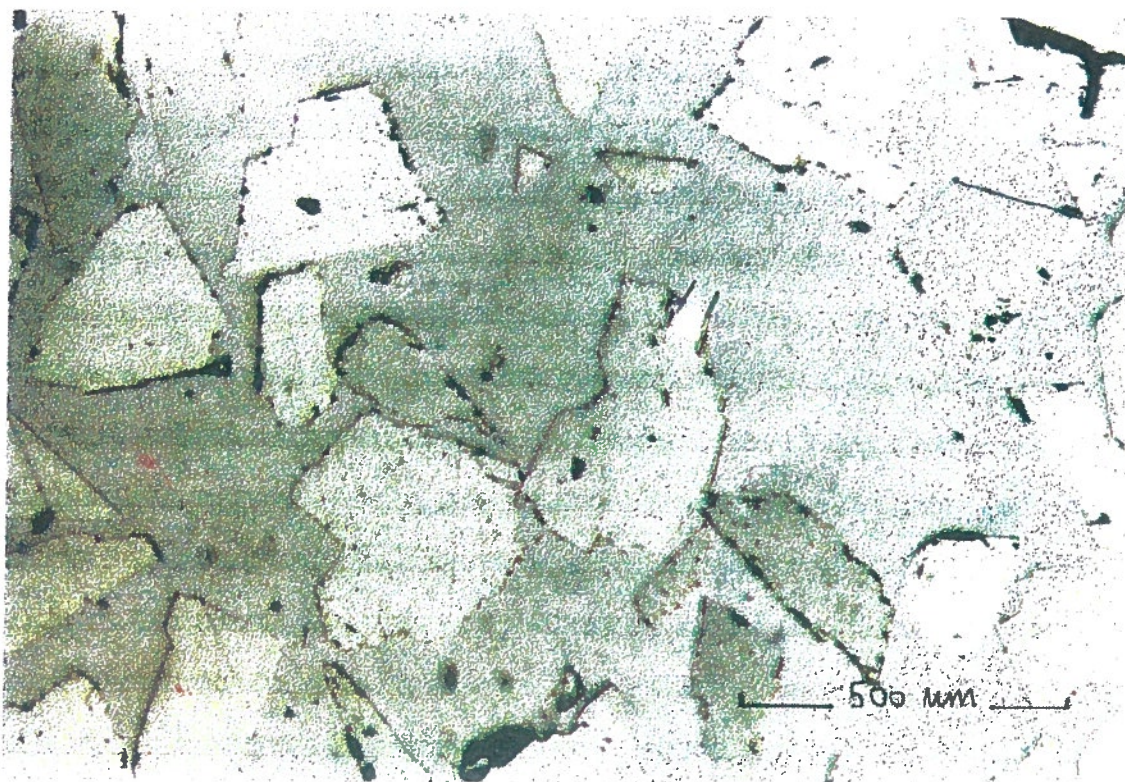


Bilde nr. 35:

Prøve 2. Her ser man kalsittkorn fra fraksjonen 208-295 μm . Kornet i sentrum av bildet er forurenset av endel grafittkorn (lyse, avlange korn). For å separere grafitten fra kalsitten er det i dette tilfellet nødvendig å male kalken ytterligere ned, slik at grafitten frigjøres.

Objektiv: 5x

Målestokk: 1:86



Bilde nr. 36:

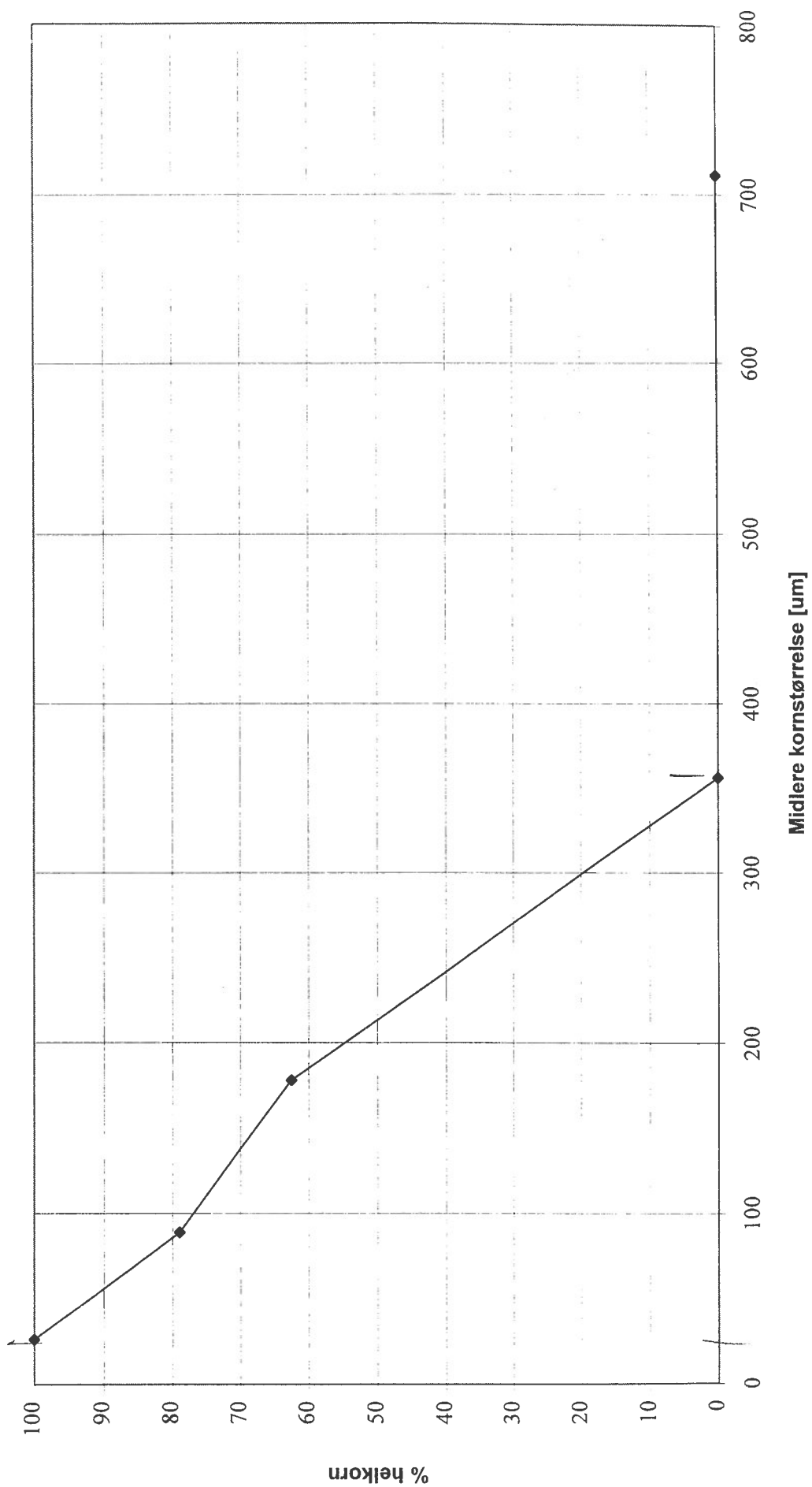
Prøve 2. Her ser man kalsittkorn fra samme fraksjon som bilde nr. 35 viser, nemlig 208-295 μm . Også her er kalsittkornet i sentrum av bildet forurenset. Her er forurensningen pyritt (lyst korn). Som tilfellet var for grafitten i bilde nr. 35, er det også her nødvendig med ytterligere nedmaling for å frigjøre forurensningsmineralet.

Objektiv: 5x

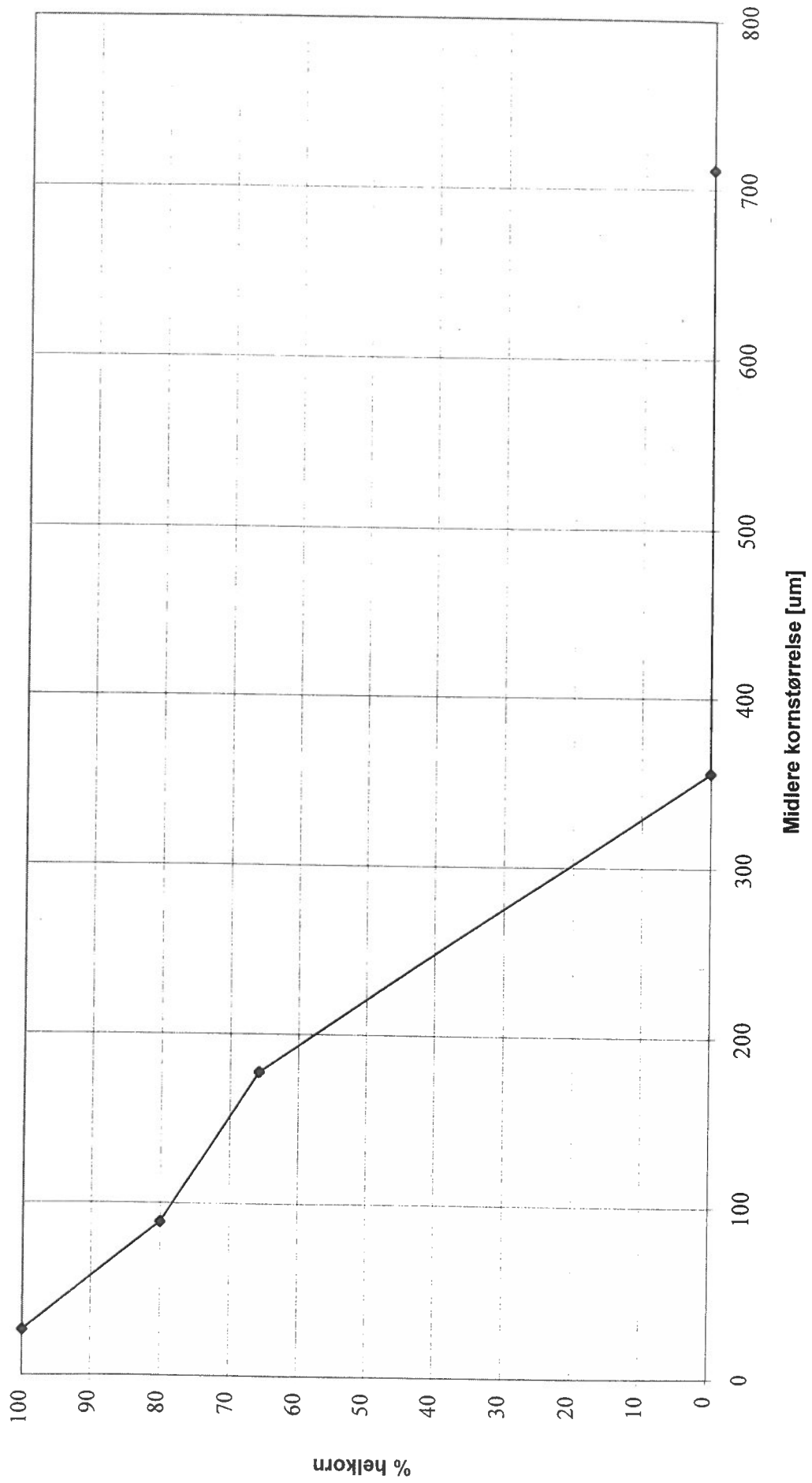
Målestokk: 1:86

Vedlegg 3: Frimalingskurver

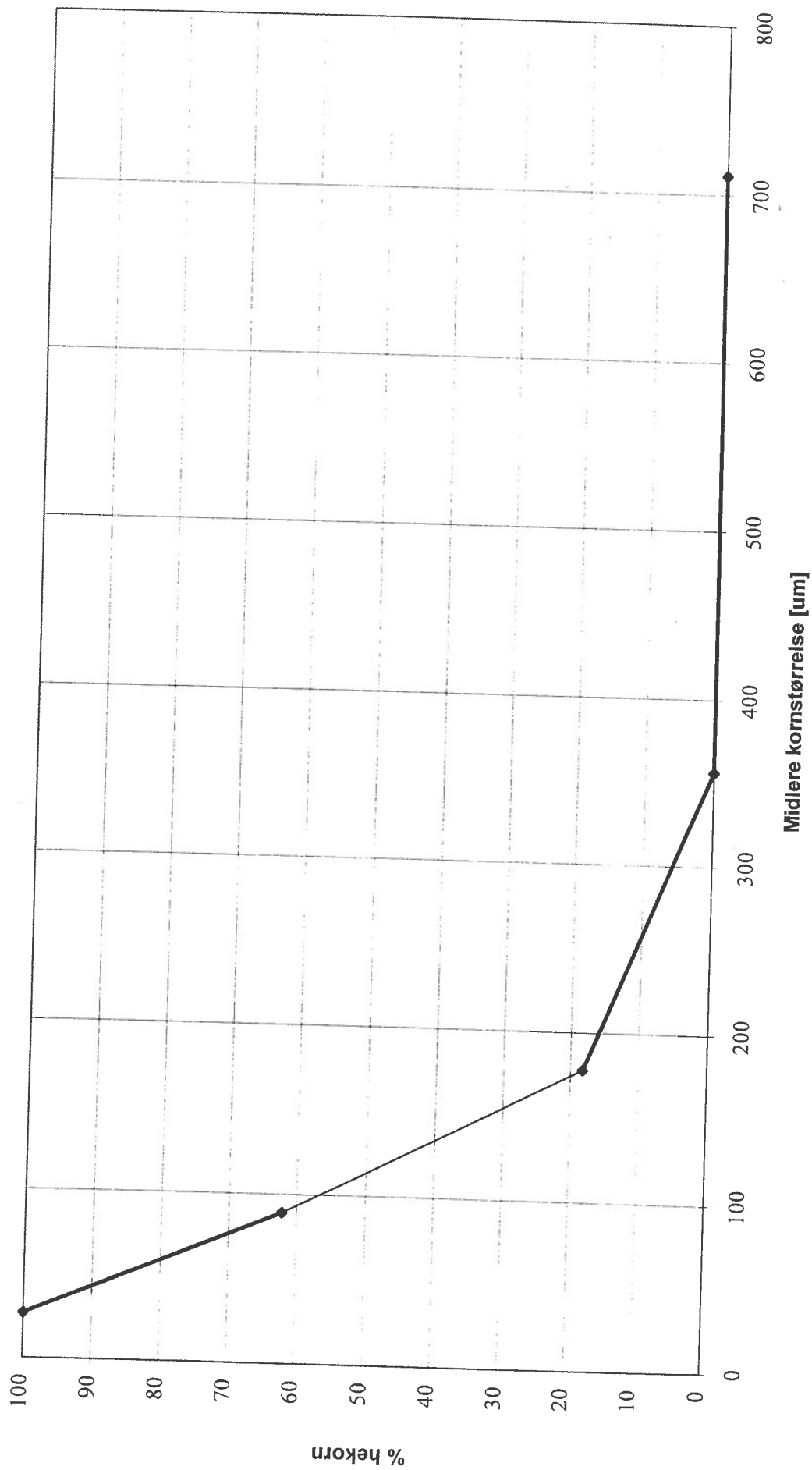
Frimalingskurve for pyritt, prøve 1. Malemetode 1



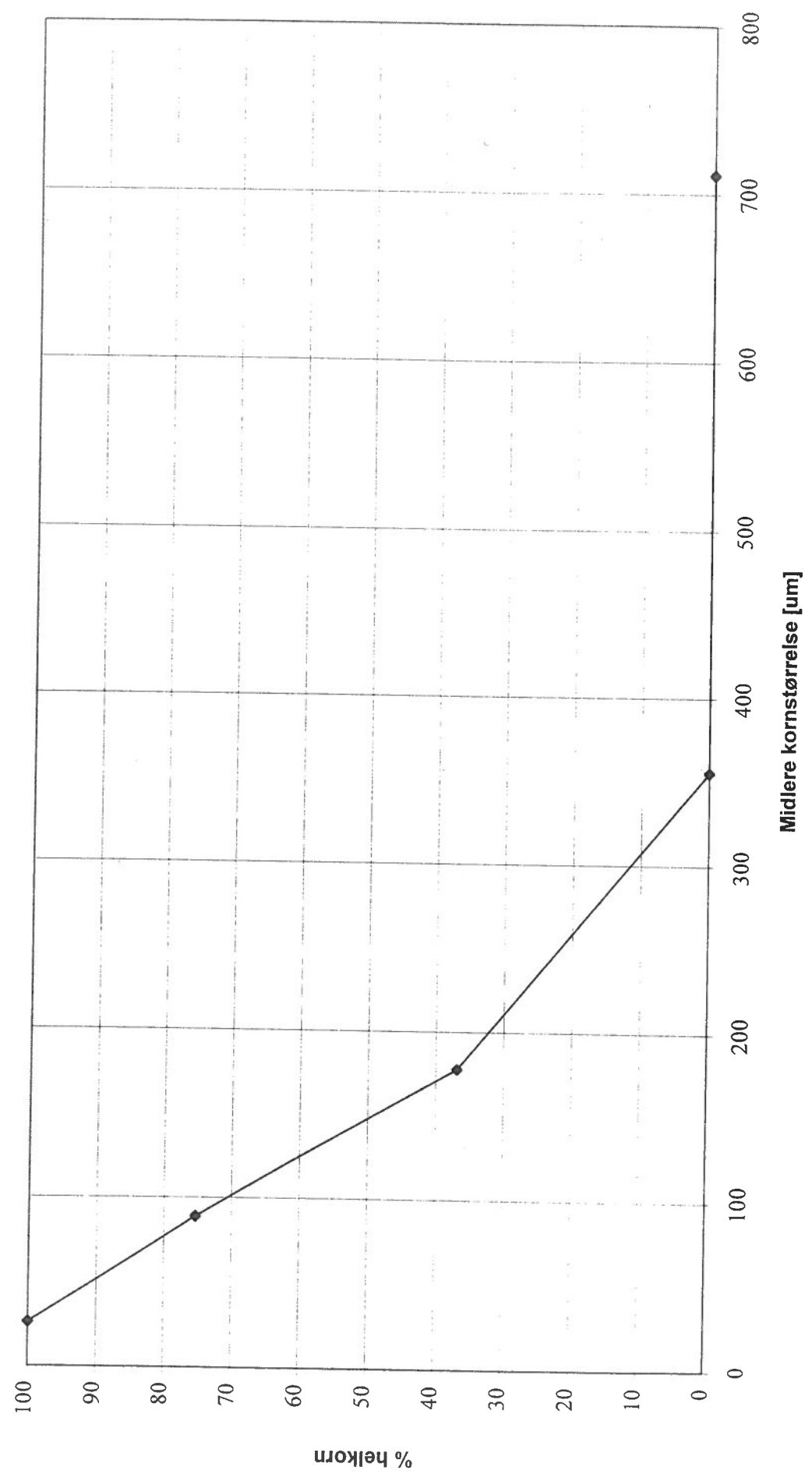
Frimalingskurve for grafitt, prøve 1. Malemetode 1



