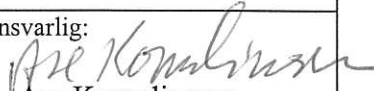


NGU Rapport 2006.030

Rekognoserende undersøkelser av et utvalg
potensielle mineralressurser i Fritzøe Skoger

Rapport nr.: 2006.030		ISSN 0800-3416	Gradering: Fortrolig til 31.03.07	
Tittel: Rekognoserende undersøkelser av et utvalg potensielle mineralressurser i Fritzøe Skoger				
Forfatter: Peter M. Ihlen, Agnes Raaness, Are Korneliussen, Øyvind Skår, Axel Müller og Gurli Meyer		Oppdragsgiver: Fritzøe Skoger AS-NGU		
Fylke: Vestfold, Telemark		Kommune: Lardal, Larvik, Porsgrunn, Siljan		
Kartblad (M=1:250.000) Skien		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1713-1 Siljan, 1713-2 Porsgrunn, 1813-4 Holmestrand		
Forekomstens navn og koordinater: se tekst		Sidetall: 19	Pris:	
Feltarbeid utført: 30.08.2005		Rapportdato: 01.04.2006	Prosjektnr.: 263100	Ansvarlig:  Are Korneliussen Lagleder industrimin.
Sammendrag: Undersøkelsene av potensielle forekomster av zirkon, high-tech-metaller og feltspat-kvarts i bergarter som opptrer på Fritzøe Skogers grunn har gitt følgende resultater:				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Larvikittmassivet med assosierte magmatiske bergarter har et potensial for opptreden av økonomiske forekomster av zirkon. Selv om det finnes bergarter med opptil 6,5 % zirkon i massivet, som langt overstiger økonomiske konsentrasjoner på 3-4 %, så er kunnskapen om opptreden av zirkon i regionen og spesielt på Fritzøe Skogers grunn meget lav og fragmentarisk. Zirkon i larvikittene synes generelt å føre mindre enn 0,05 % U+Th som er maksimumsinholdet for salgbare zirkonkonsentrater i den vestlige verden. ➤ HTM-mineraler har stor utbredelse både innenfor de vulkanske bergartene og i larvikittmassivets bergarter, men konsentrasjonene av Nb, Y og REE er generelt for lave og mineralogien for kompleks til å kunne representere interessante leteobjekt. ➤ Undersøkelser av syenitter og ekeritter i Siljanområdet ga ingen indikasjoner på opptreden av bergarter som kunne egne seg som råstoff for produksjon av samfengt kvarts-feltspat masse til keramiske fliser eller konsentrater av kalifeltspat, natronfeltspat og kvarts til keramikk og glass. Dette skyldes hovedsakelig bergartenes høye innhold av mørke mineraler, lav kornstørrelse, tilstedeværelsen av natronfeltspat med for høyt CaO-innhold, intim sammenvoksning av finkornet kalifeltspat og natronfeltspat (ekeritt) og kvarts av middels kjemisk kvalitet. <p>Det anbefales derfor at det ikke gjøres videre arbeid med forekomster av high-tech-metaller og feltspat-kvarts råstoffer. Det eneste som fortjener videre oppfølging er leting etter potensielle forekomster av zirkon i larvikittmassivet.</p>				
Emneord: Fagrapport		Industrimineraler		Evaluering
Zirkon		Feltspat		Kvarts

INNHold

1.	INNLEDNING	5
2.	ZIRKON	5
2.1	Produkter og markedsforhold	7
2.2	Potensielle forekomster	8
2.3	Konklusjoner	11
3.	HIGH-TECH METALLER (NB, Y, REE)	11
3.1	Produkter og markedsforhold	12
3.2	Potensielle forekomster	13
3.3	Konklusjoner	15
4.	FELTSPAT OG KVARTS	15
4.1	Produkter og markedsforhold	15
4.2	Potensielle syenitter	16
4.3	Potensielle ekeritter	17
4.4	Potensielle kvartsforekomster	17
4.5	Konklusjoner	18
5.	SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER	18
6.	LITTERATUR REFERANSER	19
	VEDLEGG 1	20

FIGURER

Fig. 1. Forenklet geologisk kart over sørlige del av Oslofeltet med angivelse av Seteråsen Zr-Nb-Y-REE forekomst og prøvelokaliteter (se 7. Prøveliste)

Fig. 2. Nefelinsyenittpegmatitt rik på brunlig zirkon (1 cm).

Fig. 3. Finkornet konsentrat eller sand av zirkon.

Fig. 4. Radiometrisk kart over larvikittmassivet mellom Sandefjord og Brevik som viser stråling fra thorium. Fiolette og røde områder angir høy stråling, mens lys grønne og gule områder angir normal bakgrunnsstråling. Gule ringer angir prøvelokaliteter, mens hvitt felt angir Larvik by.

Fig. 5 **a.** Zirkonkorn (hvit) sammenvokst med biotitt (grå) i larvikitten ved Eidangerfjorden. Gul målestokk er 0,2 mm. (Prøve 27491).
b. Zirkonkorn (hvit) omgitt av biotitt-rand (grå) med to korn av lamellær hemofilmenitt (lys grå). Gul målestokk er 0,2 mm. (Prøve 27491).

Fig. 6 **a.** Zirkon (hvit) omgitt av finkornet sky av zirkon og sjeldne jordartsmineraler i pegmatittgang fra Tvedalen Gul målestokk=0,02 mm. (Prøve 27487A).
b. Zirkonkorn (grå) med inneslutning av komplekst sammensatte korn av niob- og sjeldne jordartsoksider (hvit/lys grå). Gul målestokk=0,2 mm. (Tvedalen, prøve 27487B)
c. Zirkon (grå) sammenvokst med finkornete grynede aggregater av zirkon og sjeldne jordartsmineraler. Nedre høyre hjørne av Fig. 6b. Gul målestokk=0,2 mm.

Fig. 7 a-d. Polerslip (diam.=30 mm) brukt i LA-ICP-MS analyser av zirkon. Prøvenummer er angitt i henhold til Tabell 2 sammen med analysepunkt (gult), f.eks. analysenummer 27491-5 i f). Bergartene er **a)** nefelinsyenittpegmatitt, **b)** nefelinsyenittpegmatitt, **c)** larvikitt og **d)** larvikitt.

Fig. 8 a. Kartutsnitt som viser dekningsområde for radiometriske flymålinger i den sørlige del av Oslofeltet.
b. Strålingskart for thorium i samme område som i Fig. 8a. Seteråsen, Røsholt og Skisjøen Th-anomalier er angitt med piler.

Fig. 9 a. Grovkornet pyroklor
b. Grovkornet fergusonitt
c. Grovkornet euxenitt

Fig. 10 a. Brun og grønlig titanitt.
b. Grovkornet chevkinitt.
c. Grovkornet britholitt

Fig. 11 a. Grovkornet kalifeltspat.
b. Grovkornet natron-feltspat.
c. Grovkornet kvarts.

Fig. 12 a. BSE bilde av analyserte kalifeltspat-korn i porfyrisk syenitt (27495-2-1 og -2-2). Gul målestokk=0,2 mm.
b. BSE bilde av intimt sammenvokst kali- og natronfeltspat (27492-1-1 og -1-2). Gul målestokk er 0,02 mm.

TABELLER

Tabell 1. Innhold av zirkon i vekt % i forskjellige bergarter i larvikittmassivet hentet fra zirkonium-analyser gitt i Hysingjord og Thorkildsen (1971), Hysingjord (1973, 1974) og Ihlen (1983).

Tabell 2. LA-ICP-MS analyser av uran (U), thorium (Th) og Hafnium (Hf) i zirkon i prøver av nefelinsyenittpegmatitter og larvikitter. NIST 612 er brukt som ekstern standard i beregninger av deteksjonsgrenser for hver analyse, mens NIST 610 og BHVO-2 ble brukt som kontrollstandarder. Analysenøyaktigheten er 4 % for U og 5 % for Th. 1 ppm = 0,0001 vekt %.

