



Bergvesenet rapport nr 5164	Intern Journal nr 	Internt arkiv nr 	Rapport lokalisering 	Gradering
Kommer fra ..arkiv Elkem AS	Ekstern rapport nr 	Oversendt fra Elkem AS	Fortrolig pga 	Fortrolig fra dato:

Tittel

Fen-prosjektet sluttrapport , Fase , 30.0683 - 01.04.85

Forfatter

Braaten, Orvar

Dato År

24.04 1985

Bedrift (Oppdragsgiver og/eller oppdragstaker)

A/S Megon & co

Kommune

Nome

Fylke

Telemark

Bergdistrikt**1: 50 000 kartblad**

17134

1: 250 000 kartblad

Skien

Fagområde

Geologi
Produktundersøkelse
Analyser
Marked

Dokument type**Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt)**

Fen Grube
Fensfeltet

Råstoffgruppe

Malm/metall

Råstofftype

Sjeldne jordarter

Sammendrag, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse

Gir geologisk beskrivelse av Gruveåsen i Fensfeltet og av råstoffet. Videre beskrives forsøkene med flere anrikningsmetoder, samt markedsundersøkelser og beskrivelse av indre og ytre miljøvern dersom drift blir satt i gang.

Rapporten konkluderer med : " Fen-prosjektet byr på en enestående mulighet til å drive lønnsomt allerede i pilotfasen. I begrenset skala kan man prøve ut både markedets reaksjoner, produksjonstekniske varianter, moduler, miljøvern, mulige anvendelser av residuet etc. Alternativet 1000 t rødberg pr. år kan underkastes en mer inngående økonomisk analyse med utgangspunkt i en konkret lokalisering.

Dersom pilotanlegget blir lagt til igangværende metallurgisk virksomhet, kan det komme raskt i gang og dra nytte av eksisterende bygninger, service og kompetanse."

FEN-PROSJEKTET

SLUTTRAPPORT, FASE I

30.6.83 - 1.4.85



INNHALDSFORTEGNELSE

FEN-PROSJEKTET	side
Innledning	1
RÅSTOFF	
Generelt	3
Geologisk kart, Plate no. 1	5
KJEMISKE ANALYSER	7
PROSESS	
Generelt	9
FORSØKENE	
Sulfatiserende røsting	11
Foto røsteovn	12
Tabell I - Kjemisk analyse av rødberg brukt i fase I	14
Væske/væske ekstraksjon av skandium	15
Sammenfattende faglig vurdering	16
Flytskjema Fenprosjektet pr. 11.3.85	17
Utbytte	18
MARKED OG ØKONOMI	
Markedsundersøkelser, generelt	19
Konklusjon	22
INDRE OG YTRE MILJØVERN	23
VEDLEGG I - Mineralogisk beskrivelse med 4 bilag	24
VEDLEGG II - Litteratur-referanser	32

FEN-PROSJEKTET

Sluttrapport Fase I, 30.6.83 - 1.4.85

Innledning

I Fensfeltet var det gruvedrift på jernmalm i flere hundre år. Denne virksomhet i Gruveåsen ble nedlagt i 1920-årene.

Omkring 1965 var utenlandske selskaper på "jakt" etter andre elementer i Fensfeltet, noe som vakte norske selskapers interesse. Man ble fort klar over at det var malmens innhold av sjeldne jordarter det gjaldt.

Forskningsgruppe for Sjeldne Jordarter (FSJ) ble dannet i 1967 av 10 norske selskaper og de satte igang prospektering. Funnene var såvidt interessante at forsøk med oppredning ble initiert, samt forsøk med ren-fremstilling av visse elementer fra konsentratene.

Til tross for også assistanse fra utenlandske forskningsinstitutter lykkedes det dog ikke å etablere noen oppredningsprosess.

I samarbeid med Kjernekjemisk institutt og Institutt for atomenergi (senere IFE) ble det imidlertid utviklet en ekstraksjonsprosess for fremstilling av høy-rent yttriumoksyd. Dette førte til at selskapet Megon ble dannet blandt deltagerne i FSJ. Industriell produksjon ble startet på Kjeller på basis av importert råstoff.

Nå foreligger det en ny situasjon. Interessen for skandium og prisene på de sjeldne jordarter har økt betydelig i løpet av de siste to år. Samtidig er det utviklet nye ekstraksjonsmidler og prosesser. Ved å ta i bruk metallurgisk spissteknologi, er det nå med basis i denne meget store råstoff-ressurs skapt vilkår for å bygge et nytt produksjonsanlegg av internasjonalt format og med norsk råstoff.

Gruveåsen i Fen med rødberg som dominerende bergart, er en av den vestlige verdens betydeligste forekomster av sjeldne jordarter. Det har derfor vært naturlig for Megon å fortsette sin søken etter en ekstraksjonsprosess tilpasset rødberg. Megon mener i det siste å ha funnet frem til en slik prosess. Denne metoden består i prinsippet i at malmen underkastes en sulfatiserende røsting, hvorved de uønskede elementene jern og kalsium's løslighet blir redusert, mens verdifulle elementer som Sc, Eu, Nd og Ce blir gjort mer løslige. Denne fremgangsmåten er av Megon patentsøkt i Norge og 15 andre land.

Etter en konvensjonell syrelaking av røstegodset, kan de metallene som er bragt i løsning skilles selektivt ved hjelp av spesielle organiske ekstraksjonsmidler. Noen av Megons patenter dekker dette

siste området også. Tilslutt kan de sjeldne jordarter felles og kalsineres til oksyder av stor renhet.

Gjennom de mange forsøk som er gjort under dette prosjektets første fase er det slik lagt et grunnlag for en helt ny metallurgisk prosess med norsk råstoff-basis og for et internasjonalt marked.

Markedsanalyser og økonomiske beregninger har, tross usikkerhet, gitt grunn til å tro at det her foreligger gode muligheter for å reise en ny, lønnsom norsk industri med et vekstpotensiale.

De mål som man hadde satt seg med Fase I var å fremstille prøver av bl.a. skandiumoksyd i gramskala og å etablere tall for utbytte i prosent, som ville ha sterk innflytelse på økonomien.

Riktignok er disse mål ikke nådd innen utløpet av den tidsfristen som man hadde satt seg og det budsjett som ble vedtatt. Men etter Megons mening kan målene allikevel nåes ved noen supplerende forsøk i den apparatur som er utviklet.

Etter en slik begrenset tilleggskampanje skulle det etter Mergons mening bli mulig å ha tilstrekkelig data til at en integrert prosess kan etableres på et sted, f.eks. ved Elkems FoU-stasjon på Fiskaa, hvor man har en fluosolid reaktor og øvrige ressurser som trengs.

En systematisk detalj-kartlegging av rødberg i Gruveåsen i Fen, på kriterier prosessen setter, ville være ønskelig, selv om prosessen synes tilstrekkelig robust til å bli istand til å fange opp de variasjoner i felt som med rimelighet kan ventes å forekomme.

RÅSTOFF

Generelt

Malmverdiene i Gruveåsen i Fen er anslått til 400 mill. tonn rødberg og rauhaugitt, iflg. konklusjonen i S. D. Cappelens søknad om utmål 1981. Med et gjennomsnittsinhold av 0,9% sjeldne jordarter vil det si at forekomsten totalt inneholder 3,5-4,0 mill. tonn. Dette gjør Fen til en av de største kjente forekomster av sjeldne jordarter i den vestlige verden.

Til sammenligning er Mountain Pass forekomsten i USA, iflg. Industrial Minerals April 1984, anslått til 36 mill. tonn karbonatitter med et gjennomsnittsinhold av 12% bastnäsitt, som har 60% sjeldne jordarter, tilsvarende 7,2% totalt. Vi kan derfor anta at Mountain Pass forekomsten totalt inneholder ca. 2,5 mill. tonn sjeldne jordarter.

Dersom vi så tar for oss fordelingen av de sjeldne jordarter enkeltvis, får vi følgende bilde:

Gjennomsnittet av 5 prøver à 400 kg, som A/S Prospektering lot ta ut for Fen-prosjektet i januar 1985, og som skulle være representativt for Gruveåsen, gir følgende konsentrasjoner:

	Eu ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	CeO ₂	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
ppm	37	77	280	3145	1690	1740	394

Disse verdier stemmer godt med dem vi har fra NGU's omfattende arbeid i 1960-årene og det geolog Åmli gjorde for Megon i 1974.

For Mountain Pass er ingen tilsvarende tall for råstoffets analyse kjent, men vi kan regne oss til en slik serie, idet de selv har oppgitt:

"Ratio for Rare Earth Oxides to Total Rare Earth Oxides"

	Eu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
% rel.	0,105	0,053	50,0	32,5	12,5	0,6

Omregnet med basis i de nevnte 7,2% sum sjeldne jordarter, får vi for Mountain Pass:

	Eu ₂ O ₃	Sc ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	CeO ₂	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
ppm	76	n.a.	38	36.000	23.400	9.000	432

Det er ikke rapportert noe innhold av skandium i Mountain Pass, men det er tvilsomt at dette er nevneverdig høyt. Innholdet av yttrium i Mountain Pass er meget lavere enn det i Fen.

Fens store styrke er kombinasjonen av betydelige mengder europium, skandium og yttrium i et og samme råstoff. Det enestående høye innhold av skandium er desto mer verdifullt ettersom det idag er en intens etterspørsel etter dette ytterst sparsomt forekommende element. Dette kan ventes fullt ut å oppveie det at innholdet av europium i Fen er halvparten så høyt som i Mountain Pass. Fremdeles gjør det Fen til også en verdifull europium-forekomst.

Det er et alvorlig draw-back for Fen at Gruveåsen er mineralogisk meget inhomogen. Det vil nok måtte foretas en grundig detaljkartlegging av Gruveåsen, som basis for rasjonell drift der.

S. D. Cappelens utmåls søknad 1981 refererer til 250 prøver og 5 diamantborhull. Megon har tatt ytterligere ca. 30 prøver i Gruveåsen. Men Megons prøvetaging har hatt som mål å fremskaffe mulige representative prøvematerialer av råstoffet for forsøk i denne fase.

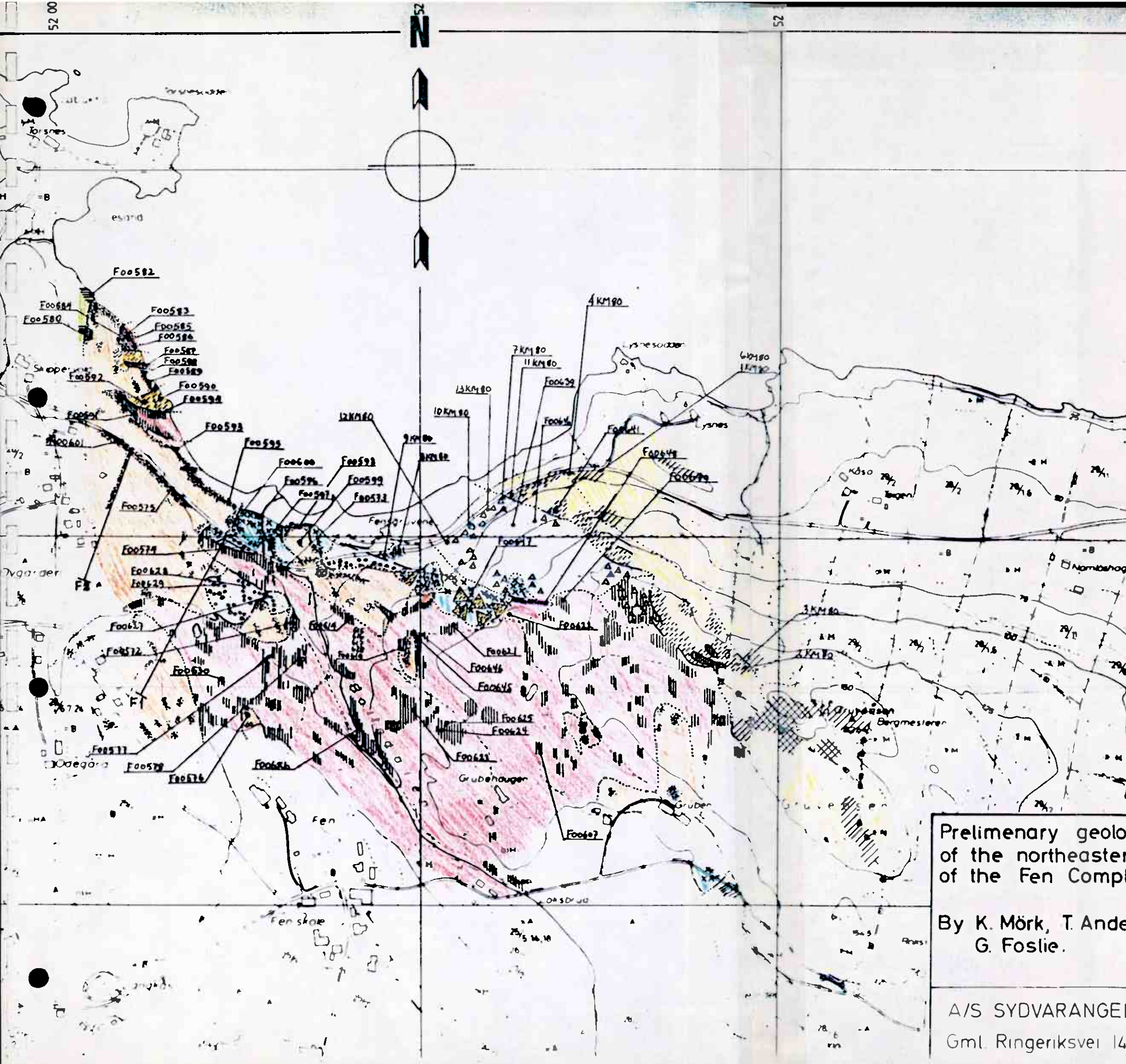
Den mest inngående kartlegging til nå er utført av Prospektering A/S under ledelse av K. Mørk med assistanse av geologene G. Foslie og T. Andersen, rapportert til Bergmesteren i Østlandske Distrikt 18.3.82 av A/S Sydvaranger. Resultatet av dette arbeidet er samlet i Plate No. 1, datert sept. 81, som gjengis på neste side. De sier imidlertid i sin "Introduction":