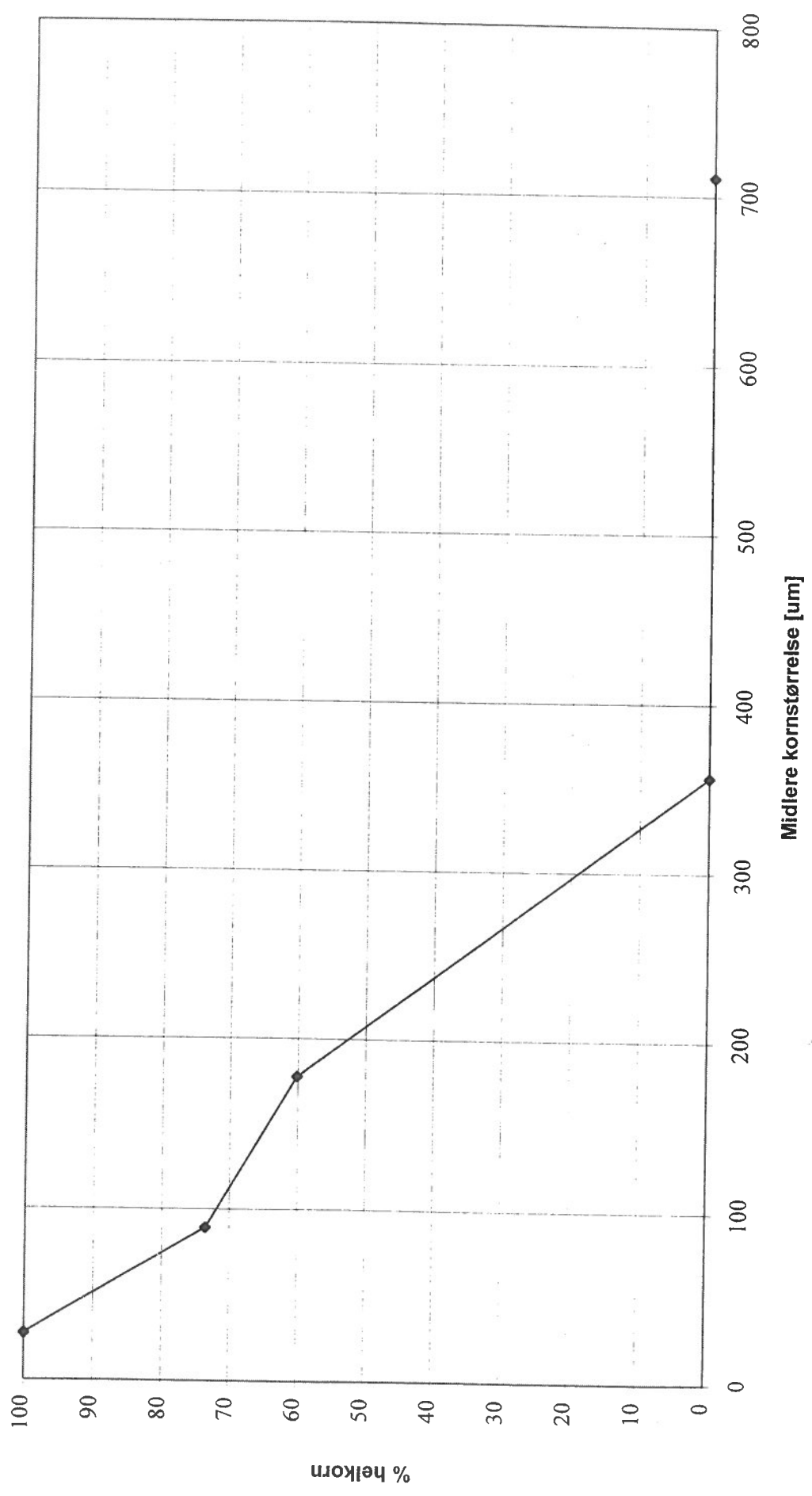
Frimalingskurve for pyritt, prøve 2. Malemetode 1



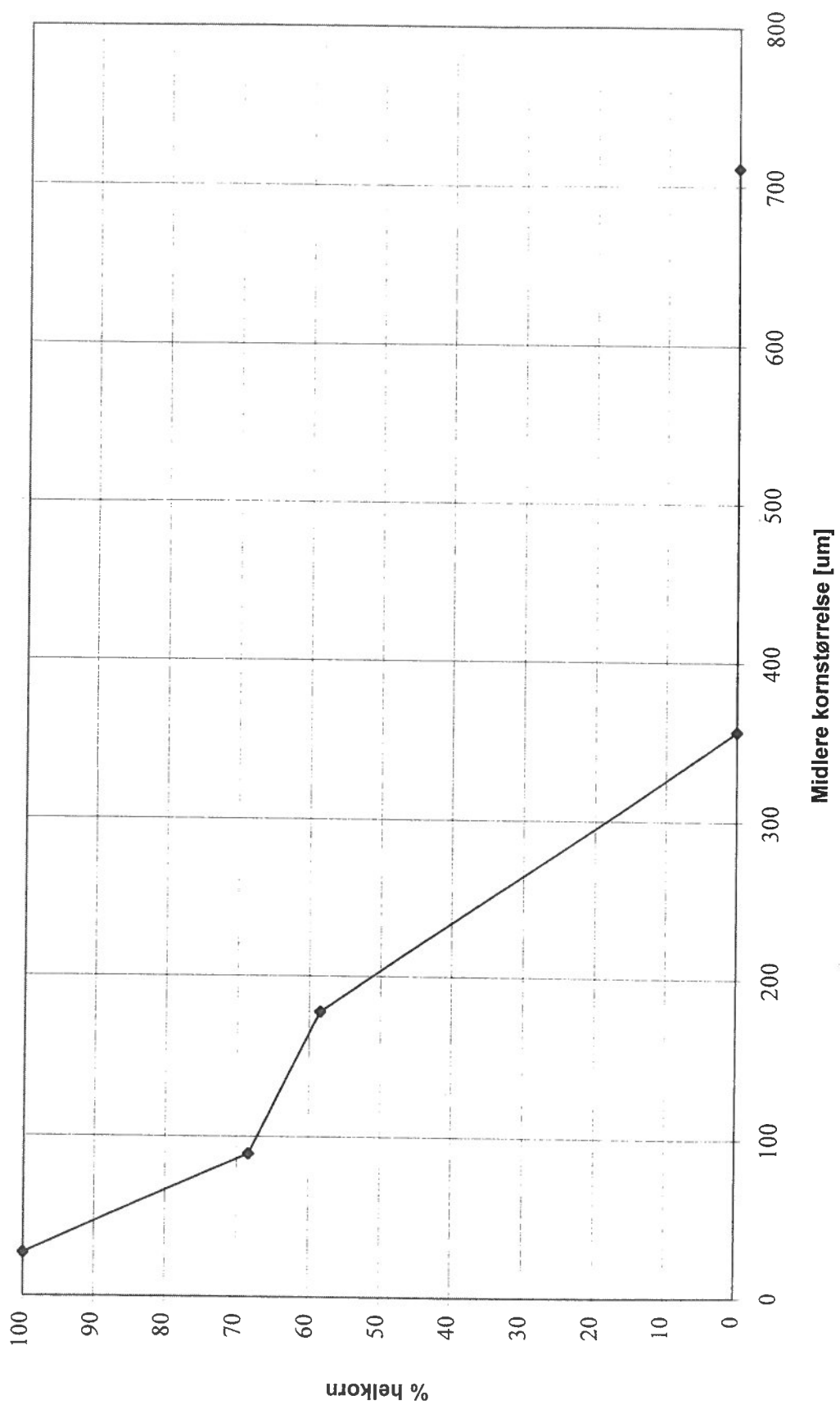
Frimalingskurve for grafit, prøve 2. Malemetode 1



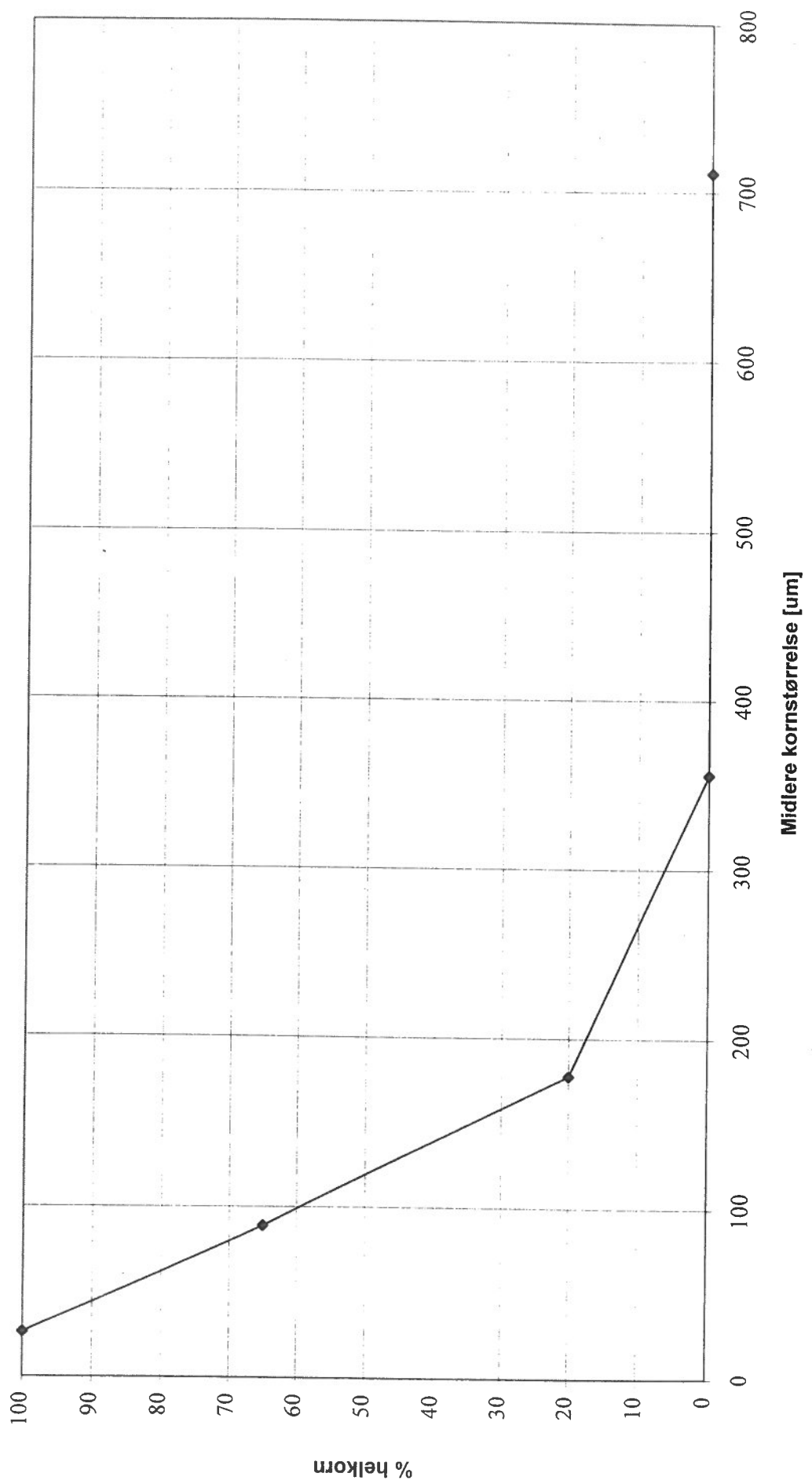
Frimalingskurve for pyritt, prøve 1. Malemetode 2



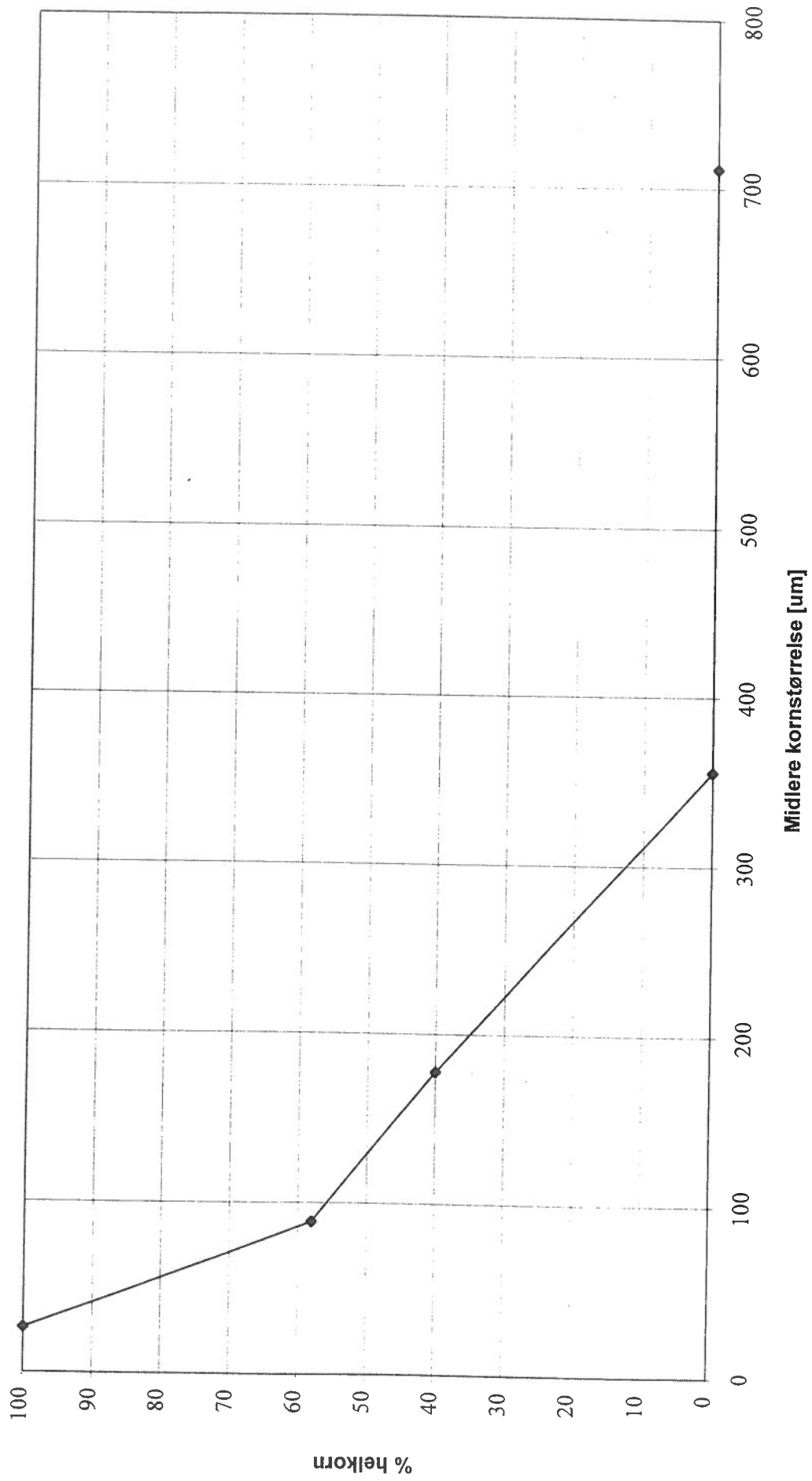
Frimalingskurve for grafitt, prøve 1. Malemetode 2



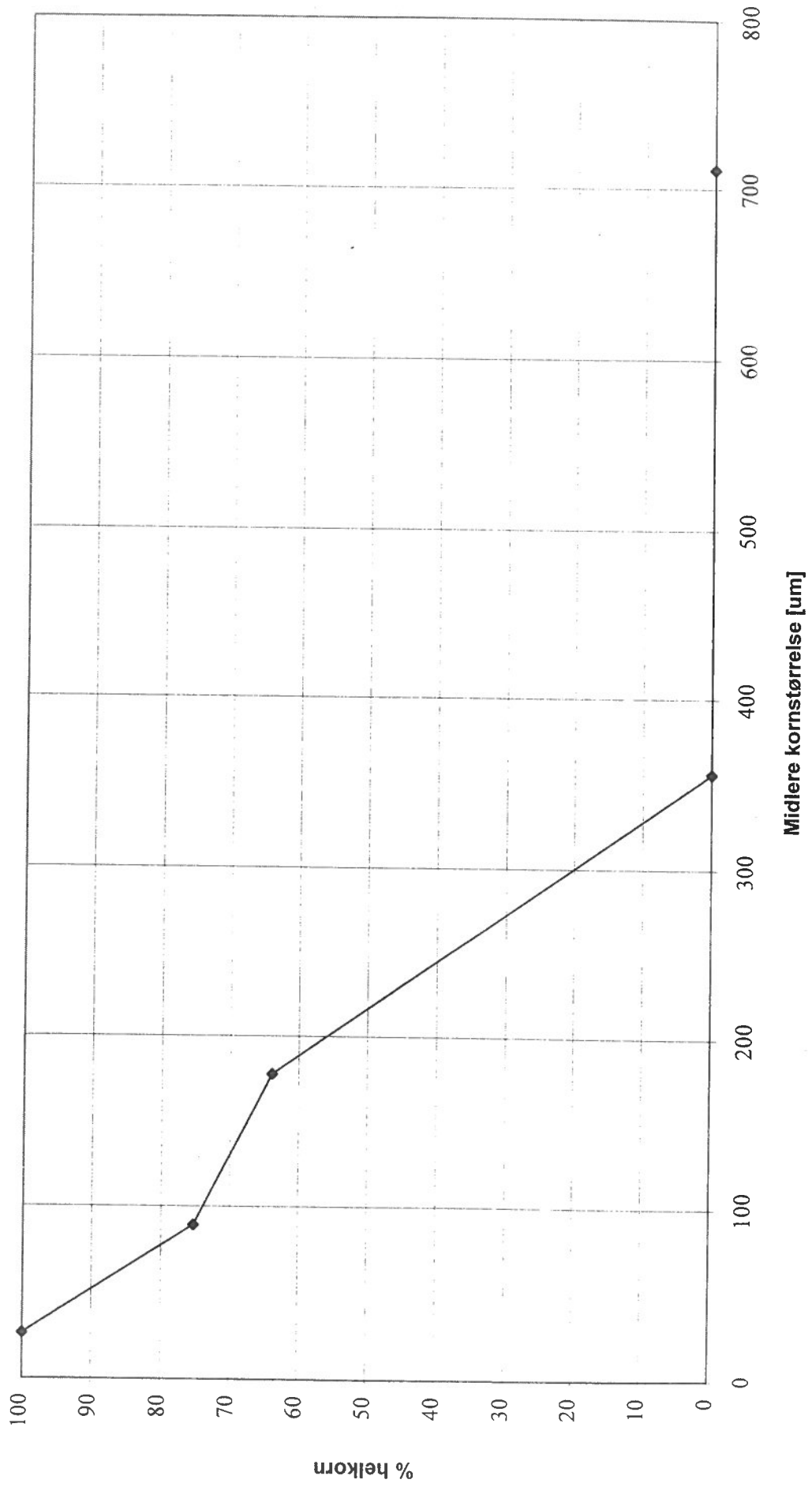
Frimalingskurve for pyritt, prøve 2, Malemetode 2