Tabell 3. Beregninger av in situ malmverdi for 1 tonn av syenittisk lava basert på gjennomsnittsinhold av high-tech-metalloksider (HTM) i forekomsten (Ihlen, 1983) og priser hentet fra Industrial Minerals (desember 2005) og USGS Minerals Yearbook (2004) for Nb som er estimert fra nivå i 1998. 1 US\$=6,79 NOK.. Pris for Y_2O_3 varierer i området 5-12 US\$. Beregnet totalverdi er også gitt for forekomsten basert på malmreserver på 10 millioner tonn, dvs. drift ned til ca. 100 m under overflaten.

Tabell 4. SEM analyser av kali- og natronfeltspat i syenitter og ekeritter. SiO_2 =silisiumoksid, Al_2O_3 =aluminiumoksid, Fe_2O_3 =jernoksid, CaO=kalsiumoksid, Na_2O =natriumoksid, K_2O =kaliumoksid. ND=ikke påvist (<0,1 %). Lys gul=kalifeltspat, lys blå=natronfeltspat og lys brun=alkalifeltspat (se Fig. 12b)

Tabell 5. LA-ICP-MS analyser av kvarts i prøver av granitter og syenitter. Li=litium, Al=Aluminium, P=fosfor, Ti=titan, Fe=jern og B=bor. < = mindre enn.

VEDLEGG

Vedlegg 1. Prøveliste

1. INNLEDNING

I henhold til referat fra møte den 12.07.05 mellom Fritzøe Skoger (Gudmund Nordtun), MMConsult (Magne Martinsen) og Norges Geologiske Undersøkelse (NGU/ Peter M. Ihlen) ble det bestemt at NGU skulle foreta følgende undersøkelser:

- **Potensialet for drift av mineralet zirkon i larvikitt:**
Det finnes steder i larvikitten der det er observert konsentrerte mengder med zirkon. Konsentrasjonen av zirkon må være over 4%. Basert på magnetiske og radiometriske målinger, foretatt over Vestfold Fylke ser NGU på mulighetene. Hvis noen områder peker seg ut bør disse undersøkes nærmere i felt.
- **Potensialet for utvinning av sjeldne elementer (REE, Nb, Zr) med høy pris:**
Det er registrert et funn av en relativt sterk konsentrasjon av de over nevnte elementer på Seteråsen like nord for Kvelde. Denne ble funnet av NGU på basis av geofysiske målinger (radioaktivitet-thorium) og er senere kartlagt og kjerneboret. Det er gjort nye geofysiske målinger og NGU går gjennom disse for å se om det finnes flere slike radioaktive områder. Prisene på slike elementer er i sterk vekst, og kan ha et meget stort økonomisk potensial.
- **Potensial for drift av feltspat til spesialprodukter:**
Interessen i verdensmarkedet for feltspat til keramiske produkter er for tiden økende. Flere av bergartene på eiendommen har et meget høyt innhold av grovkornet feltspat. Kravet til bergarten er at feltspatkornene bør være over 0,5 cm og innholdet av K_2O i feltspaten skal være over 12,5%. Prøver samles inn av MMC og NGU som undersøker om noen av de feltspat-rike bergartene egner seg til slik produksjon, eventuelt i kombinasjon med fremstilling av kvartskonsentrater. Det finnes et selskap på Sørlandet (North Cape Minerals, Lillesand) som kunne være interessert i å kjøpe slike produkter.

Ut fra budsjetterte kostnader for undersøkelsene av mulige ressurser av zirkonium (Zr), niobium (Nb), yttrium (Y), sjeldne jordartsmetaller (REE) og kvarts-feltspat på Fritzøe Skogers eiendom må de anses å være av rekognoserende art. Feltbefaringer ble utført 12.07 og 01.09. Dette notatet gir noen markedsmessige vurderinger av ressursene og beskriver resultatene av feltarbeidet og etterfølgende laboratorieundersøkelser ved NGU som ligger til grunn for noen spesifikke anbefalinger for videre arbeid. Det bør understrekes at oppgitte priser i teksten for potensielle mineralprodukter kun er veiledende og må i hvert tilfelle forhandles med eventuelle kjøpere. Veiledende priser finnes i tidsskriftet Industrial Minerals (IM) som utkommer månedlig og i boken The Industrial Minerals Handybook som er utgitt i 2002 av IM for zirkon, yttrium, sjeldne jordartsmetaller (rare earths), feltspat og kvarts. Priser på niob-mineralkonsentrater og niobium-metall er det vanskelig å finne data på grunnet dets bruk i fly- og våpenindustri.

2. ZIRKON

Larvikittmassivet som strekker seg fra Tønsberg til Brevik og partvis nordover til Skrim (Fig. 1) inneholder bergarter som mange steder kan være rike på zirkon-holdige mineraler. Massivet består hovedsakelig av monzonittiske intrusiver eller larvikitter som inneholder partvis høye konsentrasjoner av zirkon ($ZrSiO_4$) som sjelden overstiger noen mm i kornstørrelse. I tillegg opptrer underordnede mengder av baddeleyitt (ZrO_2) og enkelte andre typer av zirkonium-holdige mineraler. Dette betyr at bulkanalyser av zirkonium i larvikitten ikke nødvendigvis gir den totale mengden av zirkon i bergarten. Larvikittene gjennomsettes av en rekke gangbergarter og kropper av syenitter, albititter, kvartsporfyrrer og grovkrystalline pegmatittiske nefelinsyenitter. Den sistnevnte typen som medvirker til dannelse av skrotstein i larvikittbruddene, inneholder meget grovkornet

zirkon som kan nå kornstørrelser på flere cm (Fig. 2). Så langt har mer enn 13 forskjellige zirkonium-mineraler og en rekke andre sjeldne mineraler blitt påvist i slike ganger og mange av disse mineralene vil ha salgsverdi som samleobjekter for museer og private mineralsamlere.

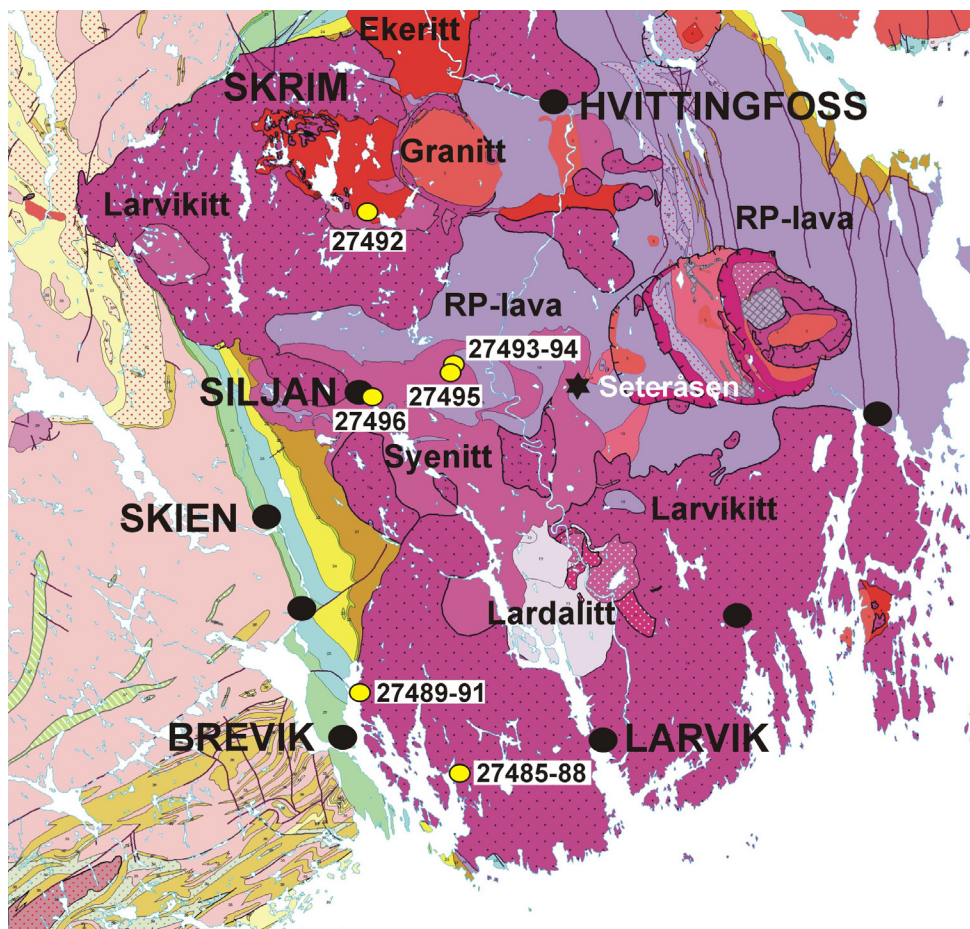


Fig. 1. Forenklet geologisk kart over sørlige del av Oslofeltet med angivelse av Seteråsen Zr-Nb-Y-REE forekomst og prøvelokaliteter (se Vedlegg 1)



Fig. 2. Nefelinsyenittpegmatitt rik på brunlig zirkon (1 cm).