"The main objective of this seasons work has been to recognize and classify the main rock units in the field, rather than produce a 100% "correct" geologic map. In areas with good exposure, for instance along the lake Norsjø, the Vegskjæring section and along the eastern side of Bolladalen, we have been able to work in reasonable detail and feel relatively confident about rock types, their relations and extensions. In the Gruveåsen itself, where outcrops are small and sparse, the map is less reliable and more work is required."

I begynnelsen av det prosjektet som denne rapporten gjelder ble det i 1983 for forsøksvirksomheten vurdert å bruke materiale fra de gamle tippene fra Fen-gruvene, som ligger delvis ute i Norsjø nedenfor den gamle grunnstollen. Tanken var at dette er relativt store mengder, delvis nedknust materiale, som det er lett å ta porsjoner av i 100-1000 tonn skala.

Mengdene ble oppmålt av Prospektering A/S og ca. 60 kg materiale sendt Fiskaa, kalt Skeideberg. Disse tippene ble anslått å inneholde i størrelsesorden 50.000 tonn rødberg og rauhaugitt.

Etter en samlet vurdering ble man senere enig om at materialet er ganske inhomogent, at det ikke ville være mulig å identifisere hvor det opprinnelig var kommet fra, og at man sannsynligvis av andre hensyn heller ikke kan angripe tippen. Det ble derfor besluttet å se bort fra dette materialet.



LEGEND.

- Pink fsp. rock.
 - Magnetite - basic silicate rock.
 - Explosion breccia.
 - Rödberg-rödbergization.
 - Damkjernite dolomite matrix.
 - Damkjernite silicate matrix.
 - Rouhaugite.
 - Basic silicate rock.
 - Fenite - altered P&E.
 - Granite breccia.
 - Foliated P&E gneiss.
 - Fault
 - Sample point.
 - Rock boundary
 - —, inferred
- Outcrops are indicated by rock symbols.

Preliminary geologic map of the northeastern sector of the Fen Complex.	Sept. 81
	K.M.
By K. Mörk, T. Andersen and G. Foslie. September - 81	Scale
	1 : 5000
A/S SYDVARANGER Gml. Ringeriksvei 14, 1320 Stabekk	Plate no.
	1

Det ble av FSJ og Megon gjort en betydelig innsats i 1967-70 for å finne oppredningsmetoder anvendelig på rødberg og rauhaugitt. Dette skjedde i samarbeid med henholdsvis Norges Geologiske Undersøkelse, Oppredningslaboratoriet NTH, Mineralogisk-Geologisk Museum og Institutt for Atomenergi. Det strandet først og fremst på at de verdifulle mineralene i Fen er uhyre finfordelt.

Dette kan på den annen side vise seg å være en fordel, dersom vi med kjemiske metoder vil angripe hele malmen, fordi de verdifulle mineralene p.g.a. sin fin-fordeling får stor overflate. Særlig kan det vise seg å være en fordel i en reaksjon mellom gass og faststoff, som røsting av karbonater i SO_2/SO_3 , men nok også når de skal løses i syre.

Thorium i Fen representerer et eget sett av problemer og ikke bare av negativ karakter. Konsentrasjonen i rødberg fra Gruveåsen ligger i området 0,01-0,2% Th.

Materialet i de 30 prøvene som Megon har tatt ut og forekomsten på stedet er blitt studert av Institutt for kjernekjemi på basis av strålingens energi-spektrum og av Strålevernavdelingen ved IFE med sikte på personvernet både i det indre og ytre miljø d.v.s. operatører og utslipp.

Institutt for kjernekjemi vil fremover også studere prøver av høyrent thorium-oksyd, ekstrahert fra rødberg for å fastslå hvilket forhold det er mellom ^{230}Th og ^{232}Th i rødberg.

Vi vet fra før at materialet fra Fen inneholder meget mindre uran i forhold til thorium enn materialet fra Mountain Pass. Dette skulle tilsi at forholdet mellom thorium isotopene er gunstig i Fen og prøver vil bli sendt Kernforschungs-Anlage Jülich, når de foreligger. Dersom det blir funnet interessant der for anvendelse i brennstoffreaktorer, ville thorium i Fen kunne bli et salgsprodukt i fremtiden.

Dersom det ekstraherte thorium ikke er interessant som salgsprodukt, vil deponi av Th bli et miljøproblem som må drøftes med våre myndigheter, f.eks. Statens Atomtilsyn.

Residuet etter prosessen vil under alle omstendigheter ha et lavere innhold av thorium enn rødberg har.

Innholdet av niob i rødberg er beskjedent og idag uten vesentlig interesse. Det ser heller ikke ut til at niob kan utvinnes fra rødberg med de metodene dette prosjektet har konsentrert seg om.

KJEMISKE ANALYSER

Uten at vi i Norge hadde hatt en rekke institutter med know-how på området analyse av sjeldne jordarter i meget lave konsentrasjoner, hadde det ikke vært mulig å arbeide med problemene som Fen-prosjektet reiser.

De mest verdifulle sjeldne jordarter i Fen, Sc og Eu, foreligger på spormengde-nivå (10-100 ppm), og kvantitative analyser av disse elementene kan bare utføres ved instrumentelle analysemetoder (atomabsorpsjon, induktivt koblet plasma (ICP), nøytronaktivering). Disse metodene krever spesialapparatatur og kan bare utføres på et fåtall steder hvor nødvendig apparatur er tilgjengelig.

Det foreligger et stort antall analyser av rødberg med varierende tall for innholdet av de sjeldne jordarter. Disse variasjonene kan skyldes usikkerheter forbundet med de ulike analysemetoder, men vil i stor grad gjenspeile en inhomogen forekomst som den i Fen-feltet. Da vil prøvetakingen være svært avgjørende for om prøven kan sies å være representativ for forekomsten. En rekke NGU-rapporter (1960-1969), mineralogiske undersøkelser (Åmli, 1974 og Sverdrup, Mørk 26.3.81) og kjemiske analyser av rødberg, brukt i fase I viser temmelig varierende innhold av de enkelte jordarter, kfr.s.14.

Selv om det er stor usikkerhet forbundet med det prøvetatte materiale i Fen, så vil analyseproblemet innskrenke seg til selve analysemetoden, når prøven først er tatt. I 1967 fikk Forskningsgruppen for sjeldne jordarter en del laboratorier til å analysere en "referanseprøve" av hematitt fra Fen med hensyn på en del utvalgte jordarter. Analysemetodene som ble benyttet var røntgenfluorescens, atomabsorpsjon, nøytronaktivering, emisjonsspektrografi og massepektrometri. Resultatene viste variasjoner mellom såvel laboratorier som analysemetoder. I 1968 ble dette arbeid fulgt opp med et norsk analysesymposium om sjeldne jordarter på UiO, Kjemisk institutt, Avdeling for kjernekjemi og i 1972 med et internasjonalt symposium på IFE (da IFA) i Nato-regi.

Det overordnede mål med alle analyser er å finne frem til verdier som ligger nærmest mulig virkeligheten. Hvilke metoder som velges i en aktuell analysesituasjon, vil i stor grad være avhengig av prøvematerialet (fast stoff eller løsning), deteksjonssgrensene for de enkelte elementer (matriseeffekter), nøyaktigheten ved metoden, hvor raskt man må ha analyseresultatene, hvilken pris man er villig til å betale, hvor mange analyser det dreier seg om, nødvendig analyseapparatur tilgjengelighet m.m.

Prøvematerialet kan deles inn i to hovedgrupper: faste prøver (råstoff, prosessresiduer, produkter) og prosessløsninger (laker, ekstraksjonsløsninger). I tillegg til elementanalyser av samtlige prøvetyper må det utføres mineralogiske analyser på råstoffet og kvalitetsanalyser på produktene. De mineralogiske analysene utføres i hovedsak ved hjelp av mikroskop og røntgen kombinert med separasjoner med tunge væsker og magneter. Ved kvalitetsanalyser på produktene må analysene i første rekke konsentreres om mulige forurensninger, helt nede på ppm-nivå.

En begrensende faktor ved alle analysemetoder vil i dette prosjekt ofte være deteksjonsgrensene for de enkelte elementer. De mest verdifulle sjeldne jordartene i Fen foreligger finfordelt som spor metaller (10-100 ppm) blandt mange makroelementer i et meget inhomogent materiale. Selv om de fleste instrumentelle analysemetodene generelt sett vil kunne gi gode analyseresultater innenfor dette konsentrasjonsområdet, så kan andre elementer i prøvematerialet gjøre metodene mindre velegnet. Interferenser (matriseeffekter) kan forekomme fra såvel spor- som makro-elementer i prøven. Dette gjør analyseproblematikken vanskeligere og fører ofte til at flere analysemetoder både må og bør benyttes samtidig.

Megon har ikke noe eget analyselaboratorium, men er avhengig av å få analysene utført av andre, der analyseapparatene finnes. Dette fører til at vi må regne med en viss ventetid på analyseresultatene. Fra tid til annen, når vi har få prøver som skal analyseres, kan vi oppnå å få utført analysene svært raskt ved at de blir tatt innimellom andres prøveserier. Ved større prøveserier kan vi ikke komme utenom det faktum at det kan ta dager før vi får analyseresultatene. Dette er ofte en ulempe i et utviklingsarbeid, hvor analyseresultatene fra utførte forsøk utgjør mye av grunnlaget for planlegging og gjennomføring av nye forsøk.

I fase I har forsøksvirksomheten vært drevet på fire forskjellige steder: Elkem FoU, SINTEF, IFE og UiO, Kjemisk institutt. Mulighetene for å få utført analyser har variert betydelig fra sted til sted og fra tid til annen.

Elkem FoU, IFE og SINTEF har egne analyseavdelinger. Foruten klassiske analyser av makro-elementer så har alle tre stedene mulighetene til røntgen og atomabsorpsjonsanalyse. Hvilke elementer som kan analyseres ved hjelp av atomabsorpsjon avhenger av hvilke lamper som er tilgjengelig. Både Elkem FoU og IFE har muligheten til ICP-analyse. ICP-instrumentet ved Elkem FoU er nylig anskaffet og de har vært plaget med en del innkjøringsproblemer. Ved IFE er det dessuten mulig å få utført nøytronaktiveringsanalyser.