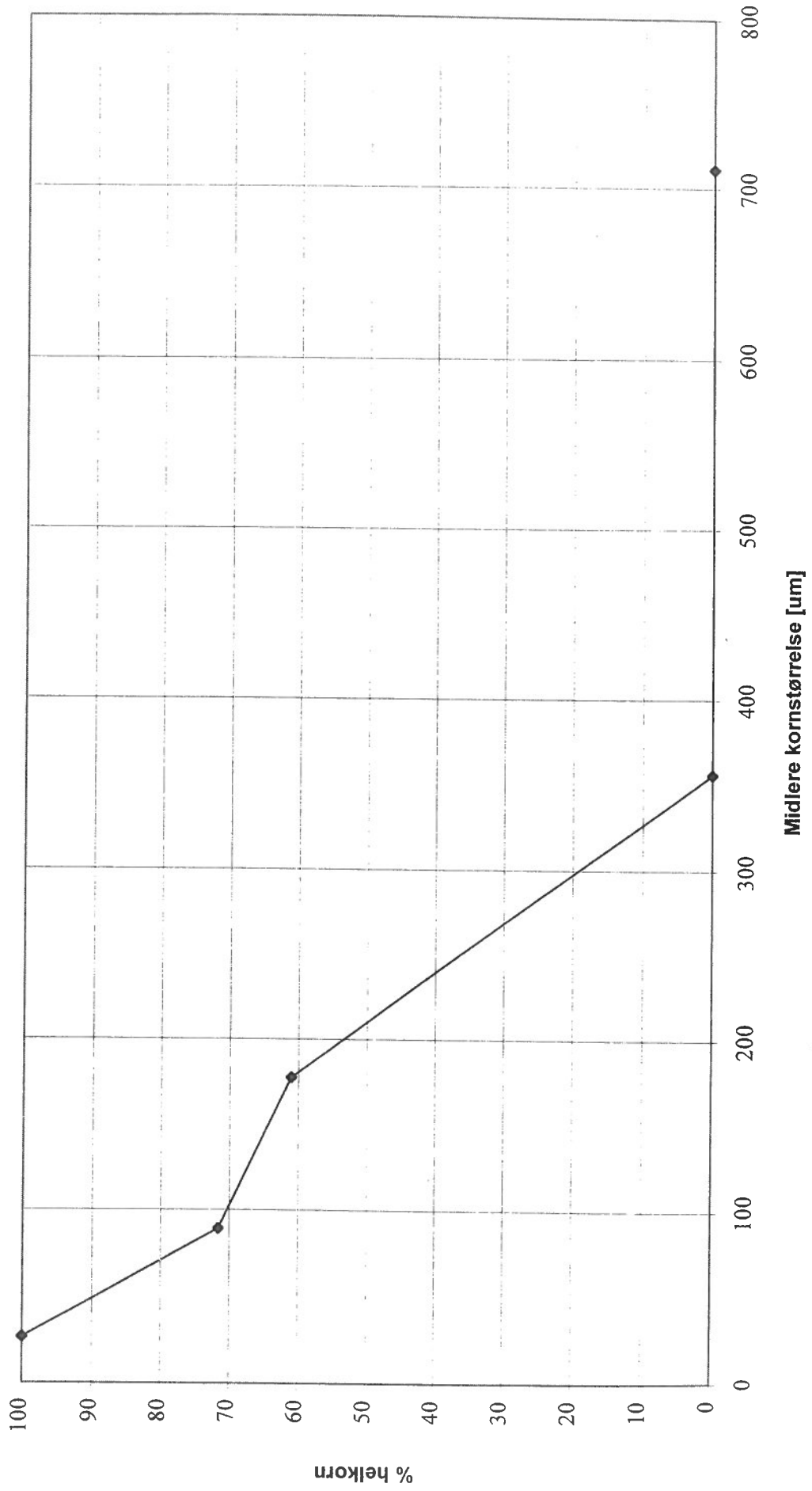
Frimalingskurve for grafitt, prøve 2. Malemetode 2



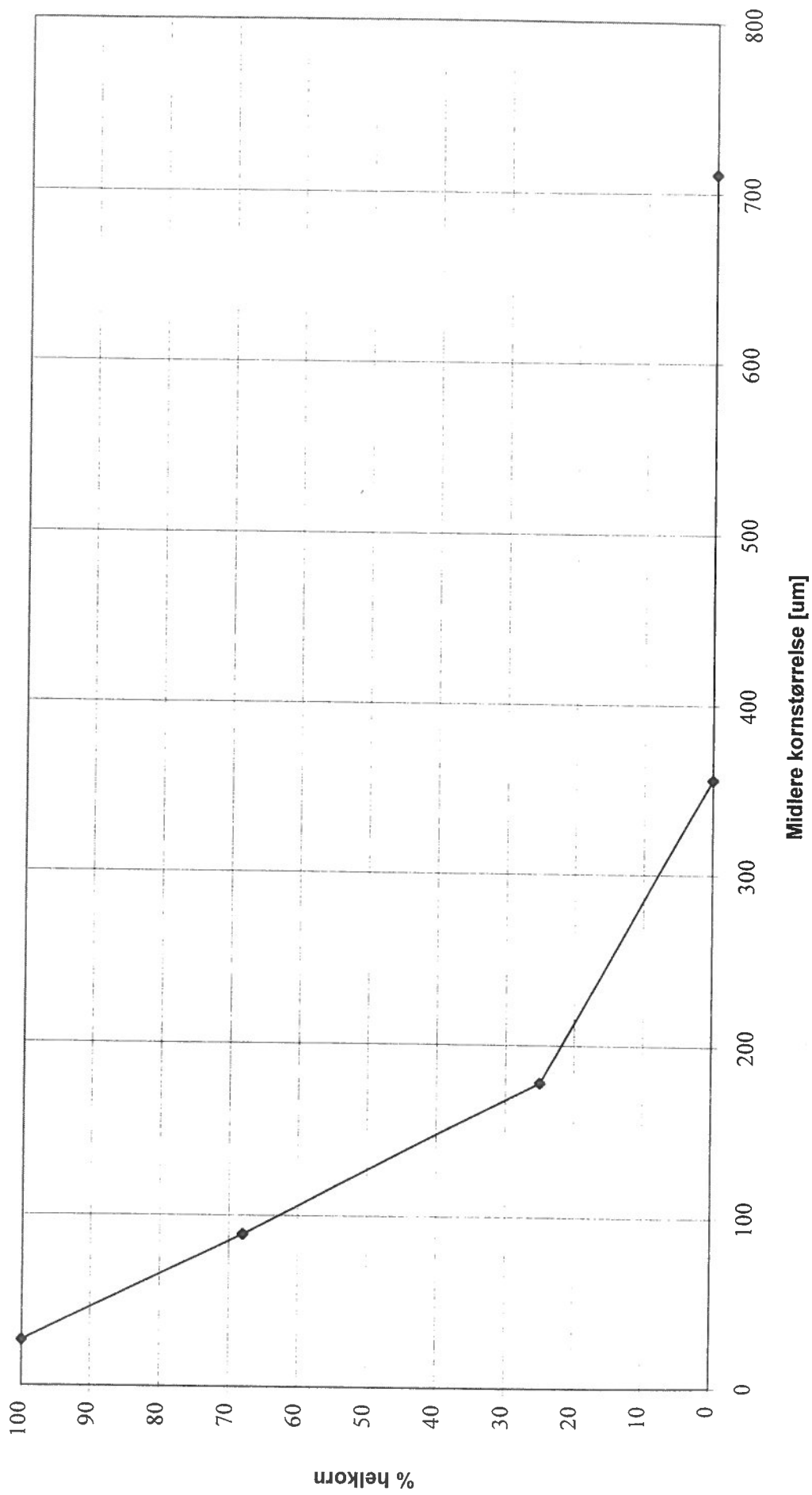
Frimalingskurve for pyritt, prøve 1. Malemetode 3



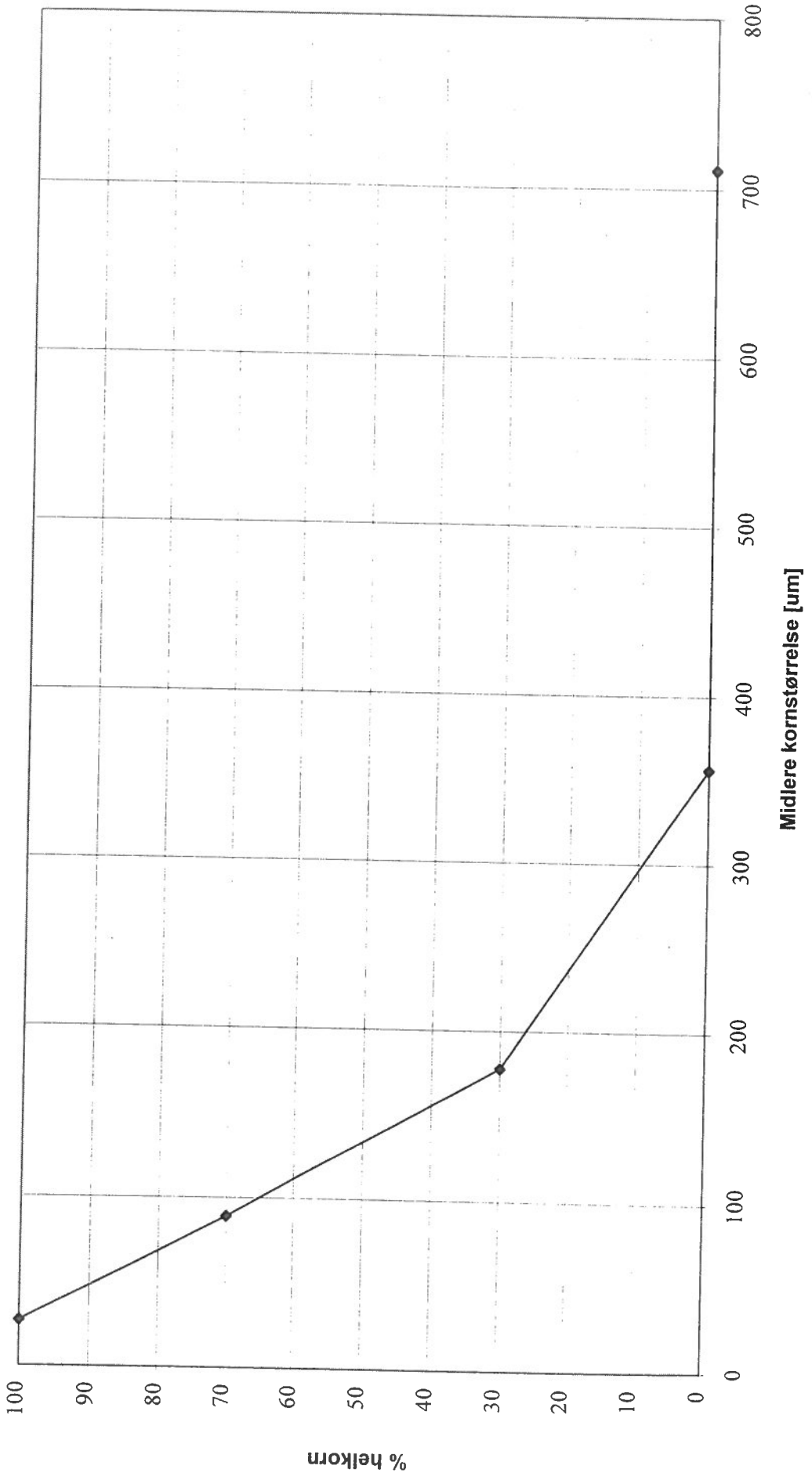
Frimalingskurve for grafitt, prøve 1. Malemetode 3



Frimalingskurve for pyritt, prøve 2. Malemetode 3



Frimalingskurve for grafit, prøve 2. Malemetode 3

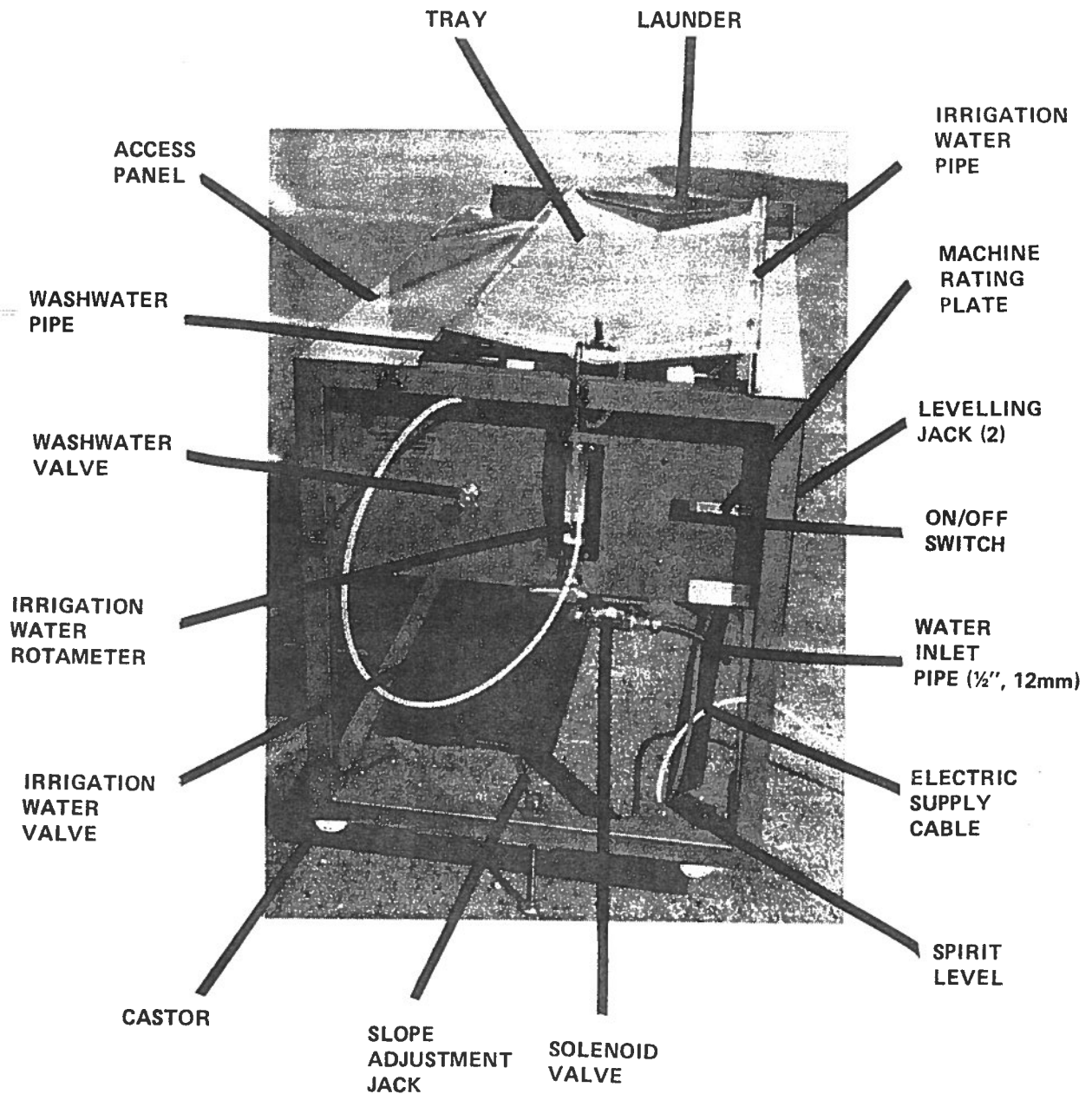


Tallmateriale som ligger til grunn for produksjon av frimalingskurver for grafitt og pyritt etter malemetode 1

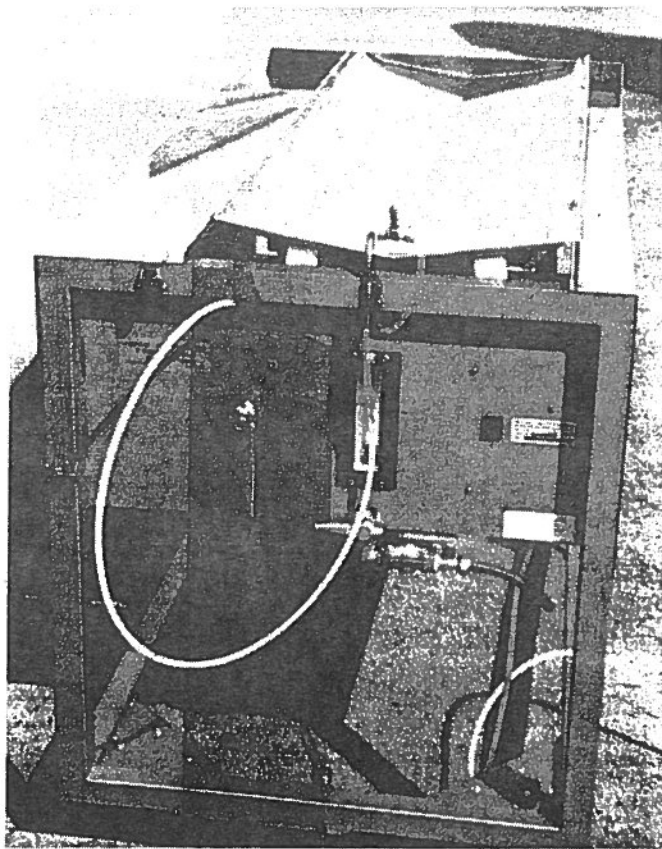
		Grafitt				
Midlere kornstørrelse [um]		0-5%	5-20%	20-50%	50-90%	90-100%
711		100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
356		87,5	12,5	0,0	0,0	0,0
177,5	Prøve 1	23,7	5,3	0,0	5,3	65,8
89		5,0	6,7	5,0	3,3	80,0
26,5		0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
711		100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
356		100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
177,5	Prøve 2	26,3	10,5	5,3	21,1	36,8
89		15,6	3,2	3,6	2,3	75,3
26,5		0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Pyritt				
Midlere kornstørrelse [um]		0-5%	5-20%	20-50%	50-90%	90-100%
711		83,3	16,7	0,0	0,0	0,0
356		62,5	25,0	12,5	0,0	0,0
177,5	Prøve 1	25,0	7,5	2,5	2,5	62,5
89		2,6	5,3	5,3	7,9	78,9
26,5		0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
711		100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
356		93,3	0,0	6,7	0,0	0,0
177,5	Prøve 2	72,7	0,0	0,0	9,1	18,2
89		21,6	0,0	2,7	13,5	62,2
26,5		0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Vedlegg 4: Mozley vaskebord

GENERAL ARRANGEMENT



RECOMMENDED USE



'V' PROFILE TRAY WITH KNOCK

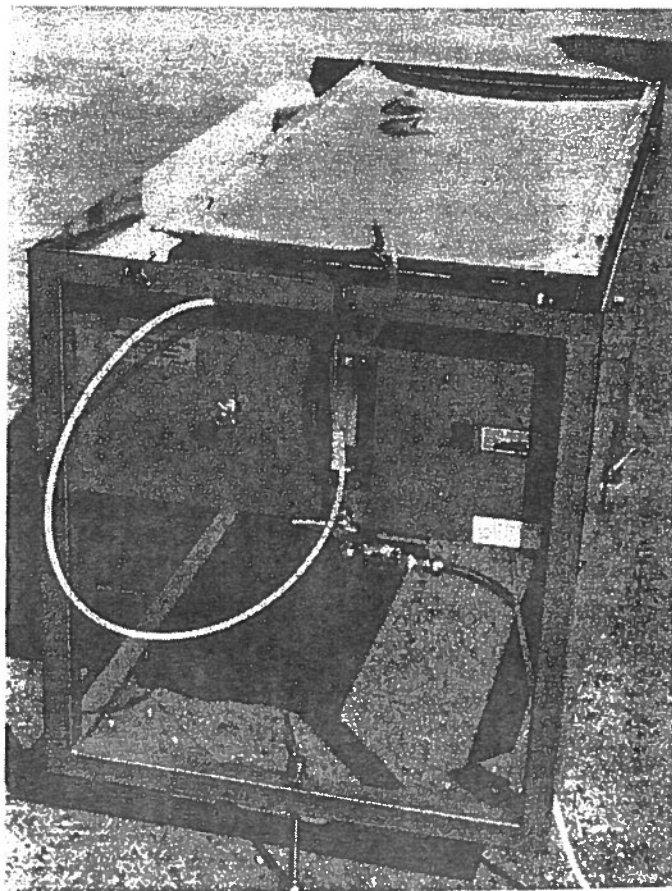
The Separator fitted with the 'V' profile tray and knock mechanism is recommended for making separations of samples with a particle size range between 2mm and 100 microns.