2.1 Produkter og markedsforhold

Sand eller konsentrater bestående nesten utelukkende av zirkon (> 98 %; Fig. 3) utvinnes i dag ved enkle mineralsepareringsmetoder fra naturlige sandavsetninger som hovedsakelig utnyttes for deres innhold av titan-mineraler med zirkon som biprodukt. Verdensproduksjonen av zirkon som i 2001 var på totalt 760 000 tonn er dermed avhengig av zirkonmengden i de til en hver tid produktive tungmineralforekomster. Dette betyr at det i perioder produseres mindre zirkon enn det markedet etterspør. Prisen for zirkon fluktuerer derfor en del og i løpet av det siste året har prisen steget med mer enn \$ 200 til \$ 620-750 *per* tonn zirkonsand/konsentrat eller NOK 4210-5090 *per* tonn, når 1 \$ = NOK 6,79. Grunnet miljømessige årsaker har det etter hvert blitt lagt restriksjoner på utnyttelsen av slike strandavsetninger av tungmineraler spesielt blant industrilandene i den vestlige verden, dvs. USA og Australia. Flere produsenter og konsumenter av zirkon har dermed begynt å se på mulighetene for utnyttelse av zirkon-rike bergarter og fremstilling av zirkonkonsentrater i mer avanserte mineralsepareringsanlegg. Ut fra dagens priser vil en bergart som inneholder mer enn 3 % zirkon være et interessant undersøkelsesobjekt. Men kravet til lavt innhold av miljøskadelige grunnstoffer er økende for alle typer av industrimineraler. Det betyr at innholdet av radioaktive elementer som uran og thorium må være lavt for at zirkonsanden kan omsettes. I dag er maksimalgrensen for samlet innhold av uran og thorium i zirkonsand eller -konsentrat som omsettes i den vestlige verden satt til 0,05 vekt %, dvs. U+Th = 0,05 %.

Zirkon-sand er hovedråstoffet for utvinning av grunnstoffet hafnium som opptrer i små konsentrasjoner i krystallgitteret. Zirkon tåler høye temperaturer og har god motstandsdyktighet mot korrosjon noe som utnyttes i keramikk, ildfaste materialer og i støpeformer. Dets hardhet utnyttes i slipemidler. Zirkon brukes dessuten i fremstillingen av syntetisk zirkonia (ZrO_2) og zirkonmetall som videre er råstoff for fremstilling av en rekke zirkonium-kjemikalier og -legeringer med forskjellige anvendelser, bl.a. i fargepigment, elektronikk og glass-keramikk, utløsere for airbager i biler, maling og i optisk glass for å forandre brytningsindeksen.



Fig. 3. Finkornet konsentrat eller sand av zirkon.

Baddeleyitt som i dag hovedsakelig utvinnes fra karbonatittbergarter og som dermed krever en del mineralprosessering for å fremstille rene konsentrater av mineralet, har en pris som ligger fire ganger høyere enn prisen for zirkon. Baddeleyitt har meget høyere smeltetemperatur (2700°C) enn zirkon og er derfor etterspurt til fremstilling av en rekke spesialprodukter med høy varmemotstand.

Ut fra prisen på baddeleyitt må innholdet i larvikitten overstige 0,5-1 % for å være økonomisk interessant, noe som er helt urealistisk konsentrasjonsnivåer for larvikittene.

2.2 Potensielle forekomster

NGU foretok i begynnelsen av 1970 årene radiometriske målinger av veiskjæringer fra bil (Hysingjord og Thorkildsen, 1971; Hysingjord, 1974). I den sammenheng ble en rekke bergartssoner med forhøyet stråling fra thorium registrert og prøvetatt. Prøvene ble rutinemessig analysert for grunnstoffene thorium, uran, niob (Nb) og yttrium (Y), mens analyser av cerium (Ce), lantan (La) og zirkonium (Zr) bare ble foretatt på et utvalg av prøver. Analysene viste at de radiometriske anomalierne i larvikittene ofte er knyttet til forhøyet innhold av Nb, Y og Ce. Men det syntes ikke å være noen sammenheng mellom Zr-rike prøver og intensitet av radioaktiv stråling eller magnetisme på prøvestedet. Men det bør understrekes at antallet av prøvelokaliteter er for lavt til å trekke noen sikre konklusjoner. Beregninger basert på det begrensede antall av Zr-analyser gitt av Hysingjord og Thorkildsen (1971) og Hysingjord (1973, 1974) viser at mengden av mineralet zirkon i larvikitten ligger i området 0,8-2,0 vekt % (Tabell 1), dvs. maksimalverdier som etter dagens priser er subøkonomiske. Men det store spekteret av forskjellige bergarter med partivis høyt innhold av zirkon viser at larvikittmassivet representerer en zirkon provins med muligheter for opptreden av økonomiske konsentrasjoner av zirkon. En gjennomgang av tidligere rapporter og publiserte artikler om larvikittmassivet viser dog at kunnskapen om fordelingen av zirkon og ledsagende mineraler av Nb, Y og REE i massivet og i de enkelte bergartene er meget fragmentarisk.

Tabell 1. Innhold av zirkon i vekt % i forskjellige bergarter i larvikittmassivet hentet fra zirkonium-analyser gitt i Hysingjord og Thorkildsen (1971), Hysingjord (1973, 1974) og Ihlen (1983).

BERGART	LARVIKITT (vest for Larvik)	ALBITITT (Landgangen)	NEFELIN- SYENITT- PEGMATITT (vest for Farrisvann)	SYENITT/ LARDALITT (Kodal- Farrisvann)	KVARTS- PORFYR (Tjøme)	TRAKYTT (Seteråsen)
Zirkon- innhold (%)	0,8-2,0	1,4-2,6	2,0-3,4	1,0-1,4	0,9-6,4	2,0-3,2

NGU har innsamlet prøver av larvikitt med forhøyet thorium-innhold (fiolette og røde områder i Fig. 4) fra et område langs østsiden av Eidangerfjorden og av nefelinsyenittpegmatitter i bruddområdet på Tvedalen for å teste om zirkonkornene inneholdt små nok mengder av thorium og uran til å oppfylle de kjemiske kvalitetskravene til konsentrater på maksimalt 0,05 % U+Th. Mikroskopi og SEM (Scanning Electron Microscop) undersøkelser av larvikitt-prøvene viser at de fører 1-2 mm store korn av zirkon (BSEI, Back-Scatter Electron Image, bilder i Fig. 5a-b;) som til dels opptrer sammenvokst med jern-titan-oksyder (ilmenitt, hemoilmenitt, Fig. 5b) og lokalt enkelte korn av Nb-mineraler. Mineralogien er meget enkel i forhold til nefelinsyenittpegmatittene i Tvedalen. Pegmatittene inneholder 1-10 mm store korn av zirkon som ofte er sammenvokst med og/eller fører inneslutninger (0,001-2 mm) av komplekst sammensatte oksid-, fosfat- og silikatmineraler av titan, niob, cerium, lantan, thorium, uran, zirkonium og/eller kalsium. Et annet forhold er at zirkon til dels opptrer i ekstremt finkornete skyer med kornstørrelser i området 0,001-0,01 mm (BSE-bilder i Fig. 6a-c).