PROSESS

Generelt

Det foreligger i Megons arkiv et omfattende rapportmateriale om det inngående forskningsarbeide som ble nedlagt i årene 1967-70, for om mulig å opprede ved gravimetrisk metode, magnetseparasjon, flottasjon og andre måter de sjeldne jordarter fra malmene i Fen, men forgjeves. En rekke laboratorier i inn-og utland ble trukket inn uten at det ble oppnådd noe positivt resultat.

Det er senere utviklet bl.a. "high gradient magnetic separation (HGMS)" metoder, som det kanskje kunne være interessant å prøve på materiale fra Fen, men det faller utenfor rammen av det foreliggende arbeide.

I 1969 ble det gjort en rekke forsøk med direkte syrebehandling av hematitt fra Fen med salpetersyre ved Institutt for uorganisk kjemi NTH. De ble rapportert 6.1.1970 og sier avslutningsvis at:

"Hvis den karbonatnøytraliserte HNO_3 etter ekstraksjonsprosessen ikke kan benyttes i gjødselproduksjon, må det vel konkluderes at syreekstraksjon med HNO_3 ikke vil gi en økonomisk ekstraksjonsprosess før en vesentlig del av karbonatene er fjernet på forhånd".

Disse forsøk førte således ikke frem og man oppga da å opprede eller lake ut råstoff fra Fen.

Megons produksjonsanlegg på Kjeller ble opprinnelig drevet på råstoff fra Glamsland. Dette måtte i sin tid også forlates, men produksjonen fortsatte på basis av importert råstoff, fordi prosessen i seg selv var god og ga et fremragende produkt. Imidlertid ble tanken på norsk råstoff, som FSJ og Megon ble dannet for å utnytte aldri definitivt oppgitt.

Våren 1983 fikk Megon flere forespørsler etter skandium. Professorene Neumann og Bugge rådet begge Megon til å undersøke Fen, som sannsynligvis er Norges rikeste kilde til skandium. Spørsmålet om utnyttelse av Fen-forekomstene ble derfor enda engang tatt opp til vurdering.

Prosjektet ble i 1983 gjentagne ganger drøftet i Megons styre og i samråd med fire av kommandittistene ble det satt igang forsøk med syrebehandling av rødberg i Fen.

Utgangspunktet for den nå avsluttede fase I var en patentsøknad fra Anortal-prosjektet med prioritet fra 2.3.1981:

"Fremgangsmåte for utførelse av energikrevende prosesser hvor også svovelsyre og lignende svovelforbindelser forbrukes"

og en ny patentsøknad med prioritet i Norge fra 26.9.1983:

"Fremgangsmåte for utvinning av verdifulle elementer, særlig sjeldne jordarter og lignende metaller, fra en karbonatholdig matrise".

Søknader er sendt inn også i 15 andre land.

Den bærende tanke er å reagere karbonatene i rødberg med SO_2/SO_3 slik at det blir dannet sulfater. Det avgjørende er da at kalsium-sulfat, som gips anhydritt er lite løslig både i vann og syrer, mens sulfatene av de sjeldne jordarter er meget løslige og endog lettere løslige i kaldt enn i varmt vann. Fra før visste vi at hematitt er lite løslig i syre, mens magnetitt er løslig i syre. Forsøkene på NTH i 1969 bekreftet at dette også gjelder Fensmalmen. Derfor er det nødvendig å foreta sulfatiseringen på en slik måte at man samtidig oksyderer magnetitt til hematitt, siden rødberg inneholder begge deler.

Siden det å avdrive karbonatene i rødberg er en energikrevende prosess og man ikke behøvde eller ønsket å gå vegen om svovelsyre dersom det kunne unngås, var det nærliggende å velge svovelkis som SO_2 -kilde. Da fikk man mer enn nok kalorier til å avdrive kullsyren.

Ved å bruke svovel eller tungolje får man nesten like mange kalorier til disposisjon og en noe enklere apparatur.

Forsøkene som er utført dels på Fiskaa, dels på NTH har benyttet SO_2 for ytterligere å forenkle forsøksbetingelsene. Da neglisjeres energiforbruket.

Prosessen fortonet seg opprinnelig som en fire-trinns prosess:

1. Kalsinering
2. Sulfatiserende røsting
3. Syrelaking av røstegods
4. Væske/væske-ekstraksjon av laken.

I utgangspunktet ble del-prosess nr. 2 ansett å være kritisk og mesteparten av arbeidet i fase I er blitt konsentrert om å utvikle den. Forsøkene viste senere at man kunne kombinere trinn 1 og trinn 2. Dette betyr en stor forenkling.

Syrelaking av røstegods er temmelig konvensjonell metallurgi, selv om gips i syre ofte danner overmettede løsninger og gir filtreringsproblemer.

Den fjerde del-prosessen, væske/væske ekstraksjon måtte bygges opp fra grunnen, idet det foreligger få opplysninger i litteraturen om skandium-ekstraksjon.

FORSØKENE

Sulfatiserende røsting

De første orienterende laboratorieforsøk ble utført sommeren og høsten 1983 i en rørovn med indre diam. 2 cm. Hver batch var på ca. 10 g.

Siden rødberg inneholder <100 ppm skandium og <100 ppm europium, betyr det at hver batch inneholdt <1 mg Sc henholdsvis Eu. Derfor ble det svært vanskelig å kontrollere eksperimentene ved analyser. De måtte bli beheftet med stor unøyaktighet.

En annen begrensning i verdien av disse orienterende laboratorieforsøkene var at prøvene lå i ro i en strøm av SO_2 -gass. Dette ga dårlig temperaturkontroll, hvor det var en eksoterm prosess som skulle studeres. Man var klar over at fluidisering som prinsipp gir vesentlig bedre temperaturkontroll og fluidisering er da også spesielt fremhevet i patentsøknadene.

Nå er det vanskelig å utføre fluidiseringsforsøk i så liten skala som de første budsjettene ga rom for. Men utfallet av de første laboratorieforsøkene var såvidt oppmuntrende at det ved årsskiftet 84/85 ble besluttet å arbeide en tid i skala 10 kg rødberg pr. batch d.v.s. opptil 1 gram Sc og 1 gram Eu pr. batch i råstoffet og de nødvendige, økede midler ble stilt til disposisjon for slike forsøk frem til 1.4.1985.

SINTEF hadde en hensiktsmessig apparatur til disposisjon på Metallurgisk Institutt, NTH, kfr. foto på neste side. Røsteovnen er sylindrisk, 20 cm indre diam., ca. 1 m høy. Den er utstyrt med 14 kw elektrisk varmekappe, sykron for å skille ut finstoff før skorstein, påmatings- og utmatings-stusser, en rekke radielle rør for sonder, rikelig instrumentert for temperaturkontroll, gass-strømmålere, SO_2 -analysator, automatiske skrivere etc.

Før eksperimentene på SINTEF startet ble det utført termodynamiske beregninger av de prosessene som skulle prøves ut. Beregningene er grafisk samlet i fem "Stabilitetsdiagram for likevektene" ved 910°C , 750°C , 700°C , 650°C og 600°C .

Konklusjonen var:

"De termodynamiske beregningene for de rene forbindelsene viser - at en delvis selektiv sulfatisering er mulig ved bestemte gass-sammensetninger innen temperaturområdet $600-750^\circ\text{C}$. Hva resultatet vil bli ved røsting av Rødberg-malm vil imidlertid avhenge av hvordan elementene foreligger i mineralene og dannelsen av andre stabile forbindelser.

Den optimale gass-sammensetning og temperatur vil også avhenge av reaksjonshastigheten for de forskjellige sulfatiseringsreaksjonene. Dette kan imidlertid bare bestemmes ved praktiske røste- og utlutingsforsøk".



Røsteovn, Metallurgisk institutt, NTH

Det viste seg allerede etter få forsøk at reaksjonen mellom rødberg og SO_2 er treg. Fire forskjellige katalysatorer ble forsøkt etterhvert² for å påskynde reaksjonen $\text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 = \text{SO}_3$. Reaksjonen i fluidiseringen vil da bli mellom SO_3 og CaCO_3 .

Med bakgrunn i SINTEF's erfaring fra sulfatisering av talk, og opplysninger som forelå om Outokumpu's og Falconbridge's tilsvarende prosesser ble natriumsulfat forsøkt først, idet godset ble kalsinert sammen med Na_2SO_4 på forhånd.

Imidlertid ga det et lavtsmeltelig eutektikum av Na og Mg, som førte til at fluidiseringen brøt sammen før reaksjonstemperatur var nådd.

Deretter ble platina forsøkt. Et katalysatornett tilsvarende det som brukes i nitrat-syntese d.v.s. platina legert med 10% rhodium ble innspendt under hull-platen i fluosolid-reaktorkammeret. De første forsøkene var relativt vellykkede, men så avtok den katalytiske effekt raskt til null ved senere forsøk med de samme nett. Riktignok taper virkningen seg også i nitrat-syntesen, men først etter flere hundre timer. Her forsvant den etter få timer. Ren platinaduk ble så forsøkt. Men det ga ingen effekt, selv ved de første forsøk.

Det siste som ble forsøkt var vanadium pentoksyd som katalysator. Første forsøk var tilsynelatende meget vellykket, men apparaturen måtte så delvis bygges om og suppleres med tilleggsutstyr.

De avsluttende forsøk i fase I ble gjort for å teste om vanadium pentoksyd beholder sin katalytiske effekt selv etter gjentatte forsøk og for å bestemme utbyttet. Tiden og kostnadsrammen tillot ikke å gjennomføre dette programmet tilfredsstillende.

Det er gjort prosess-forsøk med materiale av vidt forskjellig sammensetning, som Tabell I, "Kjemisk analyse av rødberg brukt i fase I", viser (se neste side).

Tre av de fem rødberg-prøvene som ble tatt ut i januar 85 ble kalsinert før røstingen. Det var opprinnelig meningen å kalsinere noe av hver av de fem prøvene for å teste hva som var mest velegnet, kalsinert eller ukalsinert rødberg. Imidlertid smeltet to av prøvene, før de nådde kalsineringstemperatur. Det viste seg på den annen side å være unødvendig å kalsinere rødberg på forhånd, fordi karbonatene dissosierer under røstingen.

Alle forsøk på SINTEF i fase I har vært kjørt i batch. Utstyret der gir mulighet for kontinuerlig drift av røstingen, men tiden tillot ikke dette innen fristens utløp 1.4.85.