Recommended maximum size for particles to be treated is 2mm.



FLAT TRAY

The Separator fitted with the flat tray is recommended for making separations of samples with a particle size range finer than 100 microns.



CHANGEOVER FROM 'V' PROFILE TRAY TO FLAT TRAY AND VICE-VERSA MAY BE ACCOMPLISHED IN THE MINIMUM AMOUNT OF TIME WITHOUT USE OF TOOLS.

PRINCIPLE OF OPERATION – 'V' PROFILE TRAY

The Separator consists basically of a shallow 'V' profile stainless steel tray, inclined at a shallow angle to the horizontal in the longitudinal direction.

The tray is oscillated horizontally in a direction 90 degrees to the maximum slope by a crank driven via pulleys by an electric motor.

The tray is also free to move in the longitudinal direction. The oscillatory motion causes a roller attached to the underside of the tray to ride backwards and forwards over a specially designed cam. Buffers at the 'upstream' end of the tray are held in contact with the 'anvil' (a reinforced frame cross member) by a spring. The action of the tray and cam causes the buffers to move away from the anvil a short distance then to be returned sharply by the tension in the spring. This provides the tray with a sharp knock in the 'upstream' direction twice in every oscillatory cycle.

An even film of water is provided over the entire tray surface by irrigation pipes around the circumference. The water is able to discharge over the lower edge of the tray via a launder into a bucket.

Tray slope, water flowrate and oscillation speed may be varied to suit the sample being treated.

Separation of mineral particles is carried out after placing a wetted sample on the tray near the 'upstream' end. On starting the Separator the sample collects into a narrow band along the apex of the 'V'. The mineral particles are kept in motion by the action of the Separator.

High density particles (usually the valuable minerals) sink to the tray surface and are 'thrown' towards the 'upstream' end of the tray by the 'knock' action. Low density particles (usually gangue or waste minerals) are carried down the tray by the flow of irrigation water to discharge via the launder.

By analysing the products collected via the launder over specific time intervals, and also the products remaining on the tray surface at the end of the test run a complete grade/recovery picture may be built up for the sample.

Results obtained with the 'V' profile tray & 'knock' are comparable with results obtained by commercial sand table installations when running at maximum efficiency.

PRINCIPLE OF OPERATION – FLAT TRAY

The Separator consists basically of a flat stainless steel tray, inclined at a shallow angle to the horizontal in the longitudinal direction.

The tray is oscillated horizontally in a direction 90 degrees to the maximum slope, by a crank driven via pulleys by an electric motor.

An even film of water is provided over the entire tray surface by irrigation pipes around the circumference. The water is able to discharge over the lower edge of the tray via a launder into a bucket.

Tray slope, water flowrate, oscillation speed and amplitude may be varied to suit the sample being treated.

Separation of mineral particles is carried out after placing a sample, in aqueous slurry form, on the tray near the 'upstream' end. On starting the Separator the sample spreads out into a thin layer on the tray surface. The mineral particles are kept in motion by the action of the Separator.

High density particles (usually the valuable minerals) sink to the tray surface and are retained. Low density particles (usually gangue or waste minerals) are carried down the tray by the flow of irrigation water to discharge via the launder.

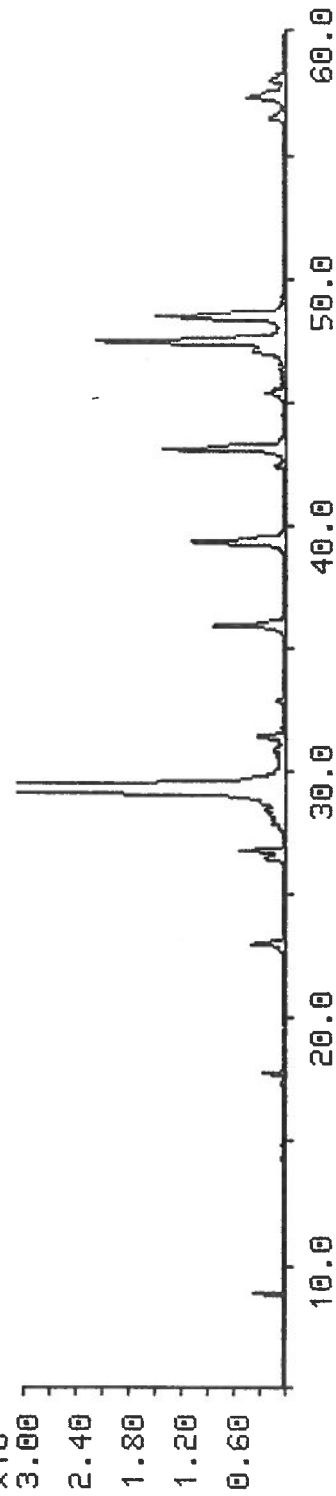
By analysing the products collected via the launder over specific time intervals, and also the products remaining on the tray surface at the end of the test run a complete grade/recovery picture may be built up for the sample.

Results obtained with the flat tray are comparable with results obtained by commercial slime table installations when running at maximum efficiency.

Vedlegg 5: XRD-analyse av Mozley-separerte fraksjoner

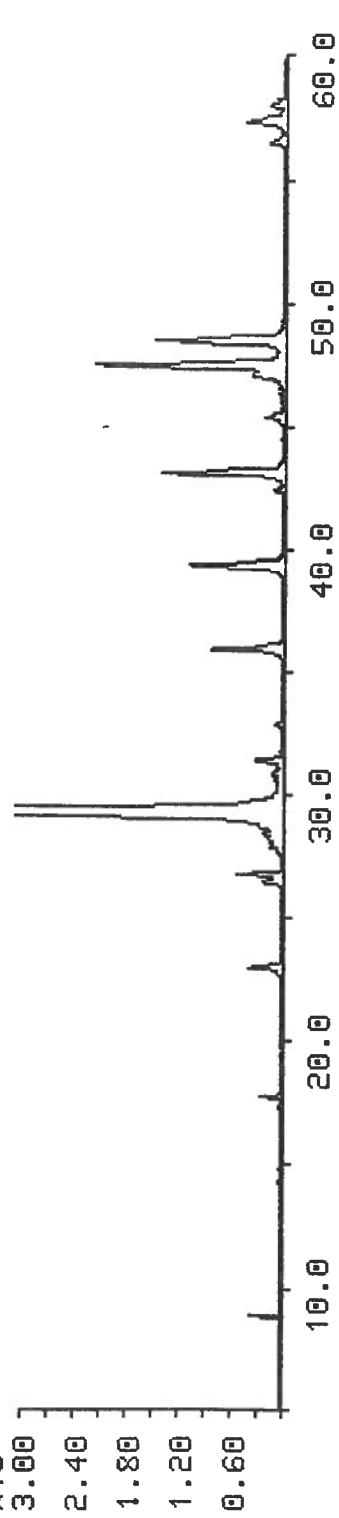
Sample: Pr.1 lett T.HAAVIK File: 951526.RD 28-NOV-95 14:57

x10³



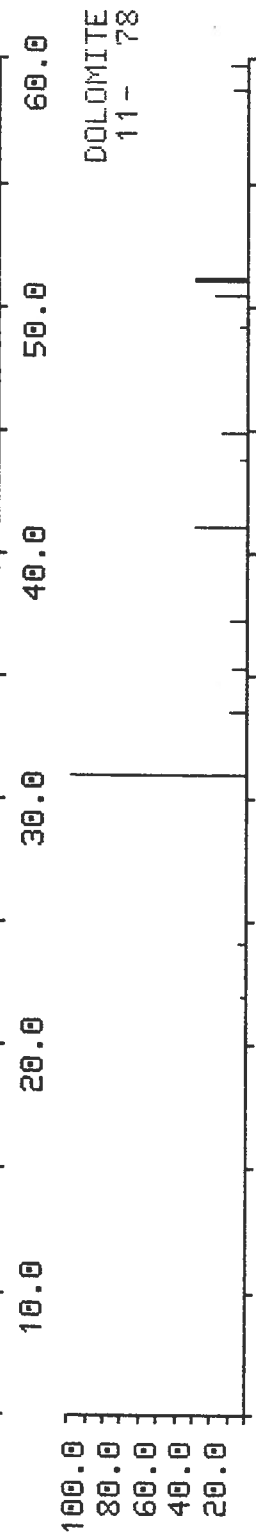
Sample: Pr.1 lett T.HAAVIK File: 951526.RD 26-NOV-95 17:59