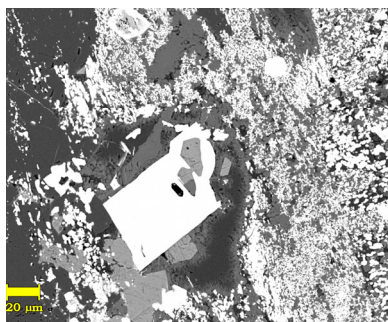


Fig. 6a. Zirkon (hvit) omgitt av finkornet sky av zirkon og sjeldne jordartsmineraler i pegmatittgang fra Tvedalen. Gul målestokk=0,02 mm. (Prøve 27487A).

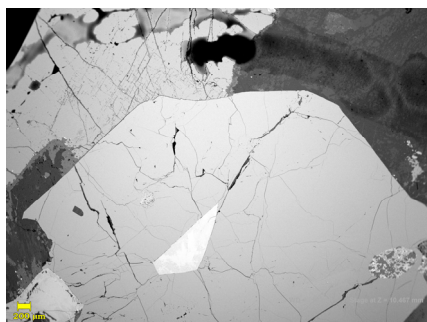


Fig. 6b. Zirrkorn (grå) med innslutning av komplekst sammensatte korn av niob-og sjeldne jordartsoksider (hvit/lys grå). Gul målestokk=0,2 mm. (Tvedalen, prøve 27487B)

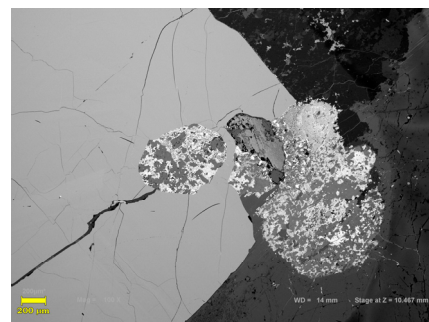


Fig. 6c. Zirkon (grå) sammenvokst med finkornete grynede aggregater av zirkon og sjeldne jordartsmineraler. Nedre høyre hjørne av Fig. 6b. Gul målestokk=0,2 mm.

EDS- og WDS-analyser (Energy Dispersive Spectrometry/Wavelength Dispersive Spectrometry) med SEM er utført på zirkonkorn i prøver fra Eidangerfjorden og Tvedalen, men ingen av disse ga noen utslag for de kritiske grunnstoffene Th og U. Tellestider på 600 sekunder eller 10 minutter gir grenseverdier for de laveste konsentrasjonene som det er mulig å bestemme (deteksjonsgrense) på 0,06 % U og 0,06 % Th, dvs. deteksjonsgrensene ligger over maksimumskravet på 0,05 % U+Th. Konsentrasjonene av disse to elementene i zirkon har derfor blitt bestemt med massespektrometriske laserablasjonsanalyser (LA-ICP-MS) på prøver vist i Fig. 7a-d.

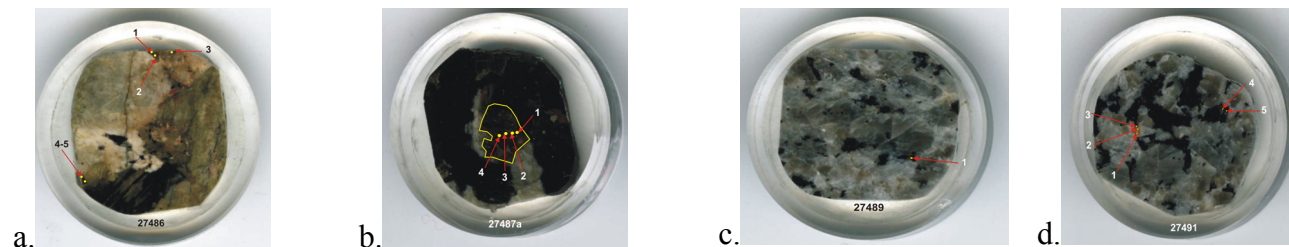


Fig. 7a-d. Polerslip (diam.=30 mm) brukt i LA-ICP-MS analyser av zirkon. Prøvenummer er angitt i henhold til Tabell 2 sammen med analysepunkt (gult), f.eks. analysenummer 27491-5 i f). Bergartene er a) nefelinsyenittpegmatitt, b) nefelinsyenittpegmatitt, c) larvikitt og d) larvikitt.

Analyseresultatene i Tabell 2 viser at zirkon i nefelinsyenittpegmatittene generelt har et høyt innhold av spesielt U (214-638 ppm), men også Th (33-339 ppm) og samlet innhold av disse ligger i de fleste av de analyserte kornene over 500 ppm eller 0,05 % U+Th. Dette betyr at zirkonkonsentrater fremstilt av nefelinsyenittpegmatitter vil ha et forventet innhold av U+Th som vil ligge over kravet på 0,05 % for omsettbare konsentrater.

Innholdet av U og Th i zirkon i analyserte larvikitter er generelt mindre enn 100 ppm for hver av elementene, dvs. maks 92 ppm U og 112 ppm Th. Dette betyr at forventet innhold av U+Th i zirkonkonsentrater fremstilt fra larvikitter vil ligge under kravet på 0,05 % for salgbare konsentrater. Innholdet av hafnium i zirkon ligger rundt 1 % (Tabell 2). Dette er for lavt til å kunne gi noen økning i prisen for konsentratene, da hafnium normalt ekstraheres fra zirkon med betydelig høyere innhold av Hf.

Tabell 2. LA-ICP-MS analyser av uran (U), thorium (Th) og Hafnium (Hf) i zirkon i prøver av nefelinsyenittpegmatittter og larvikitter. NIST 612 er brukt som ekstern standard i beregninger av deteksjonsgrenser for hver analyse, mens NIST 610 og BHVO-2 ble brukt som kontrollstandarder. Analysenøyaktigheten er 4 % for U og 5 % for Th. 1 ppm = 0,0001 vekt %.

ANALYSE NR.	BERGART	URAN (ppm)		THORIUM (ppm)		Hafnium (%)
		Konsentrasjon	Usikkerhet	Konsentrasjon	Usikkerhet	
27487a-1	Nefelinsyenitt pegm.	214	±8	116	±4	1,02
27487a-2	Nefelinsyenitt pegm.	346	±12	344	±11	0,95
27487a-3	Nefelinsyenitt pegm.	320	±11	339	±10	0,95
27487a-4	Nefelinsyenitt pegm.	335	±12	331	±10	0,93
27486-1	Nefelinsyenitt pegm.	305	±11	224	±7	1,15
27486-2	Nefelinsyenitt pegm.	376	±13	178	±6	1,13
27486-3	Nefelinsyenitt pegm.	551	±19	33	±1	1,62
27486-4	Nefelinsyenitt pegm.	638	±22	66	±2	1,14
27486-5	Nefelinsyenitt pegm.	362	±13	61	±2	1,18
27489-1	Larvikitt	92	±3	112	±3	0,85
27491-1	Larvikitt	74	±3	101	±3	0,81
27491-2	Larvikitt	52	±2	84	±3	0,81
27491-3	Larvikitt	45	±2	66	±2	0,82
27491-4	Larvikitt	92	±3	96	±3	0,86
27491-5	Larvikitt	40	±1	55	±2	0,87

2.3 Konklusjoner

Zirkon i larvikitter synes i henhold til LA-ICP-MS analysene å ha en kjemisk kvalitet som tilfredsstillende kravet til kommersielle zirkonkonsentrater når det gjelder innhold av thorium og uran. Det har ikke blitt påvist noen sammenheng mellom zirkon-rike prøver og vertsbergartenes Th-stråling eller magnetisme. Derfor er det ikke mulig å bekrefte eller avkrefte ut fra flybårne radiometriske og magnetiske målinger om det finnes potensielt Zr-rike bergarter på Fritzøe Skogers grunn.