Følgende parametre ble det slik ikke tid til å studere under varierende betingelser:

	Rødberg, Juni 1983	Skeideberg, Okt. 1983	" Nov. 1984	Rødberg Jan. 85, Nr. 1	" " 2	" " 3	" " 4	" " 5	
Eu	60	60	93	9	11	45	50	44	g/t (ppm)
Sc	70	80	133	25	44	46	68	68	
Y	200	190	229	128	125	200	410	240	
Th	621	790	1410	110	270	660	1870	700	
Ce	3724	3400	6470	2000	1200	2600	2900	4100	
La	1422	1500	2320	1500	1000	1300	1600	1800	
Nd	1780	3100	4580	900	900	2000	2000	2900	
Sm	273	540	650	200	170	400	430	500	o/o
Fe	10.8	30.6	34.5	7.8	9.6	14.6	24.8	20.0	
Al	1.7	1.0	0.7	2.2	2.7	1.7	3.7	1.3	
Ca	20.9	13.3	13.3	17.0	17.4	21.5	4.5	18.5	
Mg	7.4	1.6	0.8	16.6	5.7	2.7	3.1	2.7	
Mn	1.14	0.82	0.4	0.64	0.55	0.89	0.28	1.22	
Na	0.02	0.07	n.a.	0.06	0.10	0.22	0.05	0.28	
K	0.11	0.10	n.a.	0.08	0.08	0.33	0.04	0.09	
P	0.31	0.43	0.75	0.42	0.24	0.51	1.0	0.55	
S	n.a.	n.a.	0.48	0.37	0.27	0.28	0.62	0.34	
F	n.a.	0.23	0.41	0.33	0.35	0.33	0.45	0.39	
Gløde- tap	n.a.	n.a.	13.7	30.1	26.3	28.2	6.9	24.0	

Tabell I

Kjemisk analyse av rødberg brukt i fase I

	Rødberg, juni 1983	(Skeideberg, oktober 1983)	(" november 1984)	Rødberg, januar 1985, nr. 1	2	3	4	5	
Eu ₂ O ₃	69	69	108	11	13	52	58	51	ppm
Sc ₂ O ₃	107	123	204	38	67	70	104	104	
Y ₂ O ₃	254	241	291	163	159	254	521	305	
ThO ₂	707	899	1604	125	307	751	2128	797	
CeO ₂	4575	4177	7948	2457	1474	3194	3562	5036	
La ₂ O ₃	1668	1759	2721	1759	1173	1525	1876	2111	
Nd ₂ O ₃	2076	3636	5342	1050	1050	2333	2333	3383	
Sm ₂ O ₃	317	626	754	232	197	464	499	580	
RE ₂ O ₃	0,98	1,15	1,90	0,58	0,44	0,86	1,11	1,24	%
Fe ₂ O ₃	15,44	43,75	49,33	11,15	13,73	20,88	35,46	28,60	
SiO ₂	9,20	5,78	n.a.	14,34	16,48	6,42	33,60	7,92	
Al ₂ O ₃	3,21	1,89	1,32	4,16	5,10	3,21	6,99	2,46	
CaO	29,24	18,61	18,61	23,79	24,35	30,08	6,30	25,89	
MgO	12,27	2,65	1,33	27,52	9,45	4,48	5,14	4,48	
MnO	1,47	1,06	0,52	0,83	0,71	1,15	0,36	1,58	
Na ₂ O	0,03	0,09	n.a.	0,08	0,13	0,30	0,07	0,38	
K ₂ O	0,13	0,12	n.a.	0,10	0,10	0,40	0,05	0,11	
P	0,31	0,43	0,75	0,42	0,24	0,51	1,0	0,55	
S	n.a.	n.a.	0,48	0,37	0,27	0,28	0,62	0,34	
F	n.a.	0,23	0,41	0,33	0,35	0,33	0,45	0,39	
CO ₂	n.a.	n.a.	13,7	30,1	26,3	28,2	6,9	24,0	
Total	72,28	75,76	88,35	113,77	97,65	97,10	98,05	97,94	

Tabell IA
Kjemisk analyse av rødberg brukt i fase I

- oppholdstid
- kontinuerlig røsting over flere døgn
- røstetemperatur
- kornstørrelse
- gass-sammensetning SO_2 /luft.
- den "ideelle" katalysator
- måling av utbytter

Det har vært et alvorlig draw-back at det ikke er mulig å få analysert på skandium i Trondheim, fordi man ikke der har noe egnet instrument.

Europium ble valgt som "nøkkelelement" for at analysekostnader skulle holdes begrenset, uten at kontrollen med forsøkene gikk tapt.

Kanskje var det ikke noe heldig valg, for europium er på mange måter nettopp ikke "typisk" for de sjeldne jordarter, men har i mange henseender anormale egenskaper. F.eks. er det det minst løslige av de 15 lanthanidene. Dette er kanskje ikke noe draw-back kritisk sett, men det bidro i hvertfall ikke til å gjøre tydigen av de enkelte forsøk lettere.

De forsøkene som er utført har gitt kvalitative positive resultater. Men stramme tids- og kostnadsrammer, som forsøkene måtte holdes innenfor, har etterlatt en rekke kvantitative spørsmål ubesvart. To-tre måneders fortsatt forskning regner vi med ville besvare mange av disse.

Væske/væske-ekstraksjon av skandium, delprosess 4., kfr. s. 10.

De første orienterende forsøk med ekstraksjon av skandium fra lake ble utført ved bruk av spor-mengder kunstig fremstilt radioaktivt skandium i syntetiske løsninger.

Da man etter årsskiftet 84/85 fikk større mengder lake fra røstegods, kunne forsøkene utvides til å omfatte den virkelige sammensetning av laken med hensyn på de dominerende katjoner som jern, kalsium, magnesium o.s.v. Radioaktive markører, deriblandt skandium, ble tilsatt laken før ekstraksjonene, for å kunne studere hva som skjedde.

Det er foretatt flere typer orienterte forsøk bl.a. med en såkalt fosforsyreester. Vanskeligheten her var at skandium riktignok lot seg ekstrahere ut av laken inn i den organiske fasen, men ikke strippe tilbake i en vannfase.

I og for seg er dette ingen fundamental hindring, fordi prisen på skandium er så høy at det organiske ekstraksjonsmiddel ville kunne brennes og skandium vil da foreligge i asken med høy renhet.

Imidlertid lykkes det i løpet av vinteren 84/85 å finne frem til et nylig utviklet japansk ekstraksjonsmiddel, som er en monoester. Samtidig ble det besluttet å bruke saltsyre i vannfasen. Fra det nye ekstraksjonsmiddel kan skandium stripes med lut.

Det fullstendige flytskjema for denne prosess, pr. 11.3.85 er vedlagt. (Se neste side).

Når det ikke har lyktes å fremskaffe særlige mengder Sc fra lakene, skyldes det en kombinasjon av lavt Sc-innhold i rødberg-prøvene 1, 2 og 3 fra januar 85 og at sulfatiseringen til å begynne med var ufullstendig. Da man måtte velge prøver for røsting, forelå det enda ikke pålitelige analyser, fordi ICP-instrumentet på Fiskaa hadde brutt sammen. (Analysen ble deretter gjort på IFE, Kjeller). Først de aller siste forsøk på SINTEF ga positive utslag, med hensyn til skandium. Da våget man seg på prøve nr. 5, januar 85, som hadde smeltet under forsøk på kalsinering på Fiskaa. Ingen vanskeligheter oppsto under røstingen. Nå hadde man i laken realistiske konsentrasjoner av både de sjeldne jordarter og de andre elementene som de skulle skilles fra. Men da var fristen til å gjøre ytterligere forsøk ute.

I tillegg har det vist seg at lakene har vært overmettede m.h.t. kalsiumsulfat. Dette gir problemer flere steder i prosedyren da gipsen utfelles. Konsentrasjonen av kalsiumsulfat i laken forventes å avta drastisk ved en vellykket sulfatisering. Dessuten vil ekstraksjon av SO_4^{--} -joner bli forsøkt.

Sammenfattende faglig vurdering.

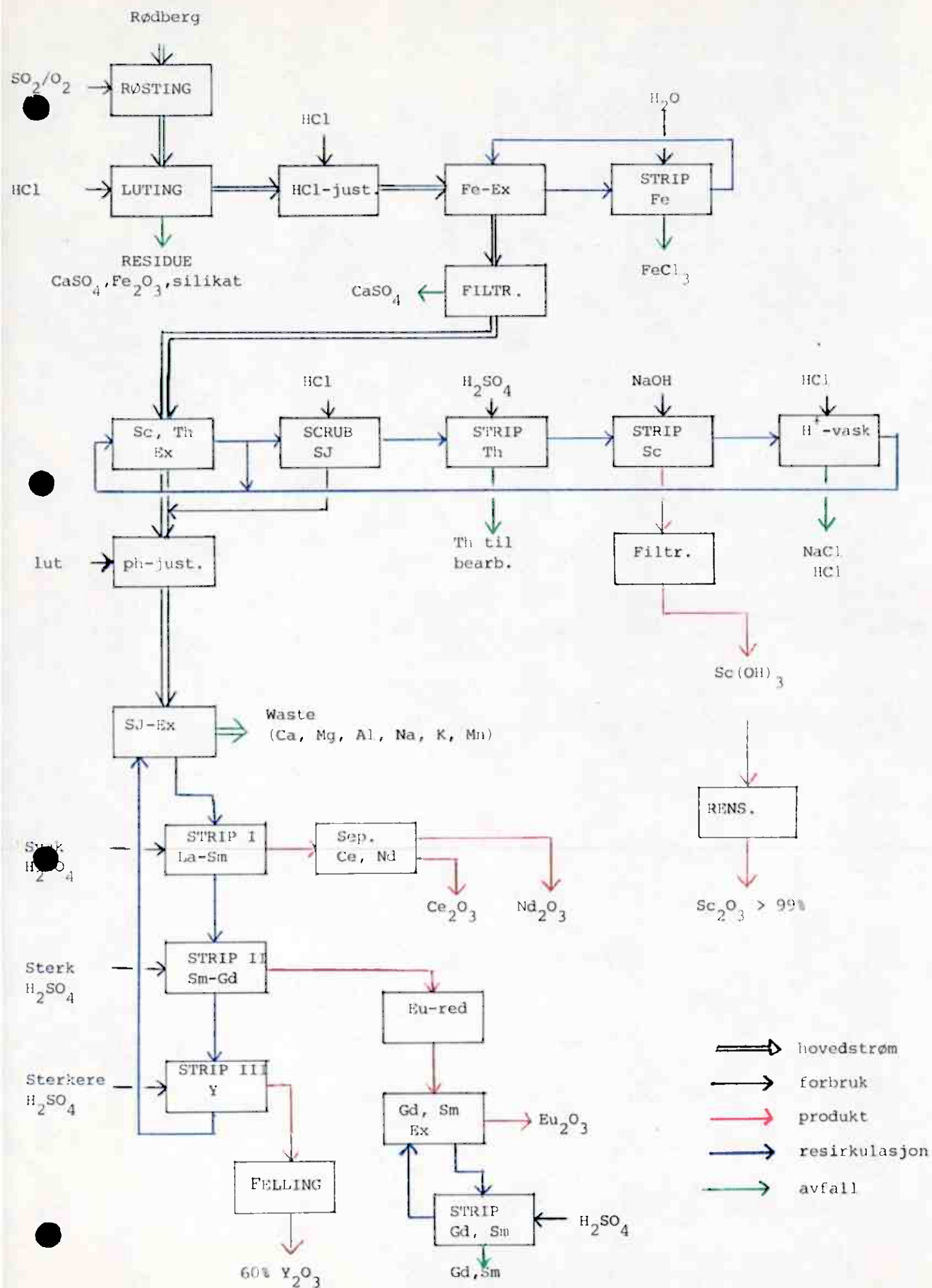
De mål som ble satt opp høsten 84; 50 g Sc_2O_3 og 50 g Eu_2O_3 er ikke nådd, men selv om det gjenstår mange ubesvarte spørsmål, kan det trygt slås fast at prosessen kvalitativt i sine hovedtrekk er klar:

Kombinert kalsinering og røsting av rødberg hindrer jern og kalsium fra å gå i løsning ved etterfølgende syrebehandling, mens de sjeldne jordarter ekstraheres.

Dette forenkler i utslagsgivende grad adskillelsen av de verdifulle sjeldne jordarter ved den etterfølgende væske/væske ekstraksjonsprosess.

Mens Fensmalmen relativt sett er en rik malm på skandium og europium, foreligger de alltid i meget lave konsentrasjoner. Uten den teknikken som her er utviklet ville det ikke vært mulig å ekstrahere disse elementer fra malmen i Fen i praksis.

Dersom prosjektgruppen beslutter å føre prosjektet videre inn i fase II, bør arbeidet i bestående apparatur på SINTEF, Elkem FoU, Blindern/IFE først fortsette enda ca. 2 måneder (mai og juni) for både å optimalisere en rekke parametre og å samle mere røstegods og lake, slik at tilstrekkelig store mengder skandium kan akkumuleres i væske/væske ekstraksjonsdelen og raffineres der.



Utbytte

Det er vanlig å bruke som mål for effektiviteten av ekstraksjonsprosesser utbyttet av de verdifulle komponentene som skal fremstilles. Det er imidlertid flere grunner til at enkle tall kan bli svært illusoriske i Fen-prosjektet og spesielt i den nettopp avsluttede fasen.

For det første har vi å gjøre ikke med et enkelt eller et fåtall produkter, men med en rekke sjeldne jordarter (16). I de økonomiske analysene som er utført, har dette vært valgt begrenset til fem: skandium, europium, yttrium, neodymium og cerium og de forekommer i innbyrdes vekslende mengder i rødberg.