$\times 10^3$

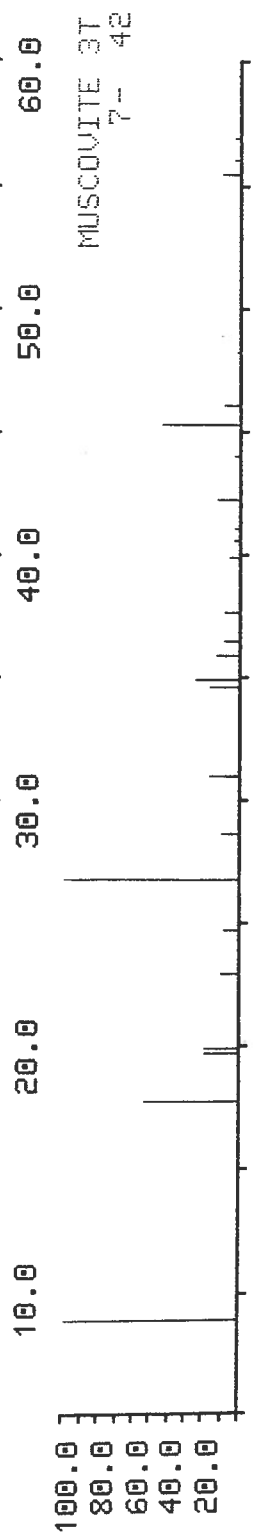


CALCITE SiN
5- 586

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0



DOLomite
11- 78



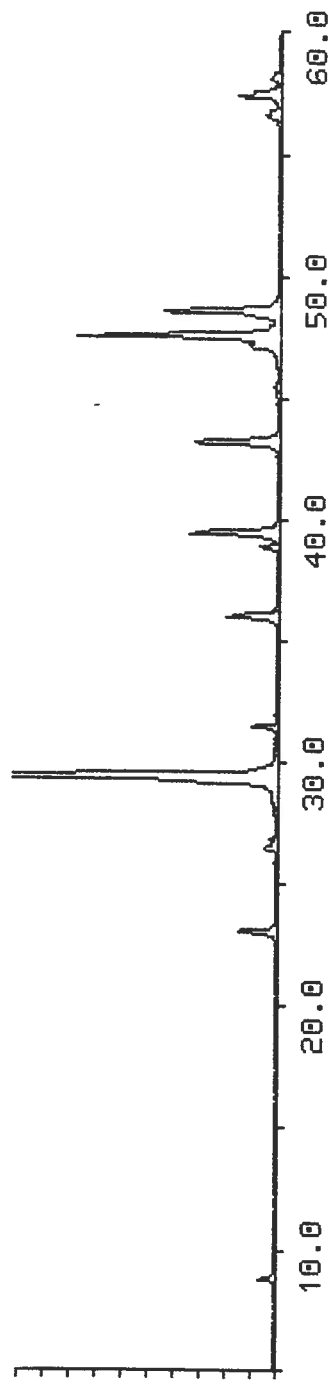
MUSCOVITE 3T
7- 42

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0

Sample: PR.1 TUNG T.HAAVIK File: 951527.RD 28-NOV-95 15:01

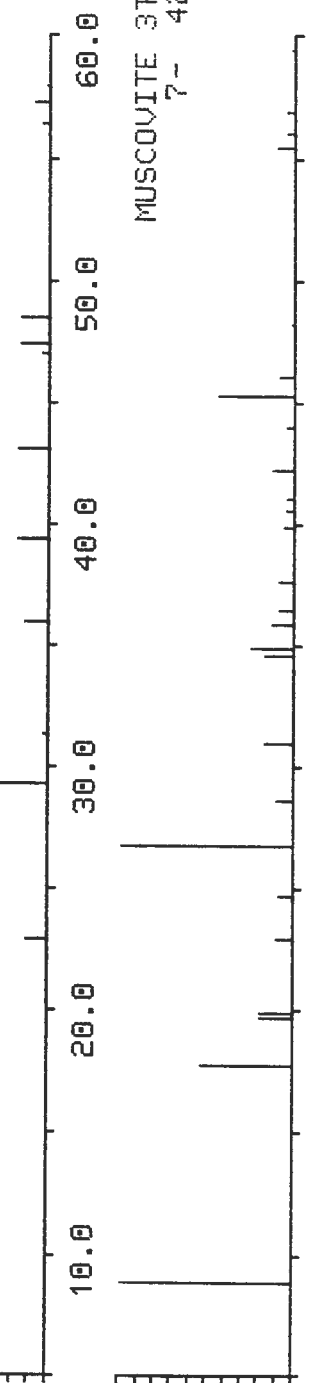
3

x10
3.00
2.40
1.80
1.20
0.60



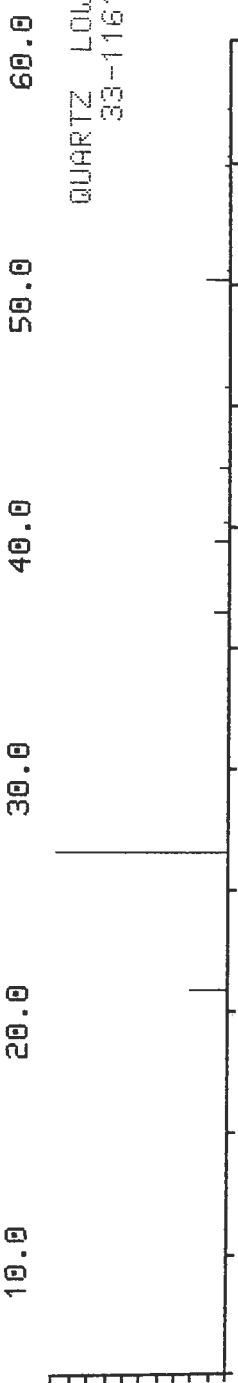
CALCITE SYN
5- 586

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0



MUSCOVITE 3T
7- 42

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0



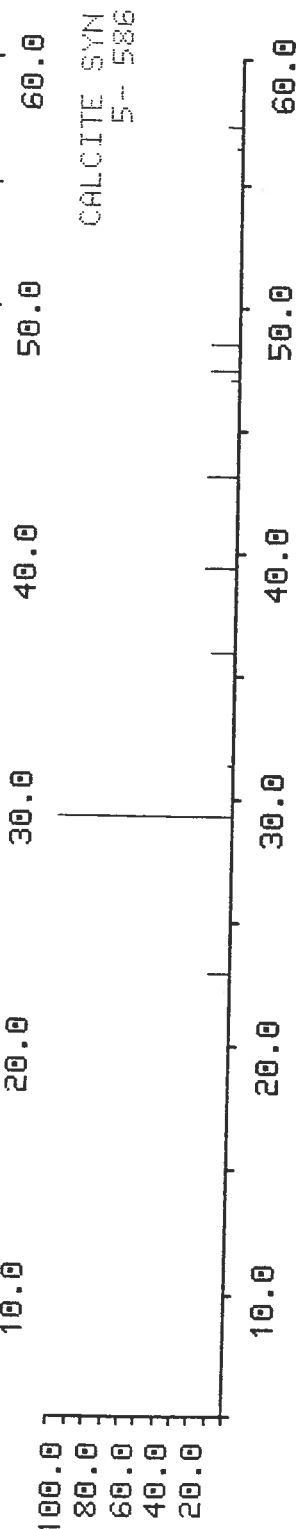
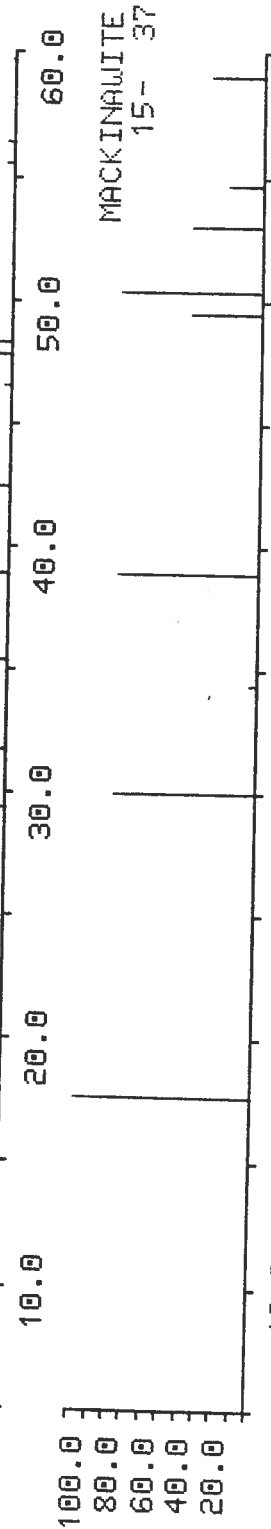
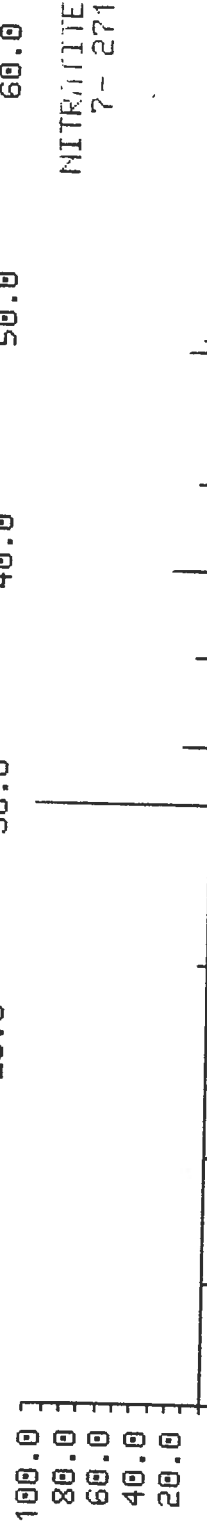
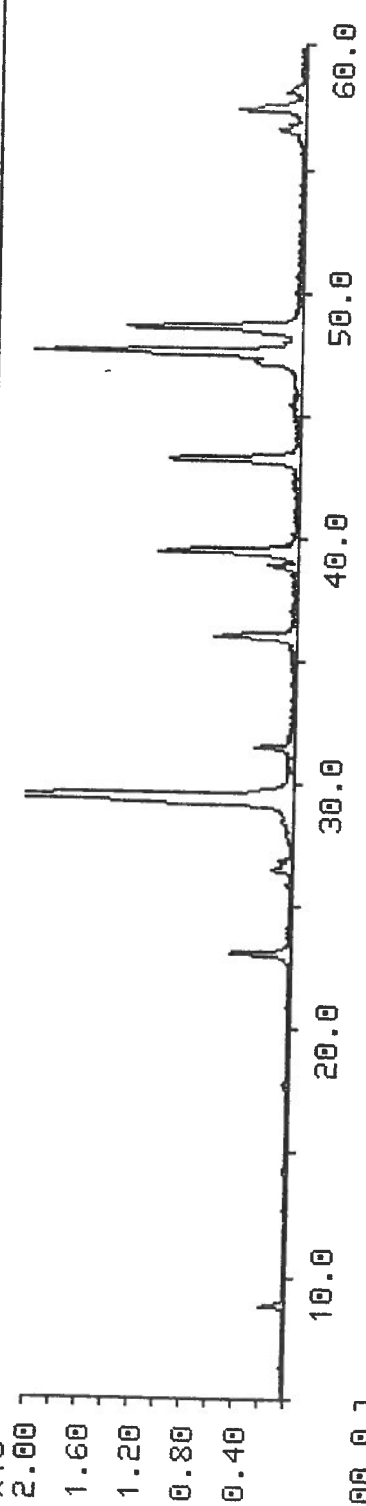
QUARTZ LOW
33-1161

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0



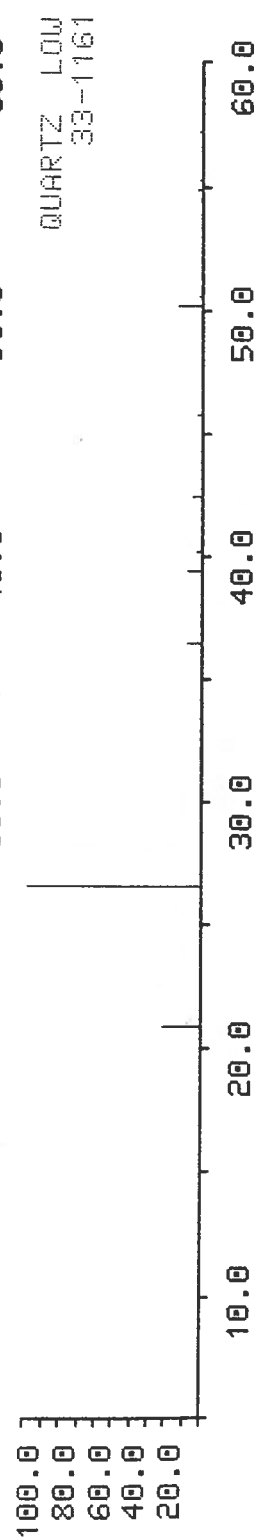
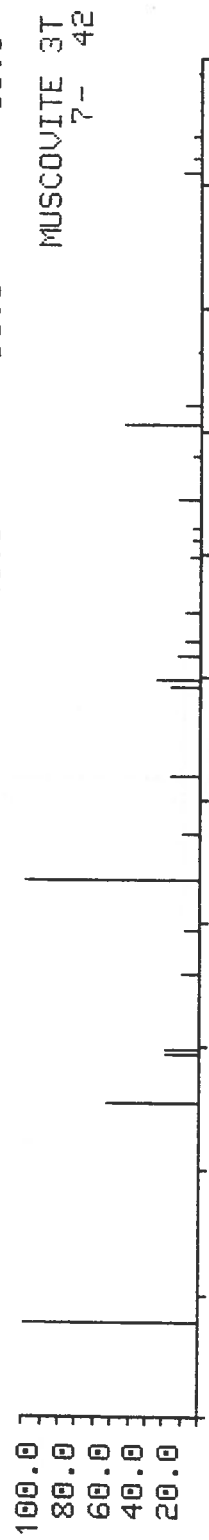
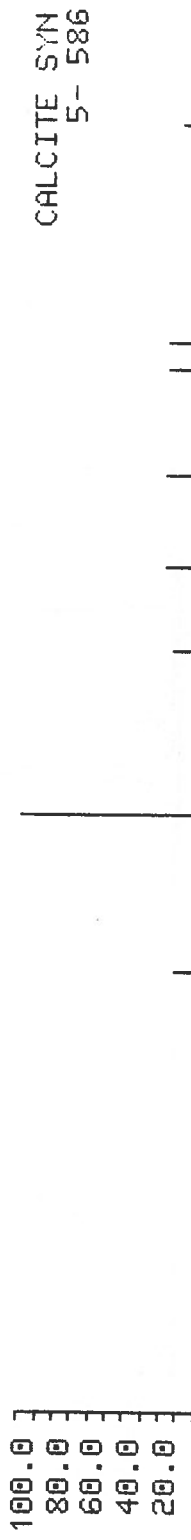
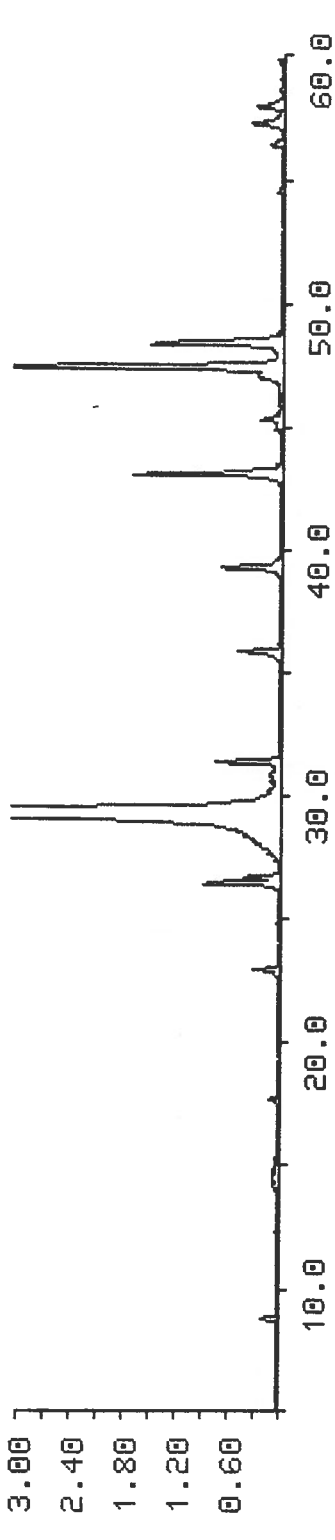
Sample: PR.1 TUNG T.HAAVIK File: 951527.RD 26-NOV-95 19:00

x10³



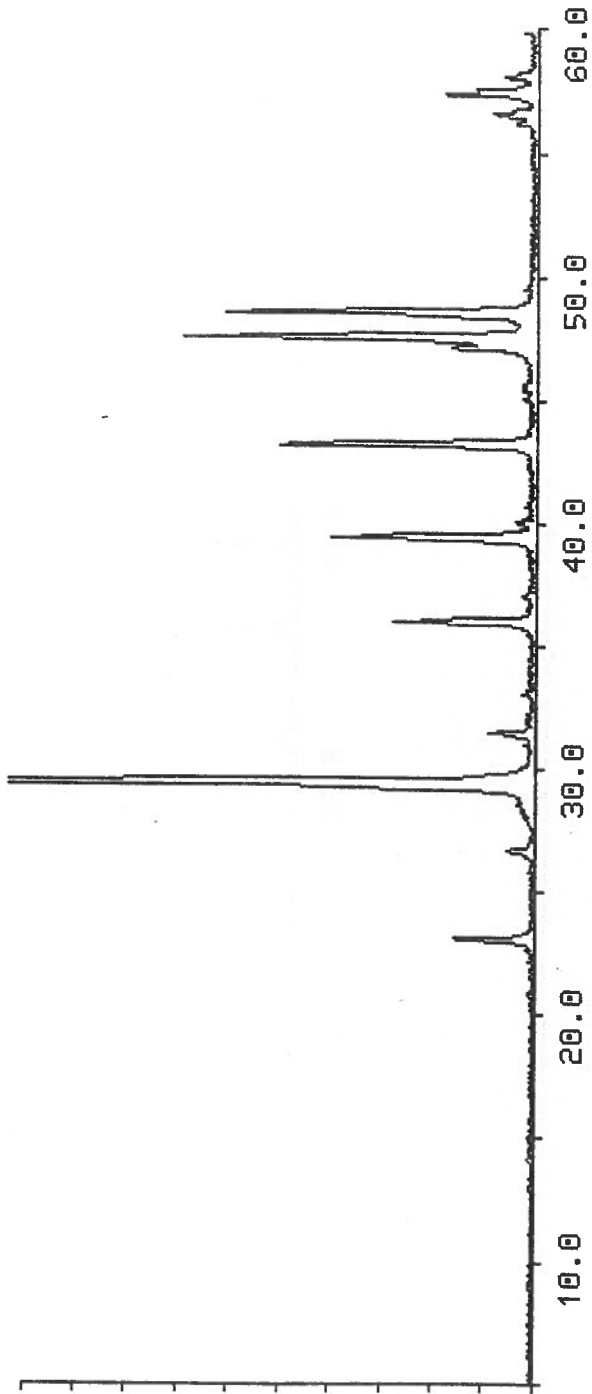
Sample: PR.2 LETT T. HAAVIK File: 951528.RD 28-NOV-95 15:05

x10³



Sample: PR.2 TUNG T.HAAVIK File: 951529.RD 28-NOV-95 15:09

x10³
3.00
2.70
2.40
2.10
1.80
1.50
1.20
0.90
0.60
0.30



CALCITE SYN
5- 586

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0



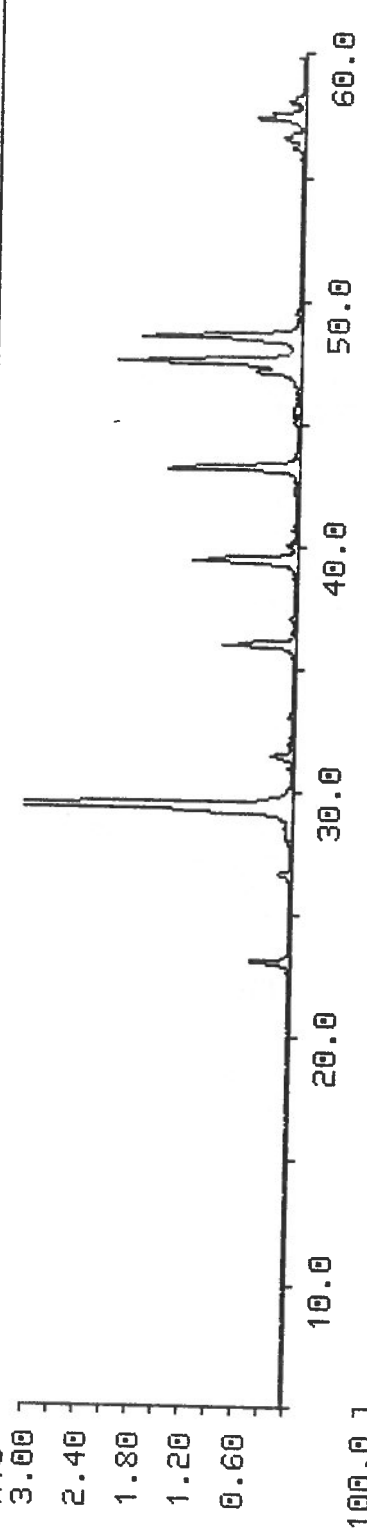
QUARTZ LOW
33-1161

100.0
80.0
60.0
40.0
20.0

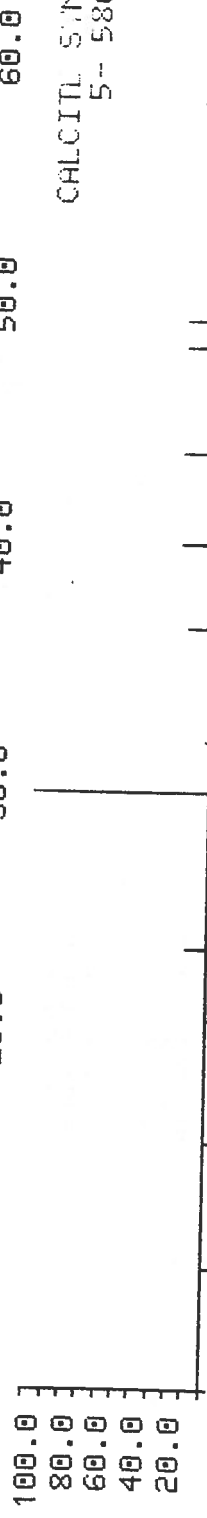


Sample: PR.2 TUNG T.HAAVIK File: 951529.RD 26-NOV-95 18:09

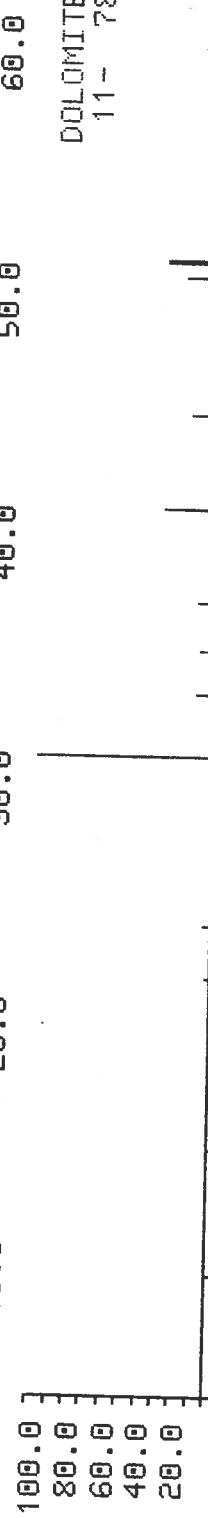
x10³



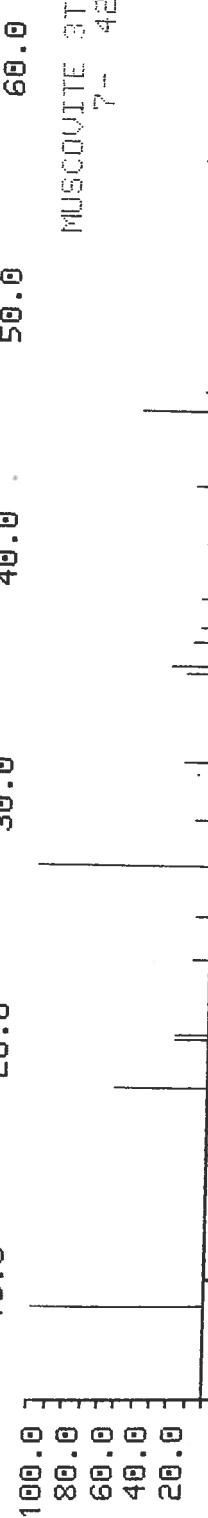
CALCITL SYN
5- 586



DOLOMITE
11- 78



MUSCOVITE 3T
7- 42



INSTITUTE FOR GEOLOGICAL RESEARCH, N.T.S. TRONDHIM

Listed DI file name : DU:951526.DI
 Original data file name : DU:951526.RD;00001
 Sample identification : Pr.1 lett 3.HAAUTK
 Measurement date/time : 19-SEP-85 11:06
 Generator settings : 40 kV, 20 mA
 Alpha, 2 wavelength : 1.54060, 1.54439 Ang
 Step size, sample time : 0.040 deg, 2.00 s, 0.020 deg/s
 Monochromator used : Yes
 Divergence slit : Automatic (Irradiated sample length: 12.5 mm)

Analysis program number : 3
 Peak angle range : 5.020 - 59.980 deg
 Range in D spacing : 1.54107 - 17.5892 Ang
 Peak position criterion : Top of smoothed data
 Cryst peak width range : 0.10 - 2.00 deg
 Minm peak significance : 0.60
 Number of peaks in file : 23 (Alpha: 23, Amorphous: 0)
 Maximum intensity : 42230. cts, 21115.1 cps

Peak No	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/Imax (%)	Type			Sign
							A1	A2	OT	
1	8.8400	0.12	234.	22.	9.9952	0.55	X	X		2.95
2	14.4775	0.96	24.	21.	6.1133	0.06	X	X		1.78
3	17.3450	0.12	20.	19.	5.1086	0.05	X	X		1.17
4	17.7600	0.12	185.	19.	4.9901	0.44	X	X		2.82
5	23.0400	0.12	312.	20.	3.8571	0.74	X	X		2.24
6	26.4850	0.12	199.	23.	3.3627	0.47	X	X		1.29
7	26.8000	0.12	433.	23.	3.3239	1.02	X	X		3.63
8	27.9425	0.16	132.	23.	3.1905	0.31	X	X		0.98
9	29.4200	0.16	42230.	23.	3.0336	100.00	X	X		69.18
10	30.9025	0.16	106.	23.	2.8913	0.25	X	X		1.15
11	31.4600	0.16	282.	23.	2.8413	0.67	X	X		3.89
12	32.9875	0.12	69.	23.	2.7212	0.16	X	X		1.10
13	35.9775	0.16	784.	23.	2.4943	1.86	X	X		7.08
14	39.4000	0.20	1037.	28.	2.2851	2.46	X	X		12.59
15	42.4875	0.12	85.	27.	2.1259	0.20	X	X		0.91
16	43.1600	0.20	1239.	28.	2.0943	2.93	X	X		15.14
17	45.4400	0.20	154.	32.	1.9944	0.36	X	X		3.16
18	47.0975	0.16	328.	31.	1.9280	0.78	X	X		2.00
19	47.5300	0.24	2043.	31.	1.9115	4.84	X	X		23.99
20	48.5550	0.24	1332.	30.	1.8735	3.15	X	X		14.79
21	56.5550	0.12	144.	25.	1.6260	0.34	X	X		1.10
22	57.4175	0.20	420.	22.	1.6036	1.00	X	X		4.57
23	58.1050	0.16	159.	22.	1.5862	0.38	X	X		2.69