Pegmatittiske nefelinsyenittganger som representerer vrakstein ved produksjon av blokkstein fra larvikittene kan ikke alene anvendes som råstoff for fremstilling av zirkonkonsentrater. Dette skyldes at zirkonkornene inneholder for mye U+Th (mer enn 500 ppm). Men grunnet den lave andelen av pegmatittganger i de fleste bruddområdene og ellers i larvikitten, er det sannsynligvis ikke nødvendig å ta hensyn til gangene ved bryting og prosessering av zirkon-rike larvikitter (eventuelt zirkon-rik vrakstein fra bruddene).

Siden det hittil ikke er fremkommet noen klare negative resultater av undersøkelsene vil NGU anbefale at arbeidet med zirkon i larvikittmassivet videreføres. Videre undersøkelser bør fokusere på bestemmelser av zirkon-innholdet i larvikitter og assosierte bergarter som opptrer i eksisterende bruddområder og i skjæringer langs veier på Fritzøe Skogers grunn. Bestemmelsene gjøres med bærbar analyseinstrument som kan leies for undersøkelsesperioden.

3. HIGH-TECH METALLER (Nb, Y, REE)

En av hovedkomponentene i berggrunnen i Oslofeltet er alkaline magmatiske bergarter som vanligvis fører forhøyet innhold av grunnstoffene niobium (Nb), yttrium (Y), sjeldne jordartsmetaller (REE), zirkonium (Zr) og thorium (Th). Niob inngår i rustfritt stål og er av strategisk betydning som ingrediens i en rekke typer av jern- og nikkelt-baserte spesiallegeringer med ekstrem varmemotstand som brukes i jetmotorer, raketmotorer og andre

typer av forbrenningssystemer. Y og REE inngår i en rekke høy-teknologiske spesialprodukter som glass- og plasmaskjermene i datamaskiner og fjernsynsapparater, samt i billedrør hvor de bl.a. brukes til å generere fargespektra. Nb, Y og REE som her er betegnet high-tech metaller (HTM) opptrer ofte sammen med thorium som er et radioaktivt grunnstoff. Den radioaktive strålingen øker med mengden av thorium i bergarten og strålingsintensiteten kan måles med geigerteller eller med scintillometer fra fly, såkalte radiometriske flymålinger (Fig. 8a-b). Thorium har liten anvendelse i dag, men vil sannsynligvis på lang sikt bli meget etterspurt som brenselkilde i atomkraftverk grunnet at farlige produkter (f.eks. plutonium fra uran) ikke dannes ved spalting av thorium.

3.1 Produkter og markedsforhold

Niob, yttrium og sjeldne jordartsmetaller omsettes i form av egne konsentrater av mineraler med høyt innhold av disse elementene. Ren niob fremstilles fra mineralene pyroklor og columbitt som er komplekse niob (Nb)-tantal (Ta)-oksidmineraler med 50-70 % nioboksid (Nb_2O_5). Disse mineralene utvinnes fra karbonatittbergarter tilsvarende de i Fensfeltet ved Ulefoss. Yttrium og sjeldne jordartsmetaller som lantanium (La), cerium (Ce), neodymium (Nd), europium (Eu), osv. produseres fra spesielle typer av naturlig leire og fra mineralene xenotim (yttrium-fosfat), monazitt (ceriumfosfat) og bastnäsitt (lantan-cerium-fluorkarbonat) som opptrer hovedsakelig i strandavsetninger av tungmineralsand, i karbonatittbergarter og assosierte alkaline bergarter (bastenäsitt). Andre typer av Nb-, Y-, og REE-rike mineraler enn de som er nevnt over, har ingen kommersiell verdi. Hvis slike mineraler skal brukes kreves det egne prosesseringsanlegg ved gruvene hvor rene metalloksider fremstilles fra mineralene. Slike oksidforbindelser som må inneholde mindre enn 0,1-1 % forurensninger av andre grunnstoffer (bl.a. U og Th) er fullt omsettelige på verdensmarkedet til priser angitt i Tabell 3. Verdensproduksjonen av metallisk Y+REE var i 2001 på 83000 tonn. Men det finnes i dag meget store ressurser av disse grunnstoffene, så noen spesiell sterk prisøkning kan ikke forventes de nærmeste årene. Dette gjelder også niob som i flere år har hatt stabile priser. Verdensproduksjonen omregnet til Nb_2O_5 var i 2004 på 49000 tonn, mens reserver i kjente forekomster utgjør 94 mill. tonn Nb_2O_5 . Den eneste muligheten for økte priser er nye bruksområder for HTM og dermed økt etterspørsel, men grunnet de store reservene vil en eventuell prisøkning ikke bli langvarig.



Fig. 8a. Kartutsnitt som viser dekningsområde for radiometriske flymålinger i den sørlige del av Oslofeltet.



Fig. 8b. Strålingskart for thorium i samme område som i Fig. 8a. Seteråsen, Røsholt og Skisjøen Th-anomalier er angitt med piler.

3.2 Potensielle forekomster

De fleste bergartene som utgjør berggrunnen i Fritzøe skoger inneholder underordnede og uøkonomiske mengder av mineraler med høyt innhold av disse high-tech metallene, bl.a. larvikitter, nefelinsyenitter, syenitter og ekeritter/granitter omtalt i dette notatet. Det eneste kjente stedet i den sørlige del av Oslofeltet hvor slike mineraler opptrer i store konsentrasjoner er på Seteråsen på østsiden av Lågendalen like nordøst for Hvarnes (Fig. 1 og 8b). Denne forekomsten ble funnet ved radiometriske flymålinger av NGU grunnet høye konsentrasjoner av thorium i de mineraliserte bergartene. Disse omfatter to nærliggende syenittiske lavastrømmer (traktytter) som er impregnert med finkornete mineraler (mindre enn 0,1 mm korn) av HTM. De to lavaenhetene utgjør deler av en tykk lagpakke av rombeporfyr-lavaer (RP-lavaer) som også finnes vestover i Siljan (Fig. 1) og innenfor Fritzøe Skogers eiendom. De mineraliserte lavaene fører mye av ekstremt finkornet (<0,01 mm) zirkon (se Tabell 1) sammen med en rekke komplekst sammensatte mineraler med høyt, men varierende innhold av Nb, Y, La, Ce, Nd og Th (Ihlen, 1983). Disse omfatter de Nb-rike mineralene pyroklor (Nb, Ce, Nd, Th, Y), fergusonitt (Nb, Y, Ce, Nd), euxenitt (Nb, Ce, Th, Nd, Y, La) og titanitt (Nb, Y) (Fig. 9a-c og 10a) og REE-mineralene chevkinitt (La, Ce, Nd, Y, Th, Zr) og apatitt-britholitt (Ce, La, Nd, Y, Th) (Fig. 10b-c). HTM angitt i parentes er satt opp etter avtagende konsentrasjoner som overstiger 1 vekt %. Av de sjeldne jordartsmetallene (REE) er bare La, Ce og Nd analysert.



Fig. 9a. Grovkornet pyroklor



Fig. 9b. Grovkornet fergusonitt



Fig. 9c. Grovkornet euxenitt

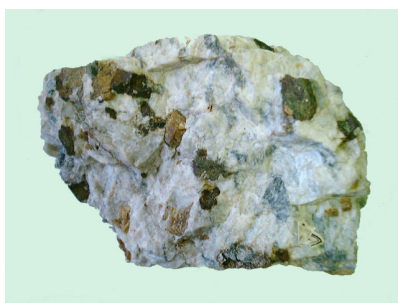


Fig. 10a. Brun og grønlig titanitt.



Fig. 10b. Grovkornet chevkinitt.



Fig. 10c. Grovkornet britholitt

Malmreserveberegninger utført av Ihlen (1983) for de to lavaenhetene i forekomsten ned til ca. 75 m under overflaten, gir en samlet reserve på 8 millioner tonn med gjennomsnittlig 0,3533 % Nb₂O₅, 0,2155 % Ce₂O₃, 0,1337 % La₂O₃, 0,0947 % Y₂O₃, 0,0805 % Nd₂O₃ og 0,0551 % ThO₂. Gjennomsnittlig zirkoninnhold ligger på ca. 2,3 vekt %.