For det andre har det ikke i og for seg vært vanskelig å oppnå høye utbytter, 95-100% for spesifikke sjeldne jordarter ved å løse rødberg i syre. Kfr. tidlige forsøk på Fiskaa. Allerede forsøkene på NTH i 1969 ga gode resultater slik sett, 60-80%. Men det fører da samtidig til et prohibitivt syreforbruk. Det har vært prosjektets fremste mål å forebygge dette høye syreforbruket i ekstraksjonen. Med mye jern og kalsium i løsning vanskeliggjøres væske/væske-ekstraksjon, kfr. s. 15.

For det tredje har vi her å gjøre med fire del-prosesser: kalsinering, sulfatisering, utlaking og VVX. Dersom noen forsøker å maximere utbyttet f.eks. for skandium i alle fire del-prosesser samlet, vil det vise seg å være meget problematisk i en sekvens av batch-operasjoner som i fase I. Det vil være vesentlig enklere i en integrert, kontinuerlig prosess, hvor man kan regne f.eks. pr. tidsenhet.

Det blir et overordnet mål for det fortsatte arbeid å optimalisere de fire del-prosessene mot hverandre, for å nå det samfengte, gunstigste, økonomiske resultat og da spiller også energiforbruket en ikke uvesentlig rolle.

MARKED OG ØKONOMI

Markedsundersøkelser, generelt

Roskill Information Services Ltd., London utgir jevnlig omfattende rapporter om markedet for sjeldne jordarter. De nyeste er:

"The Economics of Rare Earths and Yttrium,
Fifth Edition 1984", 272 sider.

I sitt "Summary" sier de innledningsvis:

"The pattern of consumption of rare earths has been changing significantly in the early 1980s, as new markets for high-purity, separated rare earths are developed. End-uses for individual rare earths currently account for over 8% of total consumption, compared to 4% in the late 1970s. In value terms, the growth is considerably more marked, as the price per kilogramme of high-purity, separated rare earths ranges up to one thousand times as high as for mixed rare earth concentrates. Increasing demand for samarium oxide in magnets and for yttrium and europium oxides in phosphors and fluorescent lights is largely responsible for the changing pattern of demand".

Roskill har utgitt et spesialhefte om skandium:

"The Economics of Scandium"
September 1974.

Megon lot i 1983 Roskill utarbeide en ny spesiell rapport for seg:

"A/S Megon & Co.
Survey of the Market for Scandium"

Samme år lot Megon G. Norum, MCI-Megon A.S utarbeide en spesiell rapport

"Europium Oxide-Market Study".

Industrial Minerals, April 1984 hadde en 18 siders artikkel om:

"Rare Earths - attracting increasing attention".

I innledningen sies det bl.a.:

"Most important of all, new applications of rare earths in all their guises are being found, particularly in the high technology field, which should ensure a continued healthy growth for the industry as a whole".

Gjennom sin markedsføring av høyrent yttriumoksyd har MCI-Megon fått et meget inngående kjennskap til dette markedet internasjonalt over mer enn 15 år. (Megon selv 1969-79, MCI-Megon 1979-85).

I markedet for yttriumoksyd til laser-krystaller har MCI-Megon fått en helt dominerende posisjon (80% av den vestlige verdens marked idag).

Det var derfor ikke helt overraskende da Megon tidlig i 1983 ble oppsøkt av tre direktører i Johnson Matthey, som eier Rare Earth Products i England. De var da spesielt interessert i to av de mest sjeldne jordarter, nemlig lutetium og skandium.

Lutetiumoksyd blir idag produsert og solgt av Megon på basis av et avfall i MCI-Megons Y_2O_3 -anlegg på Kjeller. Det faller derfor utenfor dette prosjekt.

Men Megon fikk utover i 1983-84 også flere andre forespørsler om skandium fra USA, Japan og Sverige.

I mars 85 ga T. Jæger, FFI en muntlig presentasjon av den raske utvikling som finner sted på laser markedet, hvor skandium spiller en nøkkelrolle.

Fordi meget av dette markedet er knyttet dels til forsvarsformål og dels til meget avansert forskning og konkurransepreget industri i rask utvikling, er det praktisk talt ikke mulig å skaffe seg statistisk, publisert, pålitelig materiale. Det som finnes er enten uaktuelt eller direkte misvisende. Dette er nok hovedårsaken til at de rapportene som blir laget av andre viser seg ofte å stemme dårlig med virkeligheten eller blir meget raskt foreldet.

Den beste måte å skaffe seg informasjon om markedet er ved egen prøve-markedsføring i en pilotfase. Slik virksomhet er desto mer nødvendig og nyttig, som kundene selv ikke vet hva som er de optimale kriterier for et godt produkt.

Når det så gjelder de spesifikke elementer som beregningene av Fen prosjektets lønnsomhet hittil har vært basert på, gjengis her fra den økonomiske analysen Megon laget 19.11.84:

Skandium kan vise seg å bli et nøkkel-element i Fen. Det er mulig at pilotvirksomheten kan bli selvfinansierende ved inntekter av skandium-produksjon allerede i meget begrenset skala. Dette er spesielt gunstig, når usikkerheten og risikoen er så høy som den i dette tilfellet er.

Fensmalmen har et eksepsjonelt høyt innhold av skandium, 70 ppm (gram pr. tonn). I sin alminnelighet er ikke skandium særlig lite utbredt. Fordelingen (abundance) i jordskorpen er som for beryllium, bor, germanium og zirkon (1-5 ppm). Det som har gjort skandium så ekstremt eksklusivt er at det er funnet uhyre få mineraler med et utnyttbart høyt innhold av skandium, egentlig bare et eneste, nemlig thorveititt fra Evje i Setesdalen. Men dette mineralet har ikke vært registrert der heller på lenge.

I tillegg til at skandium forekommer så sjeldent i utnyttbar konsentrasjon, bidrar en relativt komplisert produksjonsteknikk til å trekke prisen opp (nær knyttet til kjemien for ekstraksjon av sjeldne jordarter).

Som et tredje moment kommer det faktum inn at de to første momenter har gjort at det ikke har dannet seg noe etablert marked for skandium utenom ren forskning, hvor prisen praktisk talt ikke spiller noen rolle.

I løpet at de siste par år har imidlertid de spesielle egenskaper bare skandium har, ført til at store internasjonale konsern som Johnson Matthey, Mitsubishi, Philips, GTE Sylvania og andre har kjøpt skandium til dels til meget høye priser, fra kr 150-700 pr. gram for høyrent Sc_2O_3 . Potensielle bruksområder er innen katalyse, fosforer, zeolitter, legeringer, keramer, tracer-teknikk, laser, nukleare og røntgen.

Iflg. Jäger er de viktigste kundene for laser-kvalitet skandium: Union Carbide, Allied Chemicals, Litton Airtron og Hughes Aircraft.

Europium representerer et helt annet sett av problemer enn skandium. Europium er vesentlig mindre utbredt enn skandium, allikevel blir en rekke forekomster idag brukt som europiumkilder: bastnasitt, monazitt, apatitt m.fl. Kjemien er lignende som for skandium, bortsett fra det noe kompliserende faktum at europium har to valenser.

Det finnes bare et marked for europium som egentlig betyr noe, det er fosforer. På den annen side klarte MolyCorp på basis av bastnasitt fra Mountain Pass allerede for snart 20 år siden å skaffe seg en helt dominerende posisjon på dette marked. Prisen er uten tvil kraftig inflatert, ca. kr 10 pr. gram. Det ligger et potensiale i Fen til å bryte dette monopol i den vestlige verden. Men det er ikke lett å spå om utfallet av en slik utfordring.

Yttrium er det ene av de sjeldne jordartselementene vi kjenner grundig. Vi kjenner både prisstrukturen og markedet internasjonalt. Det spiller imidlertid en nesten neglisjerbar rolle i spørsmålet om Fen-prosjektets lønnsomhet. Det er forutsatt solgt som 60% konsentrat til kr 320 pr. kg.

Når det allikevel er tatt med i denne økonomiske analysen, er det fordi yttrium i Fen kan gjøre MCI-Megon uavhengig av råstoffimport, men først når prosjektet eventuelt er bygget ut til en industriell kapasitet meget større enn den hvor skandium og europium er utslagsgivende

Europium i Fen kan imidlertid tidlig komme indirekte til å spille en viktig rolle for avsetning av yttrium fra MCI-Megon til fosforkunder, fordi europium og yttrium selges og blir brukt i kombinasjon.

Cerium har et vel etablert marked og er det mye av i verden (og i Fen). Det har overrasket at Johnson Matthey legger så stor vekt på rødbergets innhold av cerium. De sa seg interessert i 800 tonn CeO_2 pr. år. Det kan skyldes en antatt ny sektor i markedet, som vi ikke kjenner til, muligens i katalyse (bil-industrien).

Cerium kan neppe spille noen stor rolle i de innledende prosjektfaser, før det blir aktuelt med en utbygging av Fen til større dimensjoner. Prisen er idag antatt å være kr 180 pr. kg CeO_2 .

Neodymium har først i det aller siste kommet i fokus og da som substitut for samarium i permanent-magneter. De konsekvenser dette kan få for prisstrukturen vet vi intet om. Neodymium brukes også i laser-krystaller. Det er, sammen med cerium et av de mest utbredte elementer blandt de sjeldne jordarter.

Roskill opererer i sin økonomiske oversikt 1984 med en forbausende høy pris, kr 640 pr. kg Nd_2O_3 .

Beregninger

Det er i det siste året gjort en rekke forsøk på å beregne prosjektets potensielle lønnsomhet i forskjellige dimensjoner fra 1.000 tonn rødberg pr. år til 150.000 t/år. Resultatene har vært positive, men med betydelig spredning og må derfor betraktes med tilbørlig skepsis. Årsaken er i hovedsak mangel på pålitelige data som priser, tall for solgt kvantum og erfaringsbasert underlag for kostnadsberegninger og investeringer.

Med de kunnskaper vi nå har fått om råstoff og prosesser er det grunn til å tro at vi kan komme frem til mer sikre tall for prosjektets økonomiske potentiale under vekslende forutsetninger.

Konklusjon

Fen-prosjektet byr på en enestående mulighet til å drive lønnsomt allerede i pilotfasen. I begrenset skala kan man prøve ut både markedets reaksjoner, produksjonstekniske varianter, moduler, miljøvern, mulige anvendelser av residuet etc. Alternativet 1.000 tonn rødberg pr. år kan underkastes en mere inngående økonomisk analyse med utgangspunkt i en konkret lokalisering.

Dersom pilotanlegget blir lagt til igangværende metallurgisk virksomhet, kan det komme raskt igang og dra nytte av eksisterende bygninger, service og kompetanse.

INDRE OG YTRE MILJØVERN

Rødberg inneholder 0,01-0,2% thorium. Iflg. stråleverntjenesten på IFE er dette et så lavt innhold av Th at den kan anses som inaktiv i transport og strålevernsammenheng.

Thorium faller utenfor definisjonene (atombrensel, radioaktivt produkt, atomsubstans) i Lov om atomenergivirksomhet. Th er derfor ikke underlagt International Atomic Energy Agency, IAEA's sikkerhetskontroll.

Imidlertid har prosjektledelsen allikevel engasjert Kjernekjemisk institutt på Blindern og Stråleverntjenesten på Kjeller i en faglig vurdering av den potensielle fare det måtte eventuelt representere å ta i bruk rødberg som råstoff.

Statens Institutt for Strålehygiene publiserte i 1982 en rapport av E. Stranden: "En undersøkelse av naturlig stråling i Fensfeltet ved Ulefoss". Den konkluderte bl.a. med å si at ved eventuell fremtidig gruvedrift må stråling tas med i yrkeshygieniske vurderinger ved gruvedriften.

Stråleverntjenesten på IFE sier 4.3.85 i sin konklusjon bl.a. at gammastråling eller den direkte stråling fra malmen ikke representerer noen strålefare og kan sees bort fra.

Oralt inntak av malmen burde ikke representere noe problem. Alminnelig hygiene (vask av hender) og eventuelt bruk av hansker skulle være tilstrekkelig til å sikre mot inntak av betydning.

Når det gjelder inhalasjon av støv i arbeidsatmosfæren sier IFE at forholdsregler tatt for å gi tilstrekkelig beskyttelse mot konvensjonell støvfare også vil gi tilstrekkelig beskyttelse mot stråling.