INSTITUTE FOR GEOLOGY OF BERSTYNNIKY N.T.U. TORONTO

Listed DI file name : DU:951527.DI
 Original data file name : DU:951527.RD;00001
 Sample identification : PR.1 TUNG T. HAAVUK
 Measurement date/time : 19-SEP-95 11:45
 Generator settings : 40 kV, 20 mA
 1) Alpha, 2) Wavelengths : 1.54060, 1.54439 Ang
 Step size, sample time : 0.040 deg, 2.00 s, 0.020 deg/s
 Monochromator used : Yes
 Divergence slit : Automatic (Irradiated sample length: 13.5 mm)

Analysis program number : 3
 Peak angle range : 5.020 - 59.990 deg
 Range in D spacing : 1.54107 - 17.5893 Ang
 Peak position criterion : Top of smoothed data
 Cryst peak width range : 0.10 - 2.00 deg
 Minis peak significance : 0.60
 Number of peaks in file : 24 (Alpha: 23, Amorphous: 0)
 Maximum intensity : 9281. cts, 4140.5 cps

Peak no	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/Imax (%)	Type	Sign
							A1 A2 0t	
1	9.8225	0.16	156.	16.	10.0150	1.89	X X	3.80
2	14.7325	0.96	10.	19.	6.0080	0.12	X X	1.10
3	17.8125	0.16	26.	18.	4.9755	0.31	X X	0.89
4	20.7425	0.24	12.	18.	4.2788	0.14	X X	0.78
5	23.1050	0.16	433.	18.	3.8464	5.22	X X	5.37
6	25.9325	0.12	37.	19.	3.4331	0.45	X X	0.74
7	26.4750	0.16	112.	21.	3.3639	1.36	X X	1.74
8	26.8925	0.12	62.	21.	3.3126	0.75	X X	1.32
9	27.9450	0.16	38.	24.	3.1902	0.46	X X	0.74
10	29.5000	0.16	8281.	30.	3.0255	100.00	X X	25.70
11	31.5425	0.16	256.	36.	2.8341	3.09	X X	4.37
12	36.0600	0.16	552.	23.	2.4887	6.67	X X	5.15
13	38.9150	0.16	144.	23.	2.3125	1.74	X X	3.31
14	39.5175	0.20	980.	24.	2.2786	11.83	X X	12.30
15	43.2525	0.24	918.	26.	2.0901	11.09	X X	17.38
16	45.5225	0.24	35.	31.	1.9906	0.42	X X	0.60
17	47.2000	0.12	299.	31.	1.9241	3.61	X X	0.81
18	47.6050	0.24	2162.	31.	1.9075	26.11	X X	20.89
19	48.6200	0.20	1260.	21.	1.8708	15.22	X X	10.72
20	52.2450	0.40	10.	34.	1.7495	0.12	X X	0.60
21	56.6550	0.16	161.	25.	1.6234	1.95	X X	2.09
22	57.4875	0.16	445.	25.	1.6018	5.38	X	3.31
23	57.6525	0.12	225.	26.	1.6015	2.72	X	0.78
24	58.2125	0.16	106.	26.	1.5836	1.28	X X	1.58

INSTITUTE FOR GEOLOGI OG BERGTEKNIKK N.Y.L. TRONDHEM

Listed PE file name : DU:951522.D1
 Original data file name : DU:951522.XD;00001
 Sample identification : PR.2 LETT T. HAAVIK
 Measurement date/time : 19-SEP-95 12:24
 Generator settings : 40 kV, 20 mA
 Cu Alpha, λ wavelengths : 1.54060, 1.54439 Ang
 Step size, sample time : 0.040 deg, 2.00 s, 0.020 sec/s
 Monochromator used : Yes
 Divergence slit : Automatic (Irradiated sample length: 12.5 mm)

Analysis program number : 3
 Peak angle range : 5.020 - 59.980 deg
 Range in θ spacing : 1.54107 - 17.5893 Ang
 Peak position criterion : Top of smoothed data
 Cryst peak width range : 0.10 - 2.00 deg
 Minia peak significance : 0.60
 Number of peaks in file : 23 (Alpha: 23, Amorphous: 0)
 Maximum intensity : 80316. cts, 40157.8 cps

Peak no	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/Imax (%)	Type			Sign
							A1	A2	A3	
1	5.9025	1.28	10.	25.	14.9613	0.01	X	X		0.63
2	8.7600	0.12	164.	25.	10.0863	0.20	X	X		2.24
3	12.3325	0.12	23.	22.	7.1713	0.03	X	X		0.65
4	14.4825	1.12	50.	21.	6.1112	0.06	X	X		6.46
5	16.6775	0.20	10.	26.	5.3115	0.01	X	X		0.71
6	17.6950	0.16	85.	25.	5.0083	0.11	X	X		2.63
7	22.9800	0.16	253.	24.	3.8670	0.31	X	X		4.57
8	24.8000	0.32	10.	27.	3.5872	0.01	X	X		0.71
9	26.4825	0.12	745.	26.	3.3630	0.93	X	X		4.47
10	29.3650	0.20	80316.	41.	3.0391	100.00	X	X		162.18
11	30.8100	0.24	77.	36.	2.8998	0.10	X	X		0.91
12	31.3775	0.16	605.	35.	2.8486	0.75	X	X		6.61
13	35.9025	0.16	449.	25.	2.4993	0.56	X	X		5.13
14	39.3400	0.16	630.	25.	2.2885	0.79	X	X		6.17
15	43.1400	0.16	1332.	27.	2.0953	1.66	X	X		8.71
16	45.3400	0.16	228.	32.	1.9986	0.28	X	X		2.82
17	47.0300	0.12	210.	31.	1.9306	0.26	X	X		2.34
18	47.4775	0.24	3364.	31.	1.9135	4.19	X	X		32.36
19	48.4750	0.24	1325.	31.	1.8764	1.65	X	X		15.85
20	54.6150	0.20	42.	22.	1.6791	0.05	X	X		1.66
21	56.4850	0.16	123.	24.	1.6278	0.15	X	X		1.91
22	57.3300	0.16	331.	26.	1.6053	0.41	X	X		3.47
23	58.0350	0.12	262.	27.	1.5880	0.33	X	X		1.74

INSTITUTE FOR GEOLOGI OG PERBETTELING V. T.M. IRON

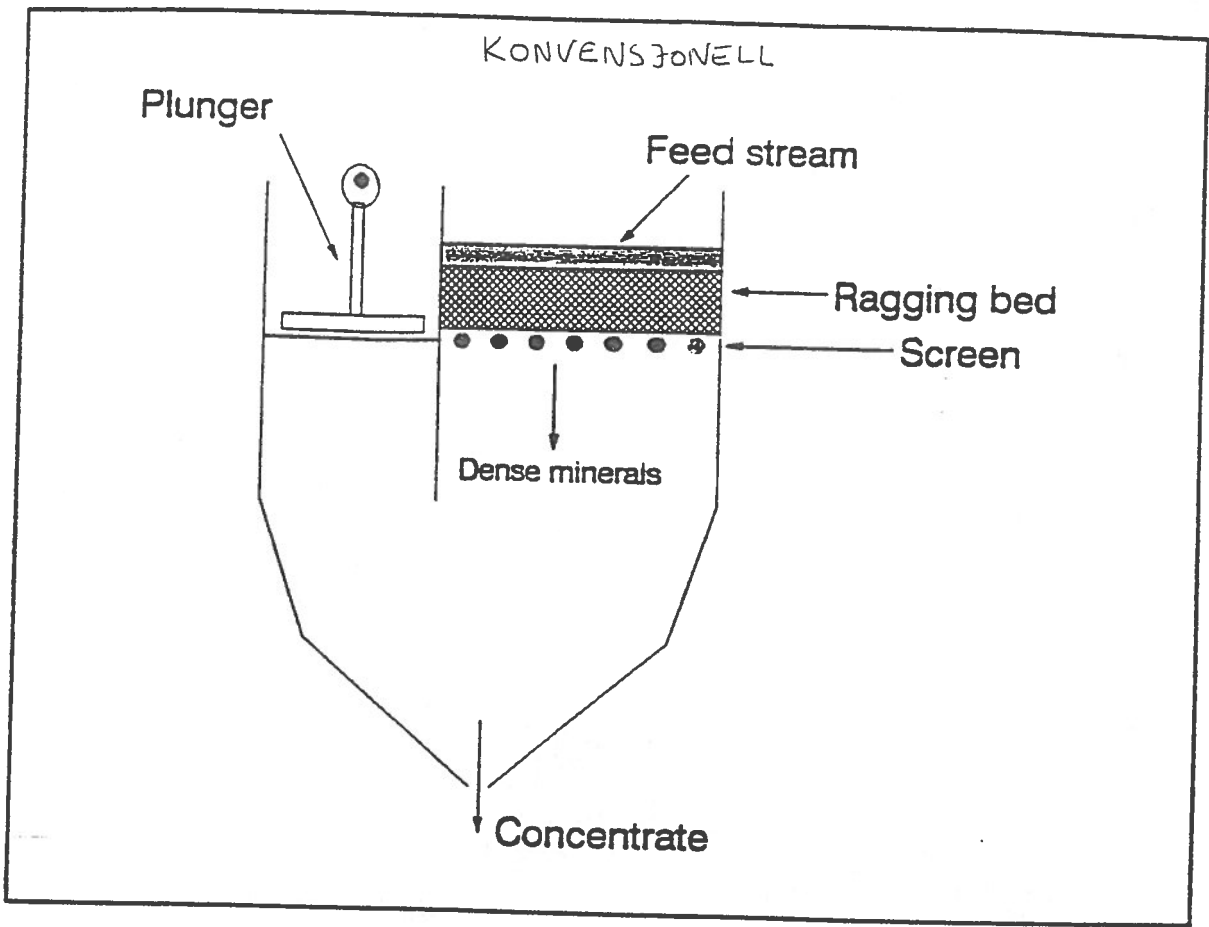
Listed file name : DU:951529.BI
 Original data file name : DU:951529.XD;00001
 Sample identification : PR.2 TUNG T.HAAVIK
 Measurement date/time : 19-SEP-95 13:03
 Generator settings : 40 kV, 20 mA
 Cu alpha,1,2 wavelengths : 1.54060, 1.54439 Ang
 Step size, sample time : 0.040 deg, 2.00 s, 0.070 deg/s
 Monochromator used : Yes
 Divergence slit : Automatic (Irradiated sample length: 12.5 mm)

Analysis program number : 3
 Peak angle range : 5.020 - 59.980 deg
 Range in D spacing : 1.54107 - 17.5893 Ang
 Peak position criterion : Top of smoothed data
 Cryst peak width range : 0.10 - 2.00 deg
 Minm peak significance : 0.60
 Number of peaks in file : 25 (Alpha: 25, Amorphous: 0)
 Maximum intensity : 9841. cts, 4920.3 cps

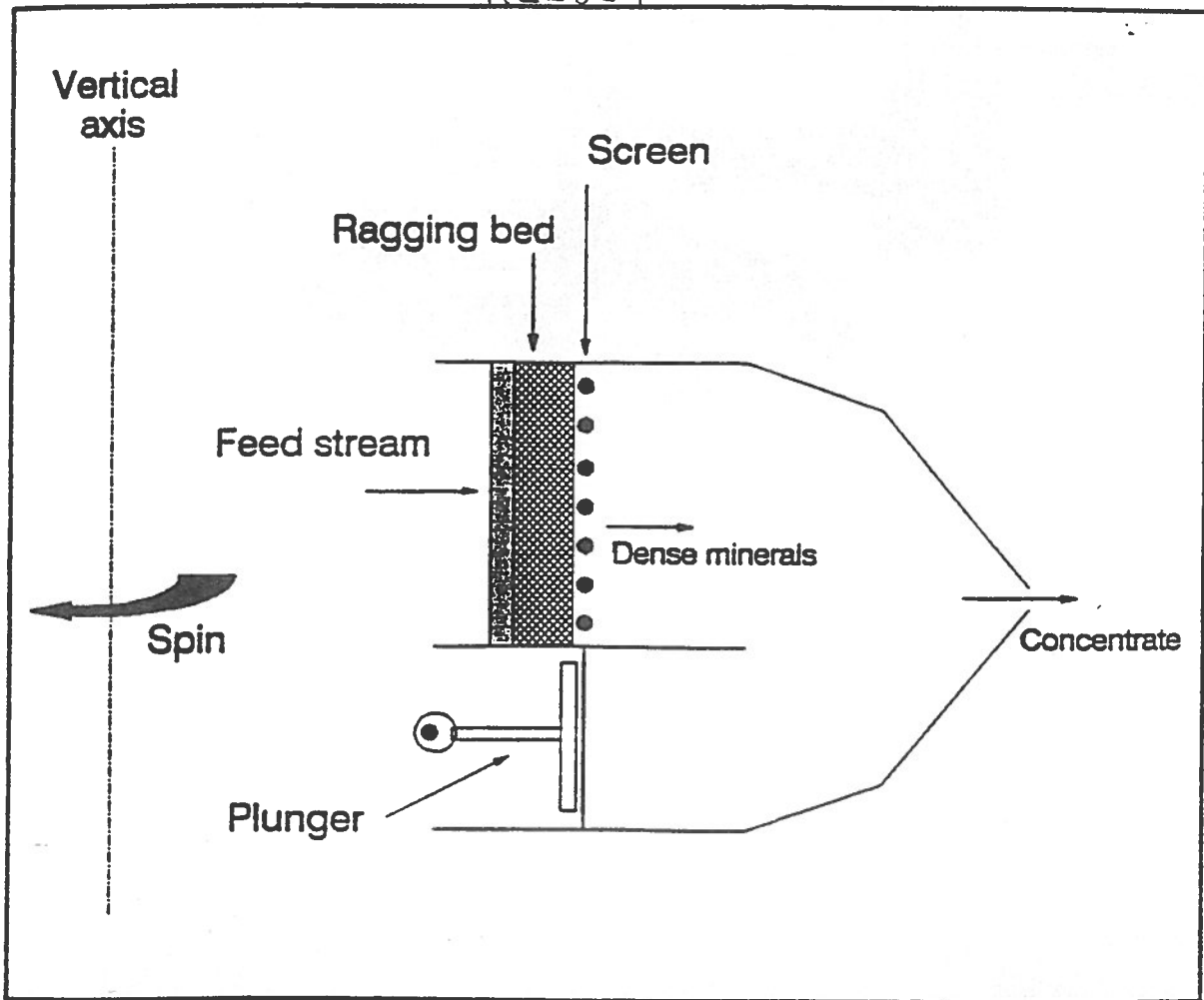
Peak no	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/I _{max} (%)	Type			Sign
							A1	A2	St	
1	14.5425	1.29	10.	18.	6.0861	0.10	X	X	0.81	
2	23.1200	0.12	404.	20.	3.8439	4.11	X	X	2.24	
3	25.8750	0.24	14.	21.	3.4406	0.14	X	X	0.76	
4	26.6500	0.16	132.	22.	3.3422	1.34	X	X	1.58	
5	29.4650	0.16	9841.	24.	3.0290	100.00	X	X	26.30	
6	31.5075	0.16	231.	34.	2.8372	2.35	X	X	3.39	
7	31.9975	0.16	26.	36.	2.7948	0.26	X	X	0.65	
8	32.2775	0.12	16.	36.	2.7712	0.16	X	X	1.32	
9	33.1200	0.20	40.	34.	2.7026	0.40	X	X	2.14	
10	36.0375	0.20	751.	29.	2.4902	7.63	X	X	11.48	
11	37.0800	0.12	49.	28.	2.4226	0.50	X	X	1.51	
12	39.4825	0.20	1136.	27.	2.2805	11.54	X	X	12.59	
13	40.0875	0.16	79.	28.	2.2475	0.80	X	X	1.55	
14	40.7725	0.12	32.	28.	2.2113	0.33	X	X	1.00	
15	43.2675	0.20	1318.	31.	2.0894	13.39	X	X	12.30	
16	45.1275	0.12	48.	31.	2.0075	0.48	X	X	1.32	
17	45.6050	0.24	49.	31.	1.9876	0.50	X	X	1.12	
18	47.1625	0.12	437.	31.	1.9355	4.44	X	X	1.29	
19	47.6025	0.24	1910.	31.	1.9087	19.41	X	X	21.88	
20	48.5950	0.24	1656.	31.	1.8720	16.33	X	X	19.95	
21	49.5950	0.12	35.	30.	1.8366	0.35	X	X	0.69	
22	56.2725	0.12	86.	26.	1.6335	0.88	X	X	0.76	
23	56.6500	0.16	204.	26.	1.6235	2.08	X	X	2.04	
24	57.4500	0.16	511.	26.	1.6028	5.19	X	X	4.07	
25	58.1750	0.16	146.	27.	1.5845	1.49	X	X	1.95	