Tabell 3. Beregninger av *in situ* malmverdi for 1 tonn av syenittisk lava basert på gjennomsnittsinnhold av high-tech-metalloksider (HTM) i forekomsten (Ihlen, 1983) og priser hentet fra *Industrial Minerals* (desember 2005) og *USGS Minerals Yearbook* (2004) for Nb som er estimert fra nivå i 1998. 1 US\$=6,79 NOK.. Pris for Y_2O_3 varier i området 5-12 US\$. Beregnet totalverdi er også gitt for forekomsten basert på malmreserver på 10 millioner tonn, dvs. drift ned til ca. 100 m under overflaten.

HTM/ PRIS, US\$	Nb₂O₅ 7,00	Y₂O₃ 10,00	La₂O₃ 1,90	Ce₂O₃ 2,75	Nd₂O₃ 9,10	SUM
Gj.sn. (%) i forekomst	0,0353	0,095	0,134	0,216	0,081	
Kg HTM per tonn	3,53	0,95	1,34	2,16	0,81	8,79
Verdi i US\$ per tonn	24,71	9,50	2,55	5,94	7,37	50,07
Verdi i NOK per tonn	167,78	64,51	17,31	40,33	50,05	339,98
Verdi i NOK av 10 Mt	1678 mill.	645 mill.	173 mill.	403 mill.	500 mill.	3400 mill.

Disse konsentrasjonene av high-tech-metaller vil ut fra nåværende priser gi en *in situ* eller brutto malmverdi på NOK 340 per tonn stein eller omtrent 3,4 milliarder NOK for hele forekomsten. Brutto råmalmverdi ville blitt noe høyere hvis verdien av andre mer sjeldne typer av tunge REE-metaller hadde blitt inkludert. Disse elementene opptrer normalt i mindre mengder enn de i Tabell 3, men forekommer alltid sammen med de andre REE-metallene i HTM-mineraler. Siden de er mer sjeldne i naturen er prisen vanligvis høy, f.eks. europium (Eu) er priset til 270 US\$ per kilo og lutetium (Lu) til 3500 US\$ (2001). I tillegg er heller ikke mengden av tantal (Ta) i pyroklor analysert. Tantal er i dag priset med US\$ 88 per kg Ta_2O_5 i mineralkonsentrater med minimum 60 % Ta_2O_5 i henhold til *Mining Journal*, desember 2005. Hvis disse tilleggene medregnes vil brutto råmalmverdi ligge rundt NOK 350. Hvis verdien av zirkon (NOK 4500 per tonn zirkon) medregnes så øker malmverdien til ca. NOK 460. Kali- og natronfeltspat som er hovedmineralene i lavabergarten er for finkornet (0,1-0,5 mm) til å kunne utnyttes kommersielt og fører dessuten for mye inneslutninger av zirkon og de andre HTM-mineraler.

Komplekse verdimineraler, liten kornstørrelse og høyt innhold av thorium, samt forekomstens lave malmreserver og råmalmverdi er de viktigste årsakene til at det ikke er mulig å skape en drift med god fortjeneste, hvis noen overhode. Av verdimineralene er det bare pyroklor og zirkon som er lett omsettelig hvis det kan skapes rene konsentrater. Men det finnes i dag ingen standard mineralsepareringsmetoder som kan utnytte kornstørrelser under 0,1 mm uten at det skapes mye u håndterbart finkornet slam og dermed mye tap i utvinningsprosessen. Dessuten er mineralene pyroklor, chevkinitt, Nb-REE-titanitt, fergusonitt og euxenitt tungt løslige i syrer. Grov-maling av malmen etterfulgt av en standard syreløsningsprosess i lukkede tanker synes derfor ikke å være et brukbart alternativ for å utvinne Nb, Y og REE. Det eneste mineralet som er lett løslig, er fosfatmineralet britholitt som er rik på REE, men har relativt liten utbredelse i forekomsten. Siden thorium ikke har noen spesiell anvendelse i dag betyr det at det thoriumholdige og radioaktive avfallet må legges i egne deponier.

En malmverdi på omtrent NOK 460 er alt for lavt til å dekke driftskostnader for gruve- og separeringsanlegg. Regnes det 30 % tap av malmen eller 70 % gjenvinning under bryting, knusing, maling og mineralseparering så synker malmverdien til NOK 315 per tonn. Brytningskostnader ved dagbruddsdrift vil normalt ligge på NOK 60 per tonn, mens knuse- og møllekretsen for å frimale de

enkelte verdimineralen vil ligge på rundt NOK 150 for så finkornete bergarter. Det betyr at det gjenstår NOK 105 per tonn for dekning av kapitalkostnader og driftskostnader forbundet med mineralseparering og fremstilling av salgbare produkter i en nyutviklet prosess og deponering av radioaktivt avfall. Dette betyr at det er små sjanser, hvis noen i hele tatt, til å skape lønnsom drift. Malmen er dessuten for liten til at det kan snakkes om noen stordriftfordeler.

Til tross for at Seteråsen forekomst med 0,34 % Nb_2O_5 , 0,52 % $\text{Y}_2\text{O}_3+\text{REO}$ og 2,3 % zirkon ikke kan utnyttes, så har de radiometriske målingene som er utført i en korridor vestover mot Siljan til like vest for Opdalen og mellom Vanebuvann i nord og Skisjøen i sør (Håbrekke, 1982) blitt gjennomgått. Seteråsen er lett gjenkjennelig på radiometriske kart (bl.a. Fig. 8b) som en tydelig anomali med høy Th-stråling. Tilsvarende anomalier finnes ved Røsholt på vestsiden av Lågendalen og ved nordenden av Skisjøen på Fritzøe Skogers grunn (Fig. 8b). Sistnevnte anomali opptrer i larvikitter og kan følges opp i sammenheng med eventuelle zirkon undersøkelser, hvis ønskelig.

3.3 Konklusjoner

De syenittiske lavaene med HTM mineralisering på Seteråsen synes ikke på det nåværende tidspunkt å ha en malmverdi som kan dekke kostnadene ved regulær drift og må derfor anses som et uinteressant leteobjekt. Dette gjelder også forekomster med tilsvarende HTM mineraler som opptrer i larvikitter og syenitter andre steder i den sørlige delen av Oslofeltet (Hysingjord og Thorkildsen, 1971). Opptreden av den sistnevnte typen i Fritzøe skoger er indikert ved en sterk radiometriske anomali på nordenden av Skisjøen.

4. FELTSPAT OG KVARTS

På Fritzøe Skogers grunn opptrer det flere bergartsmassiv av granitter og ekeritter, samt syenitter (Fig. 1) som består hovedsakelig av feltspat og kvarts. Grovkornete varianter med lite forurensninger av andre mineraler kan representere en potensiell ressurs.

4.1 Produkter og markedsforhold

Feltspat og kvarts (Fig. 11a-c) representerer de viktigste råstoffene for fremstilling av glass, keramikk og steintøy. Salgspriser for feltspat ligger i området NOK 300-900 *per* tonn konsentrat med varierende renhetsgrad og kornstørrelse. Mikroniserte feltspat/feltspatmel kan nå priser opp mot NOK 1400 per tonn. Finknuste produkter av kvarts-feltspat bergarter uten noen form for mineralseparering har salgspriser i området NOK 100-200 per tonn, men krever at bergarten har et meget lavt innhold av forurensninger, dvs. mørke mineraler som biotitt (mørk glimmer) og amfibol. Feltundersøkelsene viste at ingen av bergartene i syenittmassivet ved Siljan eller granitten og ekeritten ved Mykle vann hadde tilstrekkelig lavt innhold av mørke mineraler til å representere egnet råstoff for produksjon av finknust kvarts-feltspat masse til f.eks. keramiske fliser. Mikroskopiske undersøkelser har vist at de nevnte bergartene inneholder 1-2 % mørke mineraler. Avhengig av utgangsbergartens/rågodsets mineralsammensetning kan det fremstilles to typer av konsentrater som nesten utelukkende består av enten kalifeltspat (mikroclin, Fig. 11a) eller natronfeltspat (plagioklas, Fig. 11b). Kravet til kalifeltspatkonsentrater er at de inneholder minimum 12 % K_2O , mens det viktigste kravet til natronfeltspatkonsentratene er at innholdet av CaO ikke overstiger 2,0 %, dvs. omtrent 10 % $\text{Na}_2\text{O}+(\text{K}_2\text{O})$. Normalt vil det også fremstilles kvartskonsentrater som biprodukt med priser i området NOK 300-600 *per* tonn. Konsentratene består av rene frie feltspatkorn uten inneslutninger eller rester av sammenvoksninger med andre mineraler (såkalte smittede korn). Standard feltspatkonsentrater har normalt en kornstørrelse i området 0,1-1 mm. Fremstilling av rene konsentrater med slik kornstørrelse krever at utgangsbergarten/rågodset før knusing, maling og mineralseparering har en kornstørrelse som overstiger 5