Med hensyn til avgivelse av ^{220}Rn (radon) fra malmen og resulterende luftforurensning anser IFE ikke dette som noe problem med de relativt små mengder med malm som hittil har vært håndtert. Men hvis større malmmengder skulle bli lagret innendørs, bør ^{220}Rn -konsentrasjonen kontrollmåles.

Når det gjelder utslipp til Norsjø har prosjektledelsen mottatt fra NIVA en rekke rapporter om "før-tilstanden", som referansemateriale, dersom drift i Ulefoss blir iverksatt.

Oslo, den 24. april 1985

for A/S Megon & Co.

Orvar Braaten
prosjektleder

VEDLEGG I

Rødbergitt.

Rødbergitt er pr. definisjon en hematittholdig fin til middels kornet karbonatbergart, hvori kalkspat er det dominerende karbonatet. Underordnet opptrer dolomitt, ankeritt, biotitt, kloritt, albit, flusspat, apatitt, baryt og pyrit.

De underordnede mineralene opptrer jevnt fordelt, men kan lokalt opptre i relativt høye konsentrasjoner, som f.eks. med flusspat og apatitt, stedvis baryt, er vanlig innenfor breksierte partier, utpreget gangmineraliseringer. Flere sjeldne jordartsbærende mineraler er identifisert. De viktigste er bastnesitt og synchesitt (fluor-karbonater) og monazitt (fosfat). Videre er parisitt og orthitt funnet. Hematitt opptrer som meget finfordelt støv i karbonatene. Innholdet varierer sterkt, herav også den tilsvarende skiftingen i egenfargen på friskt materiale fra nærmest grått (hematittfri) til sterkt rødbrun, 20 % eller mer hematitt.

Rødbergitten er meget uren. Bruddstykker eller inneslutninger av rauhaugitt (dolomitt, ankeritt, kloritt), damtjernitt (biotittporfyrer, pyroksen, feltspat, amfibol, nefelin), syenittiske bergarter (fenitiserte gneiser) og diabas er meget vanlige. Om rødbergittens inhomogenitet, se Kjernebeskrivelse av Bh 2-81 i Sydvaranger rapport nr. 1359; Gruvåsen diamond drilling 1981 and X-ray surface measurements.

Registreringen av inhomogeniteter er ikke av ny dato. E. Sæther omtaler denne allerede i 1957, men den høye frekvensen av "fremmedlegemene" ble først registrert i 1981, som følge av denne kjerneboringen. Hvorvidt dette er et generelt trekk i Gruvåsens berggrunn, eller det kan være et lokalt forhold, kan ikke fastslås. Det som synes å fremgå av de foreløpige undersøkelsene; fastfjellsprøvetaking, γ -målinger i dagen og berggrunnskartering, er at det er en viss korrelasjon i anomalistrukturen til γ -verdiene og fordelingen av REE etter en N-S trend som er sammenfallende med Bolladalens lengderetning og strøkretning til hematittmalmen, m.a.o. kan REE-mineraliseringen være tektonisk betinget?

Valg av bergartsmateriale til pilotforsøkene.

Som følge av rødbergittens påviste inhomogenitet har Prospektering A/S anbefalt å benytte friskt bergartsmateriale fra kjente lokaliteter innenfor Gruvåsens rødbergittkompleks.

Prospektering A/S har frarådet bruken av bergartsmateriale fra de gamle tippene ved Norsjø, det såkalte skeideberget. Prospektering A/S mener at det er stor sannsynlighet for at de aktuelle tippene ikke bare består av skeideberg, men også

av annet bergartsmateriale fra ukjente lokaliteter, til eks. stor mulighet for tilslag av materialer fra driftsstollen Fengruva - Rauhaug. Videre har siv.ing. D. Cappelen meddelt at det på sikt, både teknisk og miljømessig, kan by på problemer å ta ut rågods fra disse tippene.

Det først innsamlede prøvematerialet er fra østligste tipp beliggende nede ved Norsjø rett nord for utgangen til Hovedstollen. Det er et vilkårlig håndplukket materiale (konf. dir. O. Braaten og overing. P. Finne), bilag nr. 1.

Det andre prøvematerialet er hentet fra Vegskjæring, øst-vest strykende - like nord for utgangen til Hovedstollen, bilag nr. 2.

I Vegskjæring er det tatt ut 15 stuffer, 12 på østsiden - og 3 på vestsiden av Bolladalen.

Analyse nr. 1 omfatter stoffene nr. 1 til og med nr. 12, minus nr. 9. Denne representerer den velkjente og meget radioaktive "Hematitmalm". Ble trukket ut da denne ikke er representativ for rødbergitten.

Analyse nr. 2 vedrører kun stoff nr. 14, bilag nr. 2, og Analyserapport fra Fiskaa Verk av 27.10.83 ved P. Finne.

Det tredje innsamlede prøvematerialet vedrører fem utvalgte lokaliteter innenfor Gruvåsens rødbergittkompleks. Det er skutt ut ca. 400 kg fra hver lokalitet.

Lokalitet nr. 1 og nr. 2 representerer relativt nøytral berggrunn, d.v.s. lav radioaktivitet og ingen anomale gehalter av REE (ikke påvist ved overflateprøvetaking). Nr. 1 har forøvrig et lavt innhold av finfordelt hematit. Egenfarger er nærmest grå. Nr. 2 har et høyere innhold av finfordelt hematit, konferer egenfargen på materialet. Lokalitetene nr. 3, nr. 4 og nr. 5 representerer berggrunn med høy radioaktivitet og høyt innhold av hematit, og ellers anomale gehalter av Y, Th, P, Nd, La & Ce, således :

Nr. 3 :	høyt	Th, meget høyt P, høyt	Y, høyt La, meget høyt Ce, meget høyt Nd
Nr. 4 :	meget høyt Th, høyt	P, meget høyt Y, høyt La, meget høyt Ce,	" Nd
Nr. 5 :	meget høyt Th, høyt	P, høyt Y, høyt La, høyt	Ce, " Nd

(påvist i friskt dagnært berggrunnsmateriale), se Sydvaranger rapport nr. 1359 av 12.12.82, I. Hultin.

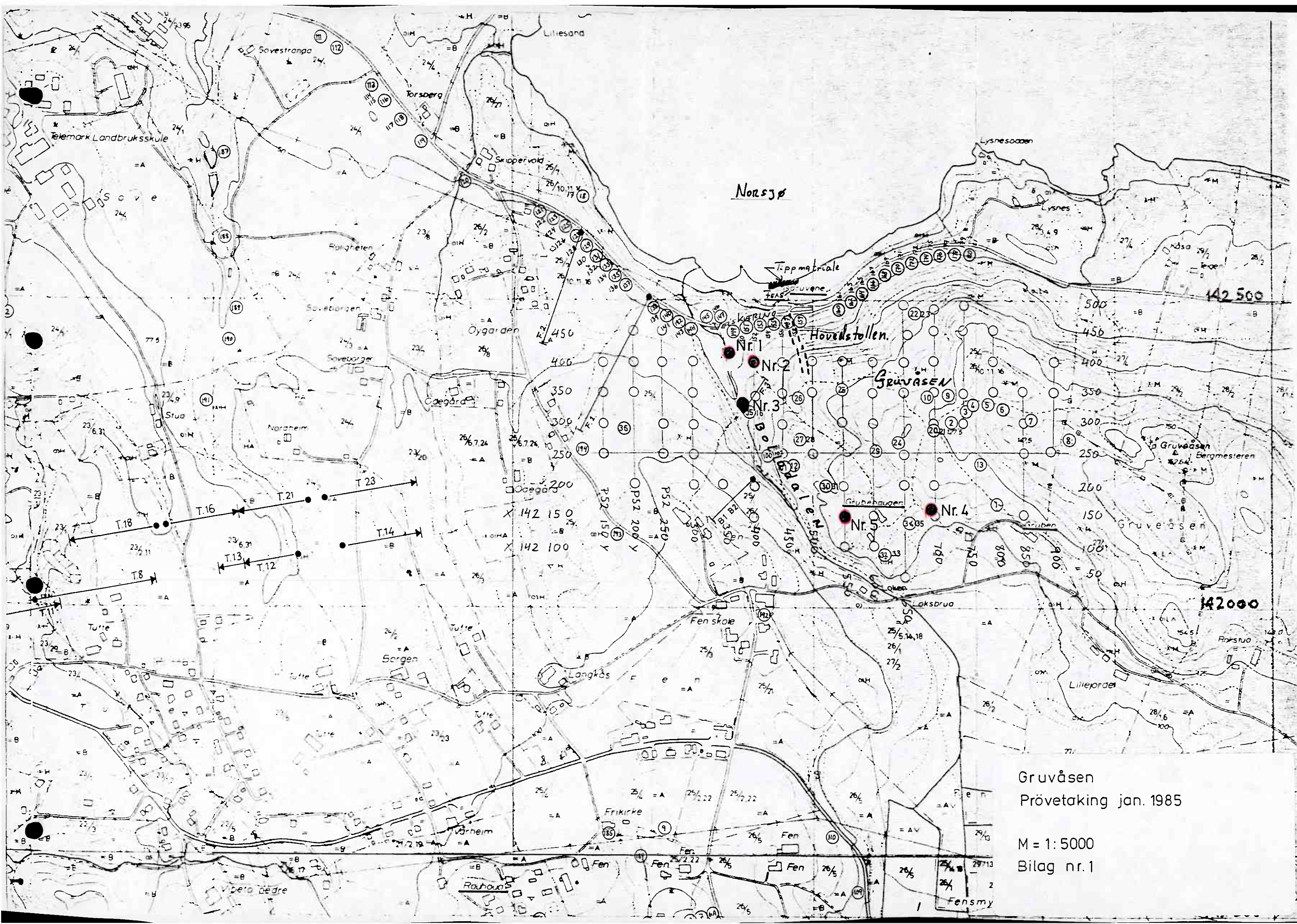
Borkjernematerialet fra Bh. 2-81 (Fenco-Union Mineral).

I forbindelse med de innledende pilotforsøkene, mente Prospektering A/S at det var overmåte viktig å få en sammenhengende analyse av utvalget REO på kjerne-materialet fra Bh. 2-81. (Den eneste kjerneboringen i Gruvåsen i Fenco - UM-samarbeidet).

Borhullets påsett er like vest av Hovedstollen, ca. 35 m rett syd for Vegskjæring. Det er boret i vest-sydvestlig retning med 45°'s fall, kartbilag nr. 3. Borhullets påsett og retning er valgt med omhu; kartleggingen av en eventuell forlengelse av Hematitmalmen fra Vegskjæringen, mulige RE-mineraliseringer i den breksierte Bolladalsberggrunnen, og ikke minst - en oppfølging av de påviste dagnære RE-gehaltene vest av Bolladalen, se Sydvaranger rapport nr. 1359. Med tanke på en slik analyse ble det nødvendige analysematerialet oversendt Fiskaa Verk våren 1983 i samråd med dir. O. Braaten.

Stabekk, 15.03.1985.