Vedlegg 6: Prinsippskisser av konvensjonell jig og Kelsey-jig

KONVENSTONELL



KELSEY



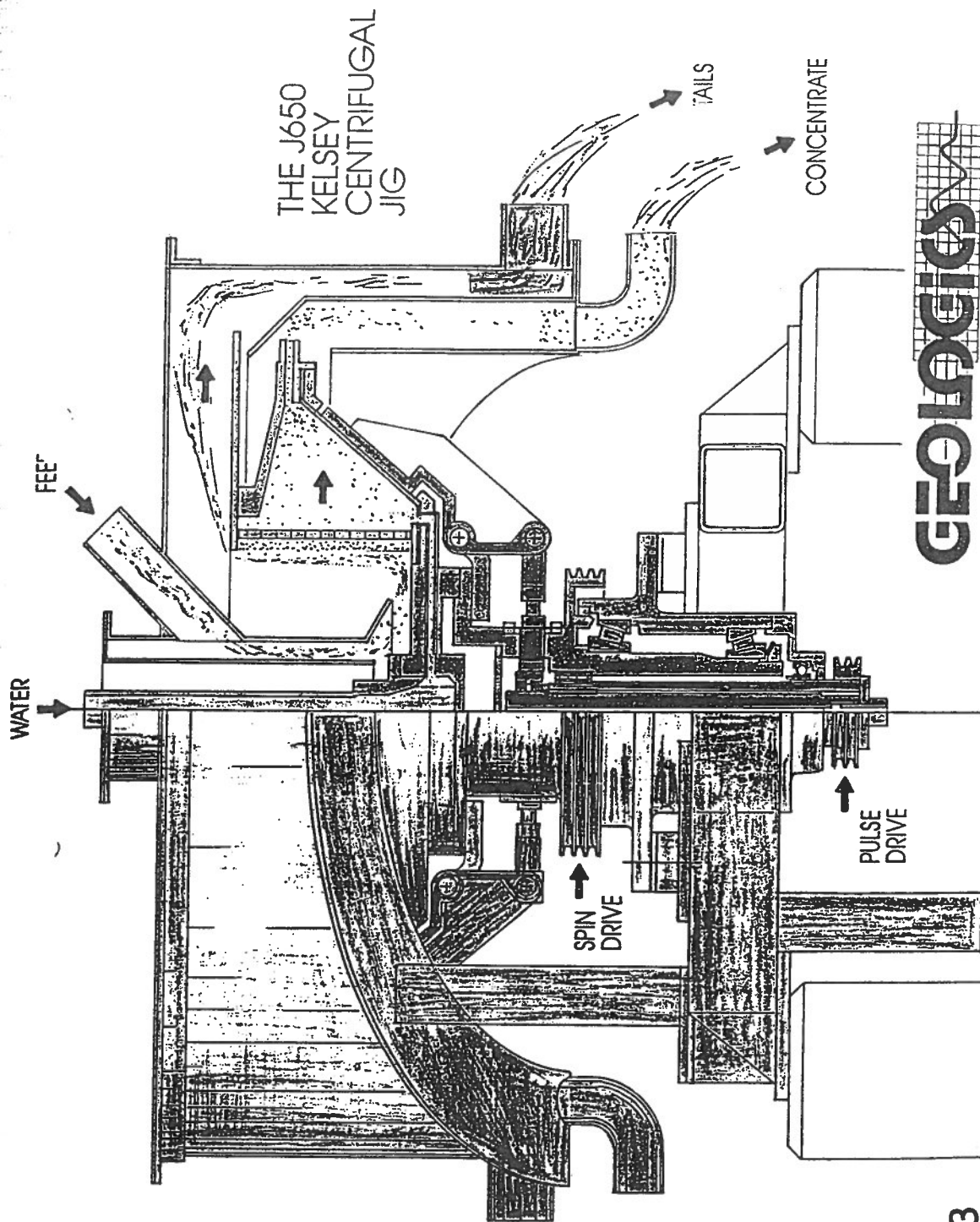
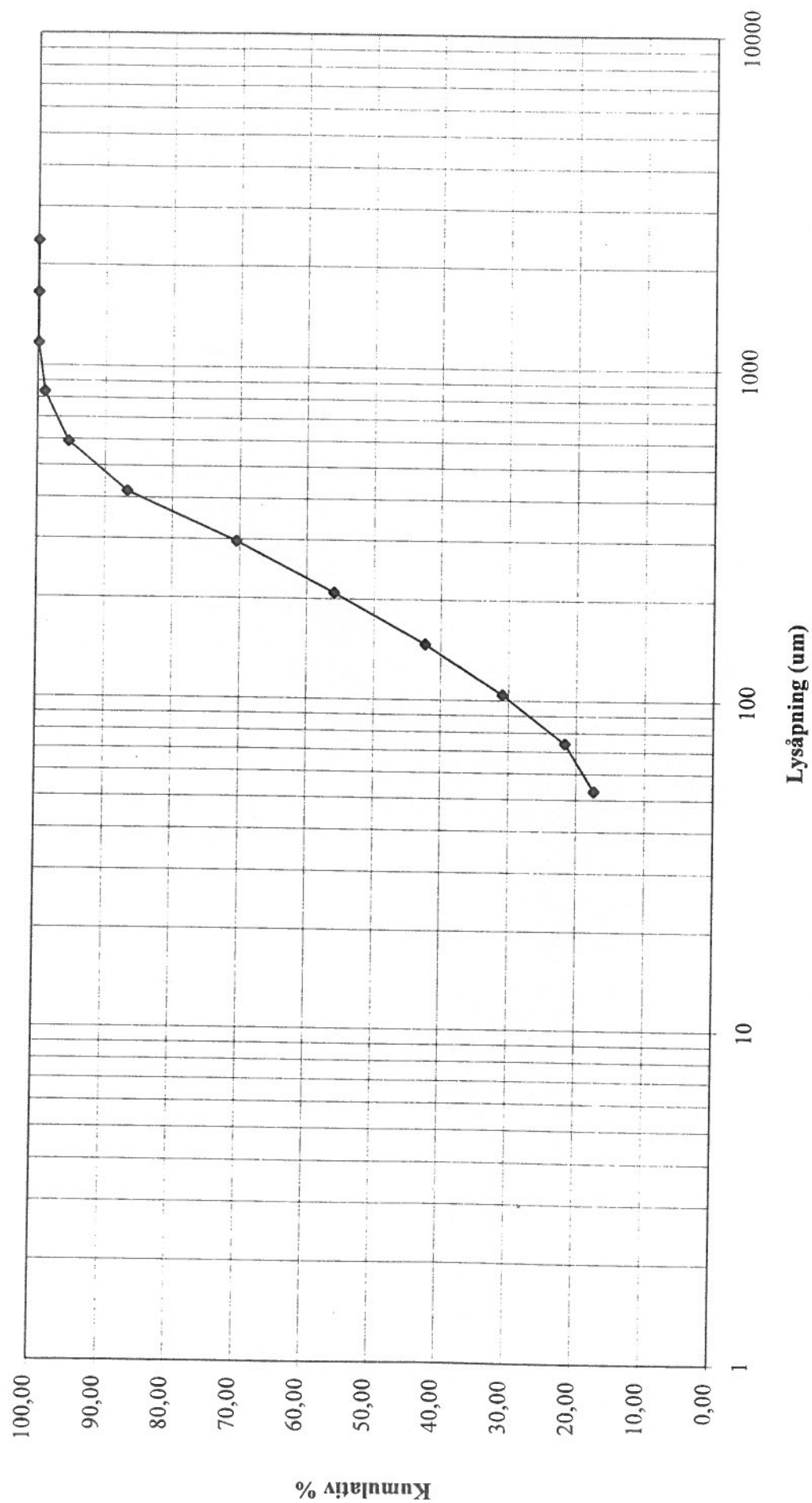


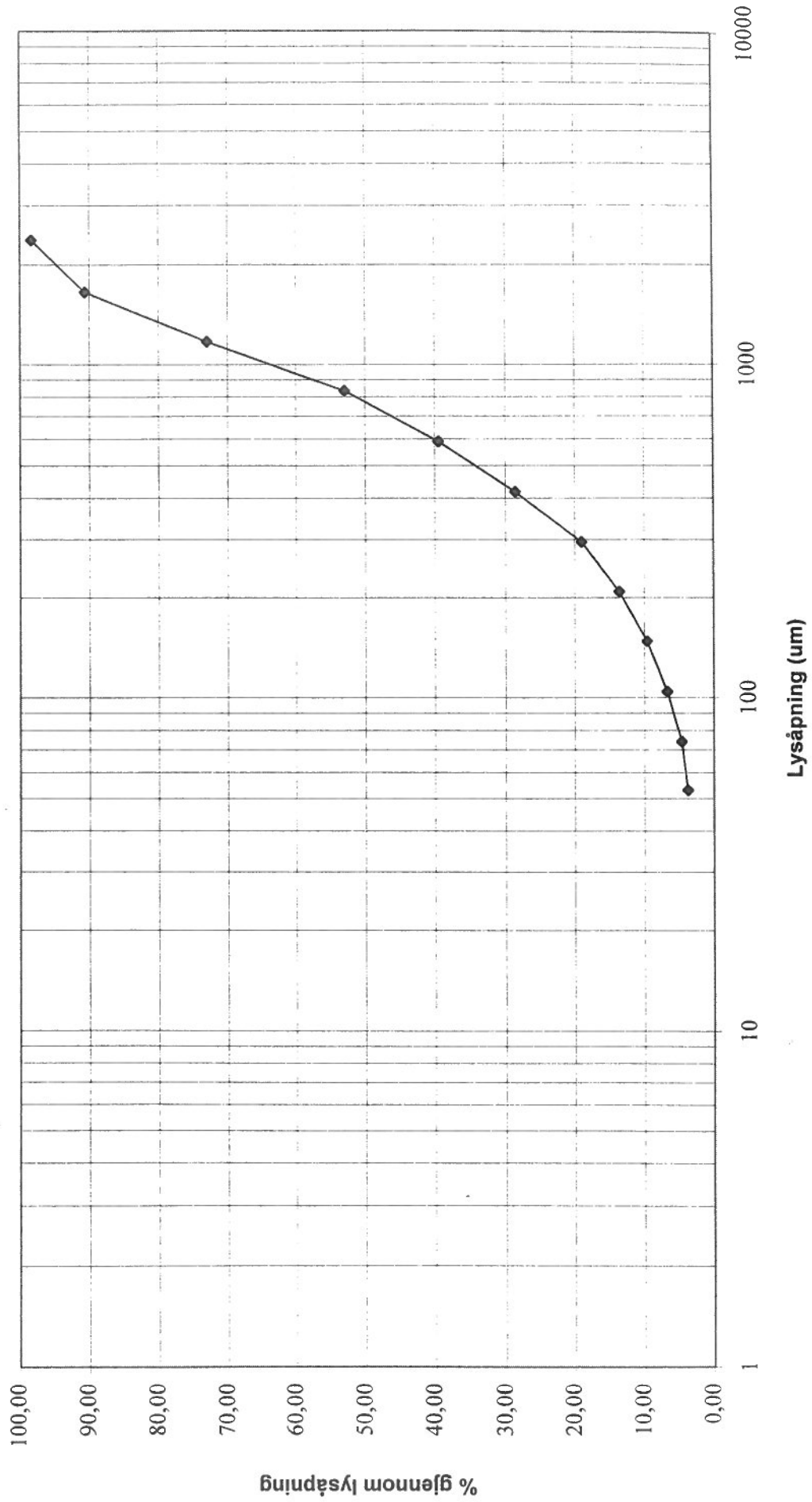
Fig. 3

Vedlegg 7: Siktekurver

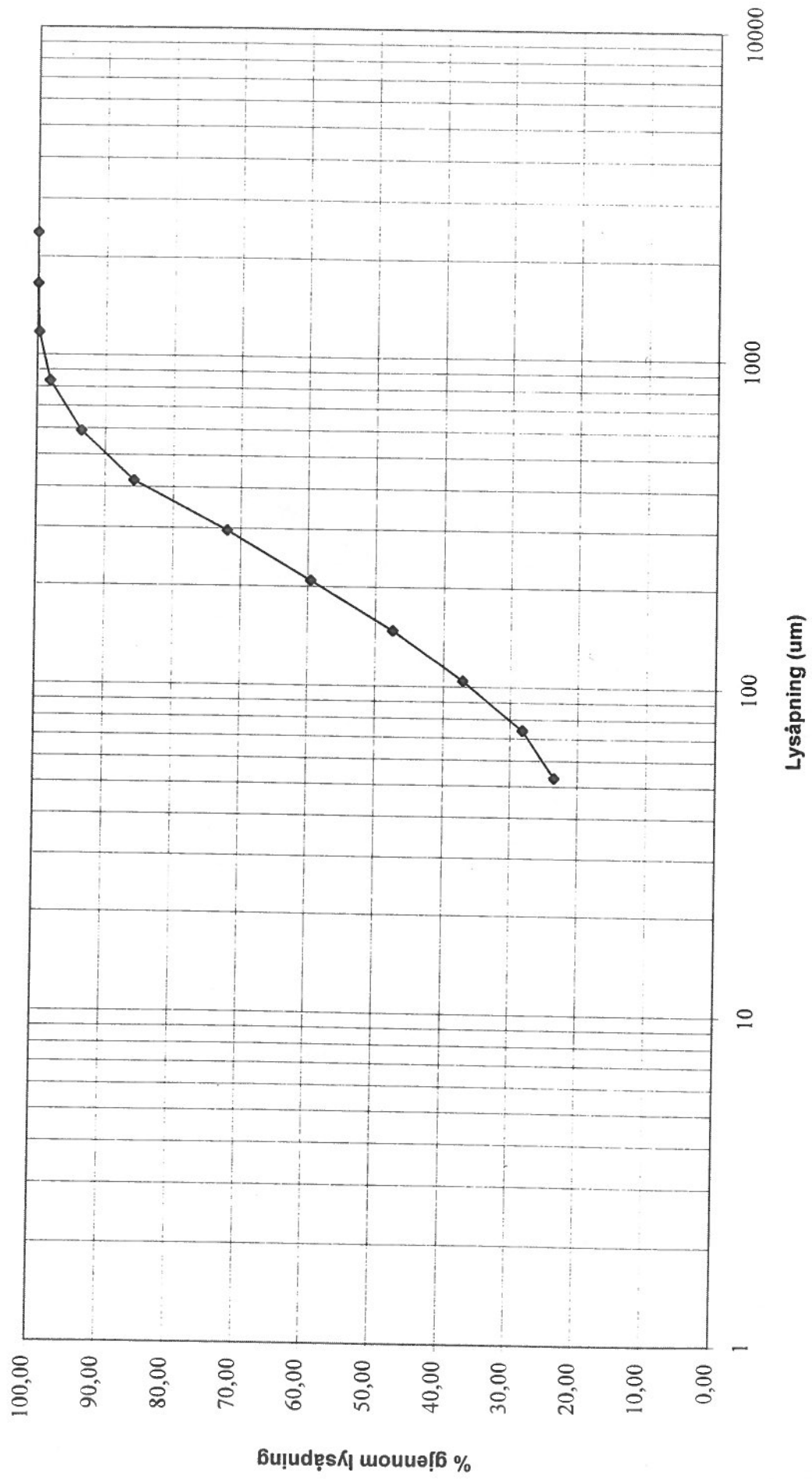
Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 1, prøve 1



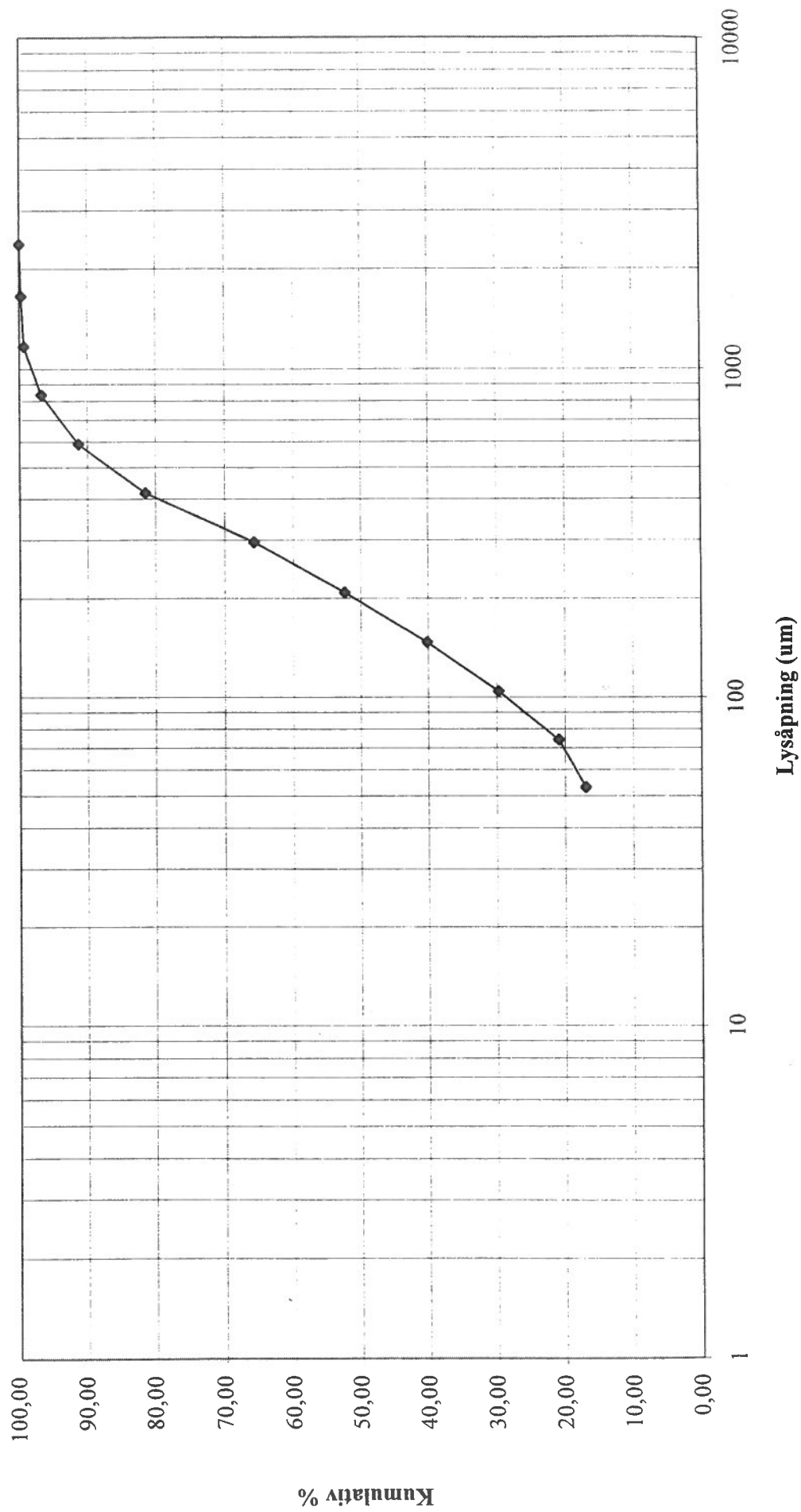
Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 2, prøve 1