mm. Mer finkornete bergarter vil medføre økt nedmaling av bergarten for å frigjøre usmittete feltspat- og kvartskorn. Dette medfører økte driftskostnader og stor mengde av finstoff (slam) som videre nedsetter mengden av utvunnet feltspat i mineralsepareringsprosessen.

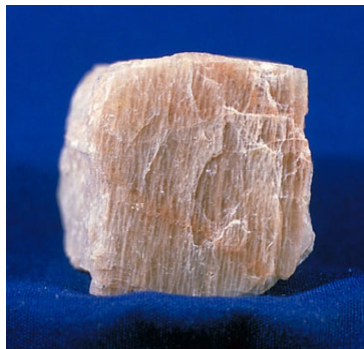


Fig. 11a. Grovkornet kalifeltspat.



Fig. 11b. Grovkornet natronfeltspat.



Fig. 11c. Grovkornet kvarts.

4.2 Potensielle syenitter

Syenittmassivet ved Siljan omfattes av to hovedtyper syenitter. Massivet domineres av grålig rosa porfyriske syenitter med 8-10 mm store krystaller av kalifeltspat i en mer finkornet masse av 1-5 mm store korn av kalifeltspat, natronfeltspat (10 %) og kvarts (5-10 %), samt 1-2 % av av brunlig pleokroisk biotitt (0,5-1 mm lange lister). Mikroskop-undersøkelsene viser dessuten at kvartsen mange steder opptrer som skyer av finkornete inneslutninger (0,01-0,1 mm) i kalifeltspatkornene. Dette krever stor grad av nedmaling for å frigjøre de ønskete mineralene. I massivet opptrer også ganger og større kroppes av en relativt jevnkornet blek rosa syenitt som er sammensatt av 0,5-2 mm store korn av kalifeltspat, natronfeltspat og kvarts (10 %) som er sammenvokst med 1-2 mm lange lister av biotitt med brun pleokroisme (ca. 1 %). Selv om de porfyriske syenittene inneholder spredte porfyrer av meget grovkornet kalifeltspat (5-10 mm), domineres begge syenitt-typer av en feltspatfraksjon med kornstørrelser i området 0,5-5 mm. Dette betyr at ved prosessering vil syenittene gi dårlig uvinning av feltspatene grunnet mye finstoff, som dessuten leder til store deponier. Den kjemiske sammensetningen av enkelte utvalgte feltspatkorn er bestemt ved energidispersive spektra (EDS) på SEM (Fig. 12a-b). Kalifeltspatkornene har en sammensetning (Tabell 4) som vil tilfredsstillere kravet til minimum 12,0 % K_2O i eventuelle kalifeltspatkonsentrater. Men natronfeltspaten har for høyt innhold av CaO for tilfredsstillere kravet til et maksimum på omtrent 2,0 % CaO i eventuelle konsentrater.

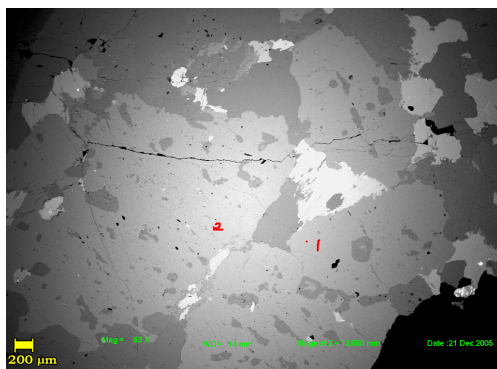


Fig. 12a. BSE bilde av analyserte kalifeltspat-korn i porfyrisk syenitt (27495-2-1 og -2-2). Gul målestokk=0,2 mm.

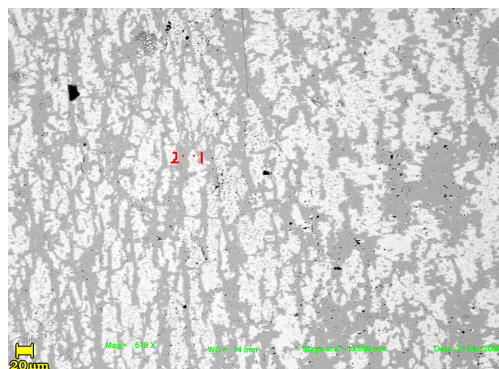


Fig. 12b. BSE bilde av intimt sammenvokst kali- og natronfeltspat (27492-1-1 og -1-2). Gul målestokk er 0,02 mm.

Tabell 4. SEM analyser av kali- og natronfeltspat i syenitter og ekeritter. SiO₂=silisium-oksid, Al₂O₃= aluminiumoksid, Fe₂O₃=jernoksid, CaO=kalsiumoksid, Na₂O=natriumoksid, K₂O=kaliumoksid. ND=ikke påvist (<0,1 %). Lys gul=kalifeltspat, lys blå=natronfeltspat og lys brun=alkalifeltspat (se Fig. 12b)

BERGART	ANALYSE NUMMER	MINERAL	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	SUM %
Grovkornet ekeritt	27492-1-1	Kalifeltspat	64,14	17,89	1,03	ND	1,37	15,16	99,60
Grovkornet ekeritt	27492-1-2	Natronfeltspat	69,46	18,93	0,83	ND	11,49	0,31	101,01
Grovkornet ekeritt	27492-3-1	Natronfeltspat	69,20	18,54	1,40	0,12	7,49	0,10	96,86
Grovkornet ekeritt	27492-3-2	Kalifeltspat	65,21	17,56	0,50	0,11	0,89	14,14	98,40
Grovkornet ekeritt	27492-3-3	Kalifeltspat	66,06	17,22	1,01	ND	0,34	14,84	99,47
Grovkornet ekeritt	27492-3-4	Natronfeltspat	70,24	18,92	1,35	ND	7,18	0,10	97,79
Grovkornet ekeritt	27492-4-1	Alkalifeltspat	68,18	17,43	1,06	ND	6,04	8,37	101,08
Grovkornet ekeritt	27492-5-1	Natronfeltspat	71,08	18,49	1,30	ND	7,86	0,24	98,97
Grovkornet ekeritt	27492-5-2	Kalifeltspat	67,15	17,09	0,74	ND	0,32	15,81	101,12
Grovkornet ekeritt	27492-5-3	Natronfeltspat	70,77	18,74	1,23	ND	6,98	0,17	97,89
Grovkornet ekeritt	27492-5-4	Kalifeltspat	68,00	16,94	0,22	ND	0,28	14,43	99,87
Middelskornet syenitt	27493-1-1	Natronfeltspat	65,39	20,17	0,26	2,65	9,78	0,45	98,70
Middelskornet syenitt	27493-1-2	Natronfeltspat	66,51	19,53	ND	2,77	10,17	0,19	99,18
Middelskornet syenitt	27493-1-3	Kalifeltspat	65,03	18,92	ND	ND	0,80	16,26	101,01
Middelskornet syenitt	27493-1-4	Natronfeltspat	66,81	19,07	ND	2,77	8,83	0,21	97,68
Middelskornet syenitt	27493-2-1	Kalifeltspat	65,27	17,53	0,14	ND	0,76	15,60	99,29
Middelskornet syenitt	27493-2-2	Natronfeltspat	67,16	18,90	ND	2,30	10,27	0,06	98,69
Middelskornet syenitt	27493-2-3	Kalifeltspat	65,61	17,19	ND	ND	1,21	15,48	99,49
Porfyrisk syenitt	27495-1-1	Kalifeltspat	65,15	16,48	ND	ND	0,56	16,29	98,48
Porfyrisk syenitt	27495-1-2	Kalifeltspat	65,49	17,05	ND	ND	0,86	15,56	98,96
Porfyrisk syenitt	27495-2-1	Kalifeltspat	66,54	17,84	ND	ND	0,49	16,23	101,10
Porfyrisk syenitt	27495-2-2	Kalifeltspat	65,61	18,50	ND	ND	1,16	15,25	100,52

4.3 Potensielle ekeritter

Ekerittene representerer granitter som består av 60-70 % alkalifeltspat og 30-40 % kvarts, samt 0,5-1 % av natriumamfibol som eneste mørke mineral. Alle mineralene opptrer som 1-5 mm store korn og ekeritten er dermed i likhet med syenittene for finkornet for mineralprosessering.