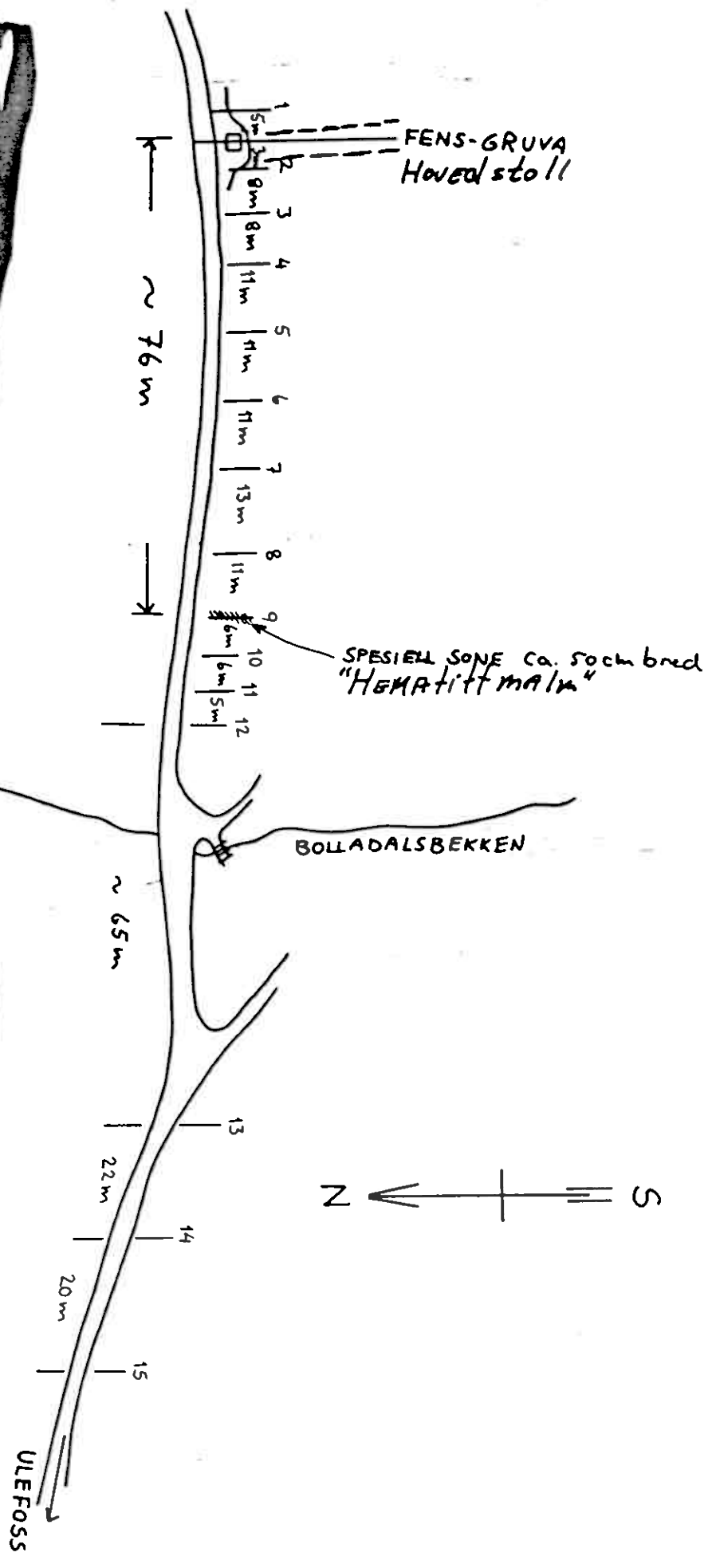

Ivar G. Hultin

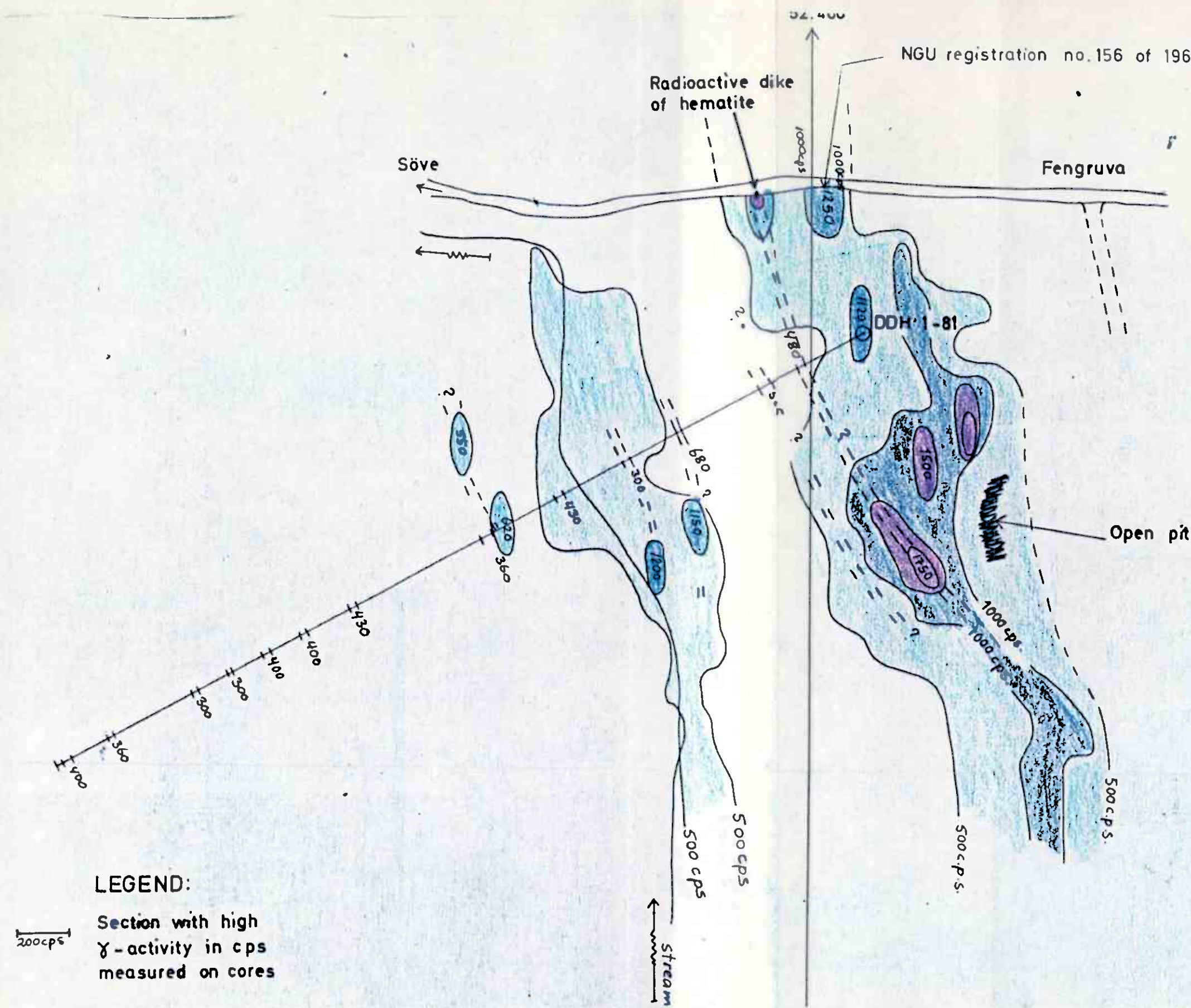


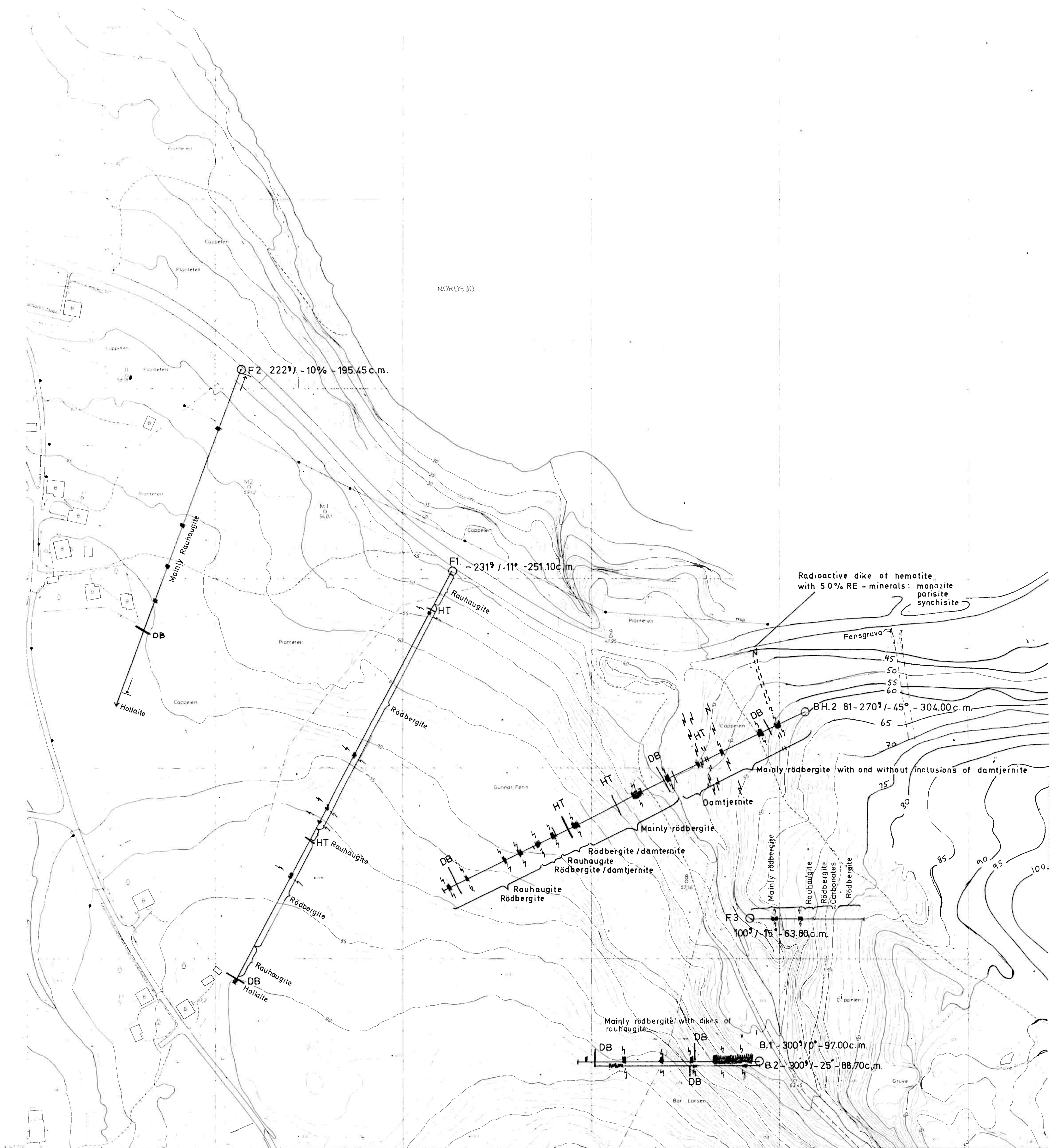
Gruvåsen
Prøvetaking jan. 1985

M = 1: 5000
Bilag nr.1

NORSJØ







VEDLEGG II

RÅSTOFF - FEN

1. W. C. Brøgger: Das Fengebiet in Telemarken, Videnskapsselskabets Skrifter I, 1920, No. 9.
2. E. Sæther: The Alkaline Rock Province of the Fen Area in Southern Norway, Videnskapsselskabets Skrifter, 1957, Nr. 1.
3. T. F. W. Barth and J. B. Ramberg: The Fen Circular Complex, Carbonatites, O. F. Tuttle and J. Gittings, Interscience 1966, p. 225-257.
4. S. Svinndal: Fensfeltet, Ulefoss, NGU-rapport nr. 776, juni/juli 1967.
5. S. Svinndal: NGU-rapport nr. 820 Undersøkelse etter sjeldne jordarts-elementer (RE) i Fensfeltet, Ulefoss, Nome, Telemark, mai - juli 1968.
6. S. Svinndal: NGU-rapport nr. 820 B Undersøkelse etter sjeldne jordarts-elementer (RE) i Fensfeltet, Ulefoss, Nome, Telemark, sept. - des. 1968.
7. S. Svinndal: RE-undersøkelser i Fensfeltet, NGU, Notat 3. juni 1969.
8. A. Semb: Contents and distribution of Rare Earth elements in minerals from the Fen Deposit, Kjernekjemisk institutt, Universitetet i Oslo, juli 1971.
9. R. Åmli: Mineralogiske og geokjemiske undersøkelser vedrørende scandium, niob og sjeldne jordarter i Fensfeltet, Ulefoss, MGM, Des. 1974.
10. R. Åmli: Carbonatites, a possible source of scandium as indicated by Sc mineralization in the Fen peralkaline complex, Southern Norway, Economic Geology, Vol. 72, No. 5, Aug. 1977.
11. K. Mørk: The Fen Project, Geology of the north eastern sector of the Fen complex - the Gruveåsen - Bolladalen Sub-area, Fenco, Sept. 1981.
12. I. Hultin: Gruvåsen Diamond Drilling, 1981 and X-ray Surface Measurements, Fen, Ulefoss, A/S Sydvaranger Rapport nr. 1359, 12.12.82.
13. T. Andersen: Iron Ores in the Fen central complex, Telemark (S. Norway): Petrography, chemical evolution and conditions of equilibrium, Norsk Geologisk Tidsskrift, Vol. 63, 1983, Nr. 2-3.