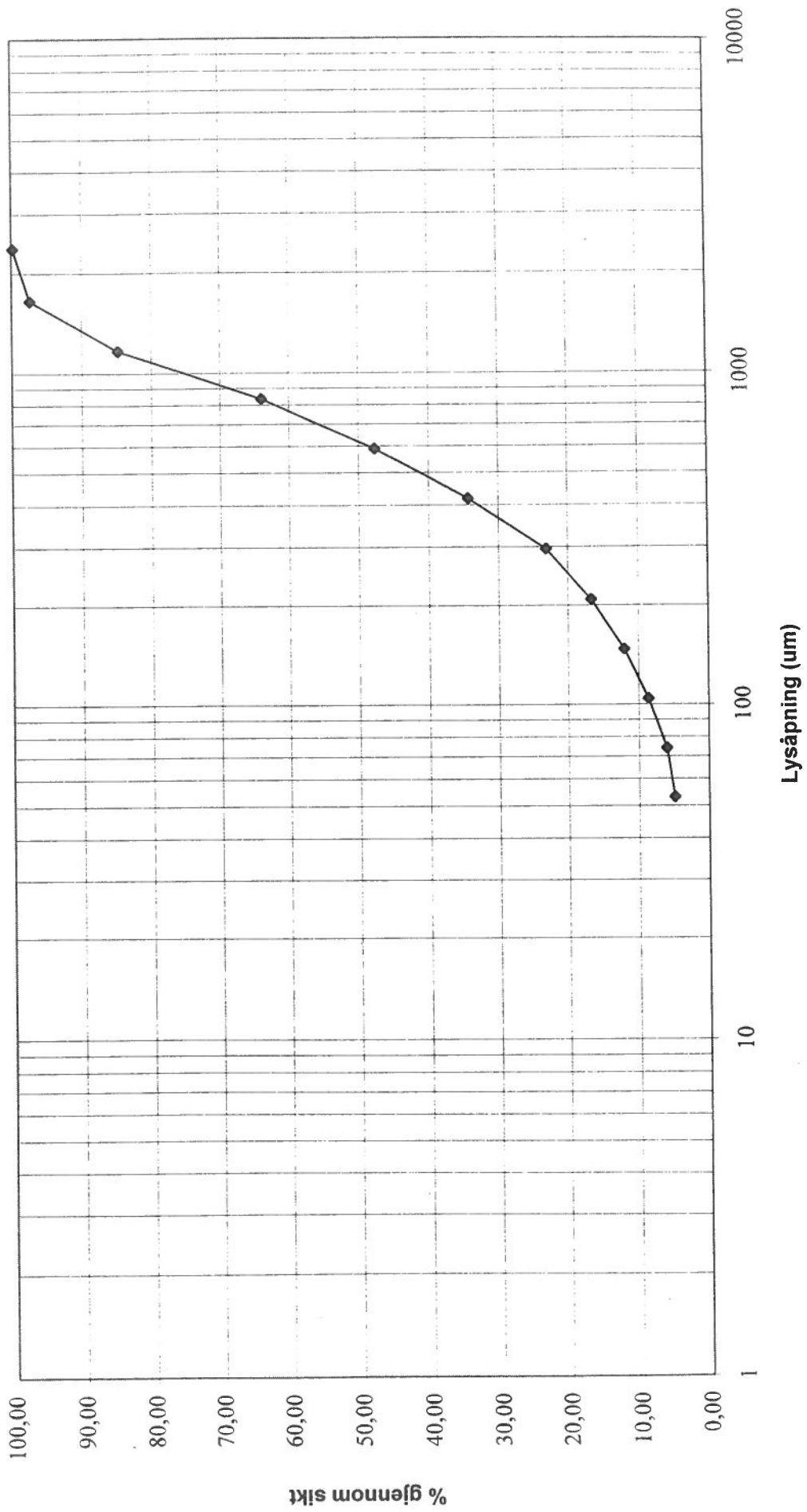
Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 3, prøve 1



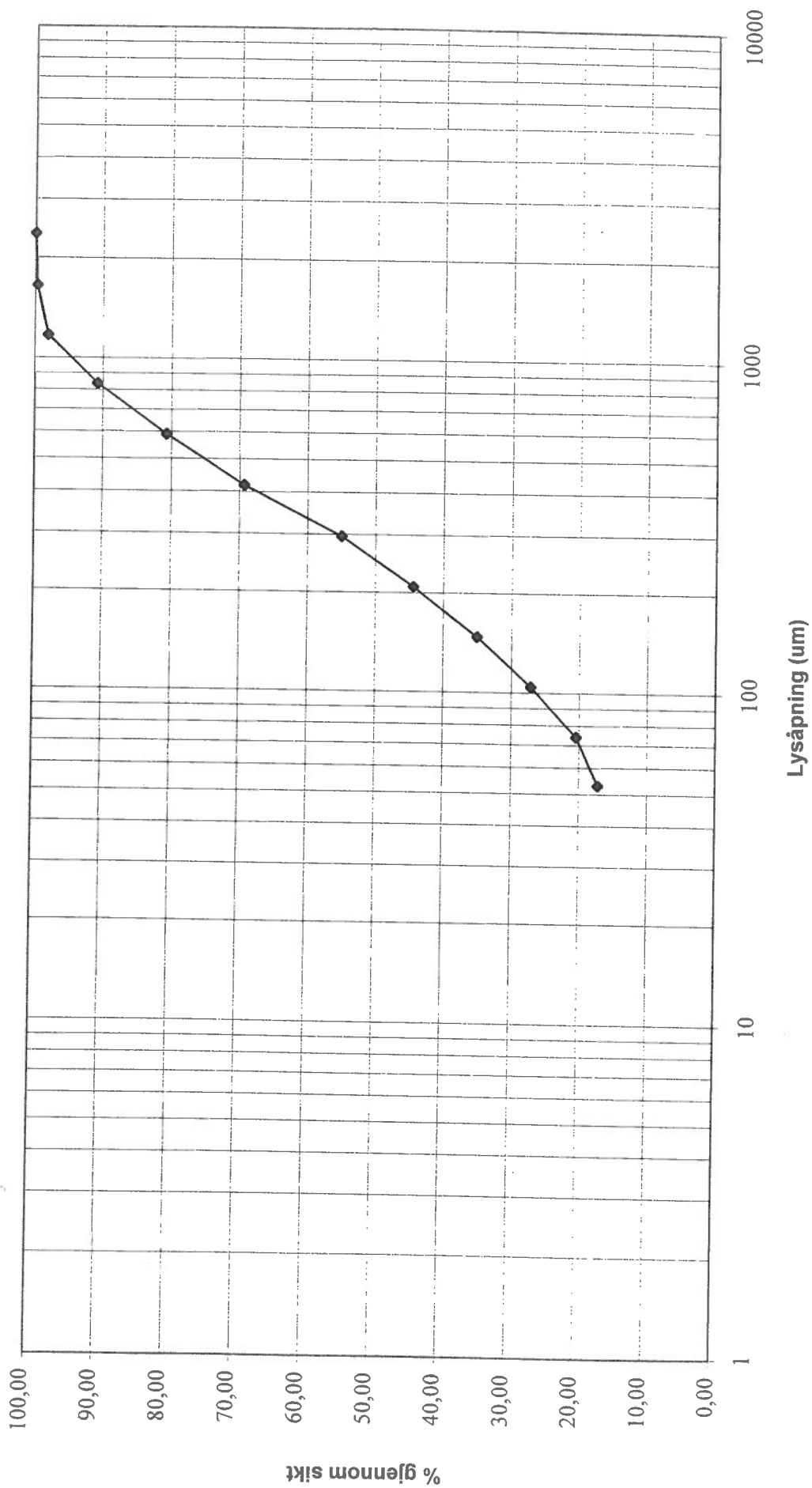
Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 1, prøve 2



Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 2, prøve 1



Kornstørrelsesfordeling etter malemetode 3, prøve 2



Malemetode 2, prøve 1

Lysåpning (um)	Masse (g) på sikt	Kum masse (g) gjennom sikt	Kum % gjennom sikt
0	25,45	0,00	0,00
53	6,01	25,45	3,71
74	14,19	31,46	4,59
104	19,98	45,65	6,65
147	27,35	65,63	9,56
208	37,55	92,98	13,55
295	65,59	130,53	19,02
417	74,67	196,12	28,58
589	92,36	270,79	39,47
833	137,49	363,15	52,93
1168	121,09	500,64	72,96
1651	52,82	621,73	90,61
2362	11,60	674,55	98,31

Malemetode 2, prøve 2

Lysåpning (um)	Masse (g) på sikt	Kum masse (g) gjennom sikt	Kum % gjennom sikt
0	30,55	0,00	0,00
53	6,70	30,55	4,94
74	16,10	37,25	6,03
104	20,80	53,35	8,63
147	28,90	74,15	12,00
208	39,60	103,05	16,68
295	69,20	142,65	23,09
417	82,90	211,85	34,29
589	100,60	294,75	47,70
833	128,40	395,35	63,99
1168	77,80	523,75	84,77
1651	15,00	601,55	97,36
2362	1,31	616,55	99,79

Malemetode 3, prøve 1

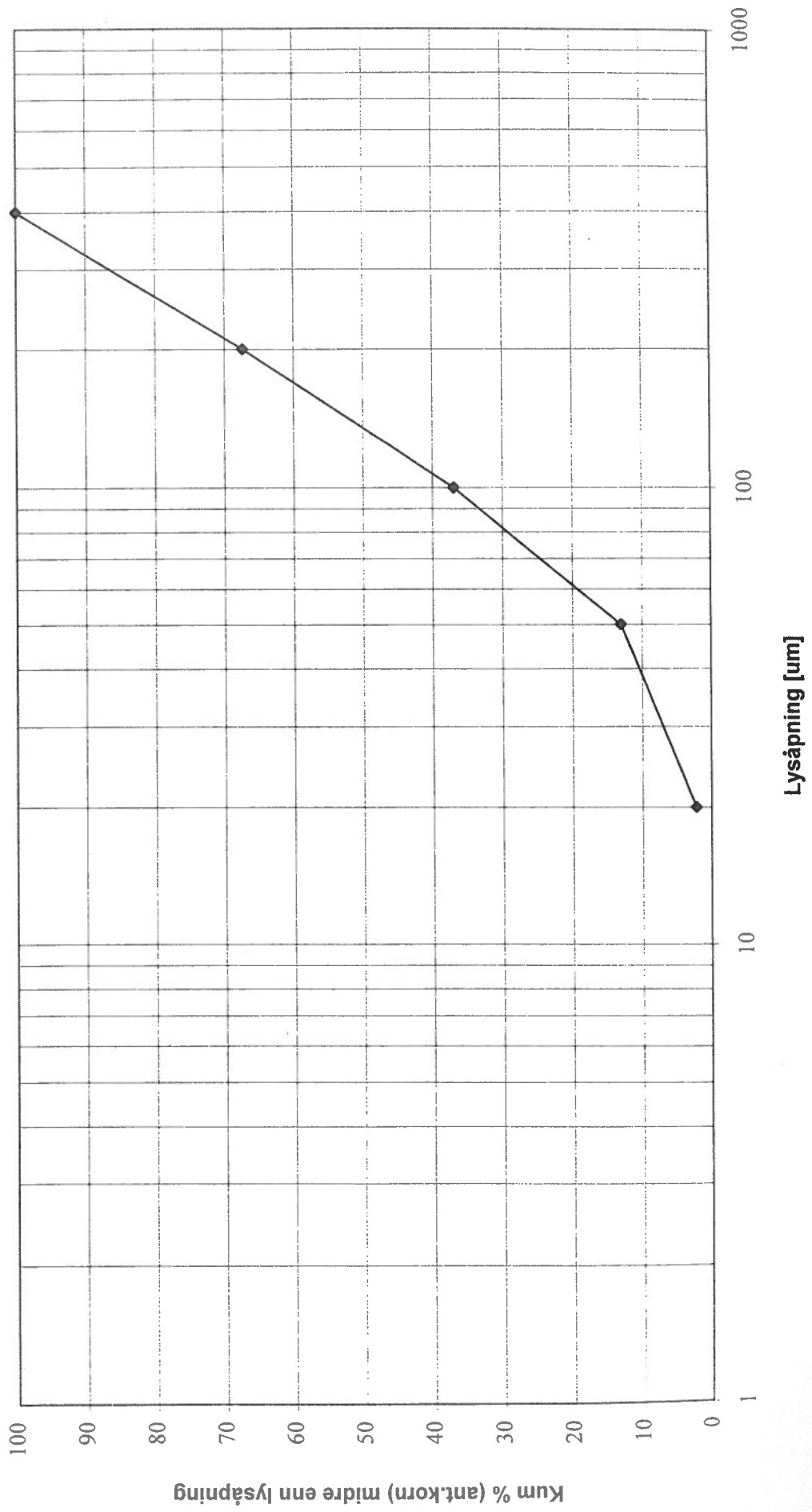
Lysåpning (um)	Masse (g) på sikt	Kum masse (g) gjennom sikt	Kum % gjennom sikt
0	82,58	0,00	0,00
53	16,68	82,58	23,43
74	31,46	99,26	28,16
104	36,45	130,72	37,09
147	42,73	167,17	47,43
208	43,85	209,90	59,55
295	48,47	253,75	71,99
417	27,23	302,22	85,75
589	16,16	329,45	93,47
833	5,86	345,61	98,06
1168	0,79	351,47	99,72
1651	0,20	352,26	99,94
2362	0,00	352,46	100,00

Malemetode 3, prøve 2

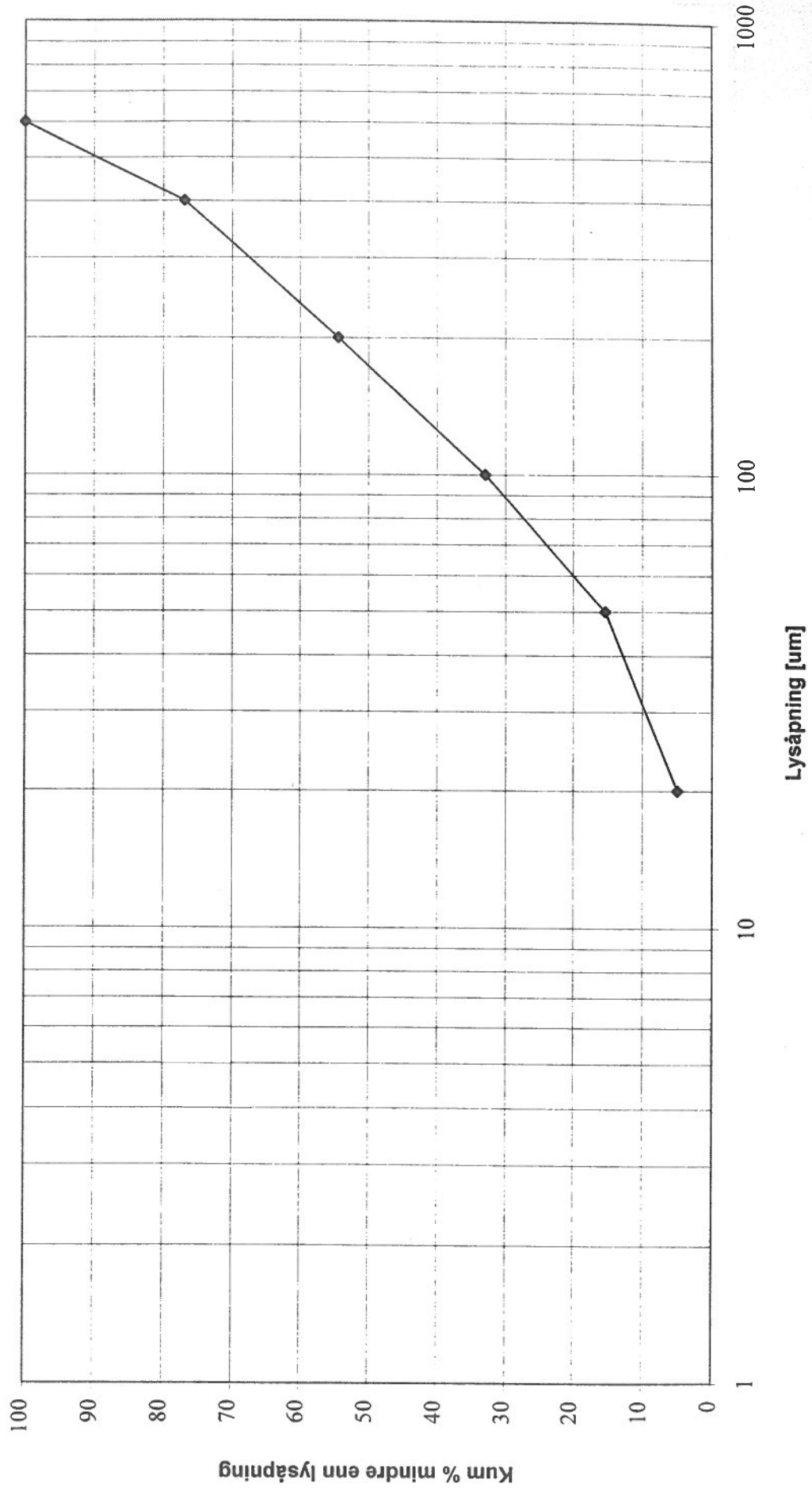
Lysåpning (um)	Masse (g) på sikt	Kum masse (g) gjennom sikt	Kum % gjennom sikt
0	59,75	0,00	0,00
53	11,19	59,75	17,22
74	23,10	70,94	20,44
104	27,48	94,04	27,10
147	32,70	121,52	35,01
208	36,52	154,22	44,44
295	49,85	190,74	54,96
417	39,28	240,59	69,32
589	35,16	279,87	80,64
833	25,17	315,03	90,77
1168	5,70	340,20	98,02
1651	0,98	345,90	99,67
2362	0,18	346,88	99,95

Vedlegg 8: Kornstørrelsesfordeling for pyritt på grunnlag av bildeanalyse

Kornstørrelsesfordeling for pyritt etter bildeanalyse, prøve 1



Kornstørrelsesfordeling for pyritt etter bildeanalyse, prøve 2



Tallmateriale fra bildeanalyse.					
Prøve 1 a		Prøve 2			
[%]	[um]	[%]	[um]		
1,08	150	0,02	20	0,18	50
0,02	25	0,04	30	6,67	260
0,20	60	0,06	30	0,50	100
0,13	50	0,09	30	0,02	10
0,14	50	0,26	2x30	0,11	10
1,07	180	0,03	20	0,52	60
2,00	150	0,03	3x10	31,76	560
0,04	25	0,32	70	1,84	120
0,02	20	0,12	40	1,83	110
0,23	75	0,04	30	2,21	40, 50, 70
12,63	370	0,08	50	0,07	30
0,23	50	0,02	10	0,03	2x10
0,59	85	0,16	60	0,02	20
0,06	25	0,05	2x20	0,12	15
0,01	12,5	0,27	50	0,23	50
		0,99	2x50, 1x100	0,20	50
		0,30	70	1,04	100
		0,00	10	0,09	40
		0,29	50, 15	1,37	120
		0,04	20	16,23	450
		0,15	40	4,05	250
		0,08	2x10	10,80	350
		1,12	100	16,19	400
		0,25	60	0,58	70
		0,30	60	13,80	350
		0,18	10, 20, 30	0,49	60
		0,36	50	1,06	100
		0,45	70	0,17	50
		0,09	30	1,06	100
		0,10	40	0,55	100
		1,39	100	0,05	10
		0,56	75	0,08	20
		0,02	10	1,12	100
		0,33	80	0,56	60
		0,31	50		
		2,14	150		
		0,03	10		
		3,90	230		
		2,00	110		
		0,03	15		

Venstre kolonne viser hvor stor del pyrittkornet opptar av det totale skjermbildet
Høyre kolonne viser kornets diameter