14. T. Andersen: Secondary processs in carbonatites: petrology of "rødberg" (hematite-calcite-dolomite carbonatite) in the Fen central complex, Telemark (South Norway), Lithos, 17 (1984) 227-245.
15. T. Andersen & H. Qvale: Tuffisitic carbonatites in the Fen central complex, Manuskript, svært foreløpig 1. utkast pr. des. 1984.
16. S. D. Cappelens utmål i Østre Fensfelt av 01.08.81.
SAMLEVEDLEGG I
til 4 søknader om utmål for områdene I, II, III og IV i Fensfeltet.
17. O. H. og O. Forseth,
Prøver tatt i veiskjæring ved
Fensgruva 28/6 1983.
18. T. L. Sverdrup:
Prøvetaking av undervannsmateriale ved Fengruven,
Prospektering A/S.
16.11.1983.
19. Ivar G. Hultin: Prøvetaking i Gruveåsen
10-15/1-1985, datert 11.01.1985
20. Ingrid Solli: Knusing/kalsinering av Rødberg-malm
Elkem a/s Forskningssentret,
13.2.1985
21. Scandium, 21-D-1
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1970.
22. Le scandium
dans les minereaux
et les roches encaissantes
de certaines pegmatites malgaches,
v/ K. D. Phan
avec la collaboration de
B. Foissy et M. Kerjean
J. Moatti, J. C. Schiltz,
Bull, B.R.G.M. 3-1967,
(s. 76 - 97).

PROSESSER

23. K. K. Kelley, J. C. Southard and C. T. Anderson:
Thermodynamic Properties of Gypsum and its Dehydration
Products, Technical Paper 625, US Bureau of Mines, 1941.

24. H. A. Øye: Syreluting av hematitt fra Fen med HNO_3 samt noen studier over ekstraksjon med H_2SO_4 og HCl , Oppdrag B.0522, 2913, NTH, 6.10.1970.
25. R. H. Borgwardt & R. O. Harvey: Properties of Carbonate Rocks Related to SO_2 Reactivity; Environmental Science & Technology, Vol. 6, No. 4, April 1972, p. 350-360.
26. F. P. Haver and M. M. Wong: Lime Roast-Leach Method for Treating Chalcopyrite Concentrate, RoJ 8006, US Bureau of Mines 1975.
27. T. Rosenqvist: Phase Equilibria in the Pyrometallurgy of Sulfide Ores, Metallurgical Transactions B, Vol. 9 B, No. 3, AIME Process Metallurgy, Sept. 1978.
28. P. M. Finne: Orienterende forsøk med kalsinering og laking av rødberg, Elkem Rep. No. F. 153/83, 7.9.83.
29. S. E. Engdal: Utvinning av Nb fra rødberg ved sulfatiserende røsting, 21.9.83.
- 30a. FSJ 2 - B. Gaudernack, G. Hannestad, I. Hundere: Prosess for separasjon av yttrium fra lanthanidene, Meddelt patent nr. 127964, Søknad nr. Norge 2750/71 20.07.71.
- b. FSJ 2b - B. Gaudernack, G. Hannestad, I. Hundere: Prosess for separasjon av yttrium fra lanthanidene. Meddelt patent nr. 128108, Søknad nr. 2459/73 20.07.71
- c. FSJ 3 - J. Alstad, L. Farbu: Fremgangsmåte for separasjon av sjeldne jordarts-metaller fra en blanding ved hjelp av væske-væske ekstraksjon. Søknad nr. Norge 2492/73. Meddelt patent nr. 732492 Bevilget US 4,041,125 09.08.77. Tyskland, 24 28 952, 24.07.80 Prioritetsdato 15.06.73
- d. FSJ 4 - K. Frydenlund, B. Gaudernack, G. Hannestad: Anlegg for flertrinns motstrøms-ekstraksjon av oppløst materiale fra en første til en annen væske-fase. Bevilget i Nederland nr. 162.309, 18.04.80, Søknadnr. Norge 742415 Prioritetsdato 03.07.74.
- e. FSJ 6 - Norvald Gjelsvik: Anordning ved mixer-settlere Norsk søknad nr. 783453 av 12.10.78

- f. A - 9, O. Braaten, T. Ø. Monsen, N. H. Smith-Øvland:
Fremgangsmåte for utførelse av energikrevende prosesser
hvor også svovelsyre og lignende svovelforbindelser
forbrukes.
Søknadnr. Norge 81.0696, Prioritetsdato 3.3.81, 3.9.82.
- g. O. Braaten:
Fremgangsmåte for utvinning av verdifulle elementer,
Særlig sjeldne jordarter og lignende metaller, fra en
karbonatholdig matrise.
Norsk patentsøknad o.nr. 47.308, 21.9.1983.
31. T. Guilinger: Leaching of Rare Earth Metals from the
Rødberg Ore, NTH, 27.10.1983.
32. G. H. Bøe: Status Rødberg,
Telex notat 3.1.1984.
33. R. Gundersen: Prosjekt Rødberg - Sluttrapport Fase 2,
Elkem Intern Rapport nr. F 89/84, 17.4.1984.
34. O. Warnes: Sulfatiserende røsting av Rødberg-malm,
SINTEF, arbeidsnotat, Prosjekt nr. 210000. 17,
18.5.1984.
35. T. Bjørnstad: Foreløpige resultater fra ekstraksjons-
forsøk av scandium og thorium fra vanndige svovelsure
løsninger, Kjernekjemisk Institutt, Arbeidsrapport,
juli 84.
36. Platin-Rückgewinnung bei der NH_3 -Verbrennung an
Platin/Rhodium-Netzkatalysatoren,
v/Dr. H. Holzmann
Degussa, Zweigniederlassung Hanau, Hanau,
Chemie-Ing.-Tech. 40 Jahrg. 1968/Heft 24,
(s. 1229-1237)
37. Recovering platinum in
nitric acid plants
An essential operating step.
Nitrogen No. 144, July-August 1983.
(25-29).
38. The Catalytic Etching of Platinum
and Rhodium-Platinum Gauzes,
Chrystallographic Changes during Ammonia Oxidation,
by J. Pielaszec,
Institute of Physical Chemistry of the Polish Academy of
Sciences, Warsaw, Poland
39. Combustion in Wood-Burning Stoves
Platinum Catalyst increases Thermal Efficiency and greatly
reduces Pollution.
(A.E.R.B., s. 115-116)

40. Die thermische Zersetzung des Rhodium (III)-oxids und deres Beeinflussung durch Legierungsbildung mit Platin und Palladium, von Norbert G. Schmahl und Erich Minzi, Zeitschrift für Physikalische Chemie Neue Folge Bd. S. 79-96 (1964)

ANALYSER

41. J. Alstad, O. Braaten:
"Referanseprøver", FSJ 1967 (revidert 1983).
42. A. C. Pappas et al.:
Analysesymposium om Sjeldne Jordarter, Kjernekjemisk institutt, 27.11.1968
43. S. Svinndal:
Sjeldne Jordarter, "composit sample" fra borehull F 2, 21.4.1971.
44. O. B. Michelsen:
Analysis and application of rare earth materials, Nato Advanced Study Institute, 23.-29.8.1972.
45. M. A. Roof, A. Naeem, R. Zaghloul, A. F. Abdul-Fattah, M. A. Obeid:
Multielement Neutron Activation Analysis of an Iron Ore, J. Radioanal Chem. 60 (1980), p.273-279.
46. A. Brunfeldt:
Analyser av Rødberg og Raubergitt, MGM, 27.5.83.
47. D. E. Stijfhorn:
Atomabsorpsjons-spektrometrisk-, røntgenfluorescens-, neutronaktiverings-, og kvantoplasma bestemmelsene av Nb, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Er, V, Sc, W, Ta, Mo, U og Th i 10 lakeprøver av Rødberg-malm, L.nr. 87360/362, 87365/371, IFE, 22.9.1983
48. S. E. Engdal:
Analyser av thorium og dets datterprodukter i prøver fra en forsøksserie med sulfatiserende røsting av Rødberg, 25.9.83.
49. S. E. Engdal:
X-målinger av diverse prøver tatt ved ekskursjon til Fen den 22.9.83, datert 26.9.83.
50. O. Braaten:
Fen-prosjektet, Innholdet av sjeldne jordarter i rødberg (revidert notat), datert 18.10.1983.

51. P. M. Finne:
Rødberg malm, Omregnet til opprinnelig prøve
mottatt a.lab (uglødet) Rødberg malm, Elkem
analyserapport, 27.10.83.
52. P. M. Finne:
Rødberg malm + kis = kalsinat,
omregnet til ordinært stoff (uglødet a.lab.),
Kalsinater, 27.10.83.
53. P. M. Finne:
Rødberg malm-residuer, omregnet til opprinnelig prøve
mottatt a.lab. (uglødet), Residuer, 27.10.83.
54. A. O. Brunfeldt et al.:
Sammenstilling av rødberg analyser utført høsten 1983
ved Mineralogisk-Geologisk Museum, FoU/Fiskaa Verk,
Kristiansand og IFE, Kjeller, ved forskjellige analyse-
metoder, Des. 1983.
55. T. Bjørnstad:
Substøkiometrisk isotop-fortynnings-analyse,
7.1.84.
56. T. Guilingen:
References Pertinent to Rare Earthh Metals Analysis,
(15 referanser).
57. Y. Thomassen:
Analyse av prosessløsninger,
Yrkeshygienisk Institutt, 17.2.84.
58. Radioaktivitet ved tippene fra Fens-grubene,
Map. 1, datert 20/10-82
ved Elkem a/s, Engineering Division,
(mottatt på Fen-møte 9.10.84 av Hjalte Rognså).
59. R. Gundersen: Oversikt over analyser foretatt
på diverse prøver fra Fensfeltet,
12.3.1985.

MARKED - ØKONOMI

60. Roskill Information Services Ltd.:
The Economics of Rare Earths and Yttrium,
Fifth Edition 1984.
61. Roskill Information Services Ltd.:
The Economics of Scandium,
September 1974.

62. Roskill Information Services Ltd.:
A/S Megon & Co., Survey of the Market
for Scandium, 21.11.1983.
63. G. Norum:
Europium Oxide - Market Study,
November 1983.
64. US Bureau of Mines:
Mineral Commodity Summaries 1984,
Rare-Earth Metals, p. 125,
Yttrium, p. 175.
65. J. Griffiths:
Rare- earths - attracting increasing attention,
Industrial Minerals, April 1984,
p. 19 - 37.
66. K. Reinhardt:
Seltene Erden,
Chemie in unserer Zeit, Nr. 1, 1984,
p. 24-34.
67. R. Gauguin:
Les terres rares,
Revue du centenaire de l'ecole superieure de physique
et chimie industrielle (Espci, Paris 1982).
68. O. Braaten:
Scandium production,
Internt Megon notat, 19.10.1984.
69. O. Braaten:
Fen-prosjektet, En økonomisk analyse,
Megon rapport med vedlegg:
Rentabilitet for Fen-prosjektet, 19.11.1984.
70. O. Braaten:
Fen-prosjektet, En oversikt pr. 1.9.84 for de
av eierne som har sagt seg interessert,
Konfidensiell Megon rapport, datert 1.8.1984.

INDRE OG YTRE MILJØVERN

71. NIVA:
Telemarksvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene
i perioden 1975-1979.
72. NIVA:
Rutineovervåking i Telemarksvassdraget, 1980.
Rapport nr. 20/81.

- 73. NIVA:
Rutineovervåking i Telemarksvassdraget, 1981.
Rapport nr. 31/82.
- 74. E. Stranden:
En undersøkelse av naturlig stråling
i Fensfeltet ved Ulefoss,
SIS Rapport, 1982:9.
- 75. E. Stranden:
Radon i norske gruver
1984, SIS Rapport 1984:5.
- 76. G. C. Christensen: Fen-prosjektet: Stråleverntjenesten,
IFE-notat, 10.8.84.
- 77. E. Andersen:
Strålingsfare ved rødberg,
Elkem FoU, 11.2.1985.
- 78. E. Stedje: Fenprosjektet: Strålevern,
5.3.1985.