Alkalifeltspaten er betegnelsen på en intim sammenvoksning av finkornet kalifeltspat og natronfeltspat som vist i Fig. 12b. Slik feltspat er lite utbredt i syenittene.

EDS-SEM analysene av de enkelte feltspatfasene gir god kjemisk kvalitet som angitt i Tabell 4.

Men grunnet den finkornete sammenvoksningen av kali- og natronfeltspat er ekeritten uegnet for fremstilling av feltspatkonsentrater da det ikke er mulig å frimale de to typene av feltspat uten at alt rågodset omformes til finkornet mel som det i dag ikke finnes mineralsepareringsmetoder for.

4.4 Potensielle kvartsforekomster

Kvarts som inneholder mindre enn 40 gram av andre grunnstoff enn silisium (Si) per tonn kvarts (40 ppm) betegnes ultra-ren kvarts (URK). Innholdet av aluminium (Al) i URK er vanligvis mindre enn 25 ppm og av titan (Ti) mindre enn 10 ppm. Konsentrater av slik kvarts omsettes for NOK 1000-10 000 per tonn avhengig av forurensningsmengde og type av forurensende grunnstoffer.

Mulighetene for opptrøden av URK i syenitter og granitter/ekeritter på eiendommen har blitt testet gjennom massespektrometriske laseranalyser (LA-ICP-MS) av kvarts i prøvene. Analysemetoden er

beskrevet av Flem et al. (2002) og hver analyse utgjør gjennomsnittet av 16 laserpunkter innenfor et gridet område på 0,2 mm x 0,3 mm. Kvartsens sporelementsammensetning varierer vanligvis lite (homogene) på prøvenivå og derfor er bare to kvartskorn analysert i hver prøve. Analyseresultatene som er gitt i Tabell 5, viser at kvartsen i alle prøver har et moderat til lavt innhold av Li, Fe og B, mens innholdet av P og Ti er høyt til meget høyt. Innholdet av Al er generelt lavt, men varierer noe innenfor hver prøve noe som kan skyldes flere ulike generasjoner og typer av kvarts. Når analysene sammenlignes med den kjemiske sammensetning av URK konsentrater av pegmatittisk kvarts fra IOTA (Unimin, USA) og NC1 (Norwegian Crystalites, Nordland) kommer det klart fram at kvartsen i syenitter og granitter er alt for høy i P og Ti til å kunne betegnes som URK. Kvartsen har en kjemisk sammensetning som tilsvarende middels kvalitet. Kvartskonsentrater av slik kvalitet har prisleie i området 200-500 kr tonnet. Fortjenestemarginene for produksjon av konsentrater av denne kvalitet fra bergarter som gjennomsnittlig inneholder mellom 5-30 % kvarts, vil bli meget små, hvis ikke ulønnsom, spesielt når feltspaten ikke kan utnyttes i form av egne konsentrater.

Tabell 5. LA-ICP-MS analyser av kvarts i prøver av granitter og syenitter. Li=litium, Al=Aluminium, P=fosfor, Ti=titan, Fe=jern og B=bor. < = mindre enn.

PRØVENR.	BERGART	Li ppm	Al ppm	P ppm	Ti ppm	Fe ppm	B ppm
27492-A	Peralkalin granitt	2,8	7,0	31,7	30,9	2,5	0,8
27492-B	Peralkalin granitt	6,0	39,9	21,2	79,6	2,6	0,6
27493-A	Jevnkornet kvartssyenitt	5,7	11,7	29,8	13,3	0,1	0,8
27493-B	Jevnkornet kvartssyenitt	6,3	30,0	28,3	18,6	0,2	0,7
27494-A	Jevnkornet kvartssyenitt	4,3	25,1	31,1	13,1	0,2	0,8
27494-B	Jevnkornet kvartssyenitt	2,4	136,5	28,7	10,8	0,4	1,2
27495-A	Porfyrisk kvartssyenitt	6,2	6,7	24,1	24,6	0,1	0,8
27495-B	Porfyrisk kvartssyenitt	5,7	11,3	20,9	16,5	0,2	0,6
27496-B	Porfyrisk kvartssyenitt	7,3	22,2	20,4	18,4	0,2	0,6
27496-A	Porfyrisk kvartssyenitt	6,7	19,5	21,7	37,6	0,2	0,7
IOTA standard	Pegmatittisk kvarts	0,9	16,0	0,1	1,3	0,2	0,1
Drag standard	Pegmatittisk kvarts	4,0	7,0	<1,0	<1,0	0,5	<1,0

4.5 Konklusjoner

Det synes ikke å opptre feltspat- og kvarts-rike bergarter på Fritzøe Skogers grunn som har lavt nok innhold av mørke mineraler for direkte anvendelse som råstoff for keramiske fliser. Dessuten synes ingen av bergartene på eiendommen å ha potensial for fremstilling av feltspatkonsentrater grunnet liten kornstørrelse og til dels dårlig kjemisk kvalitet (natronfeltspat). Den kjemiske kvaliteten av kvarts i bergartene er middels god. Grunnet lavt prisleie for konsentrater av slik kvarts og det lave kvartsinnholdet (5-30 %) i bergartene, vil bryting og prosessering neppe bli regningsvarende, spesielt når det heller ikke er mulig å fremstille kvartskonsentrater av høy kvalitet.

5. SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER

Undersøkelsene av potensielle forekomster av zirkon, high-tech-metaller og feltspat-kvarts i bergarter som opptre på Fritzøe Skogers grunn har gitt følgende resultater:

- Larvikittmassivet med assosierte magmatiske bergarter har et potensial for opptreden av økonomiske forekomster av zirkon. Selv om det finnes bergarter med opptil 6,5 % zirkon i massivet, som langt overstiger økonomiske konsentrasjoner på 3-4 %, så er kunnskapen om opptreden av zirkon i regionen og spesielt på Fritzøe Skogers grunn meget lav og fragmentarisk.

Zirkon i larvikittene synes generelt å føre mindre enn 0,05 % U+Th som er maksimumsinnholdet for salgbare zirkonkonsentrater i den vestlige verden.

- HTM-mineraler har stor utbredelse både innenfor de vulkanske bergartene og i larvikittmassivets bergarter, men konsentrasjonene av Nb, Y og REE er generelt for lave til å kunne representere interessante leteobjekt. Seteråsen forekomst som opptrer i to nærliggende lavaenheter er den hittil største og rikeste forekomsten på 8 mill. tonn med gjennomsnittlig 0,34 % Nb₂O₃, 0,52 % Y₂O₃+REO og 2,3 % zirkon. Dette gir en råmalmverdi på NOK 450, men grunnet komplekst sammensatte og meget finkornete verdimineraler, radioaktive Th-mineraler og relativt begrensede malmreserver gjør forekomst-typen uinteressant som leteobjekt. Det finnes dessuten ingen tegn til områder med Th-stråling over den vestlige fortsettelse av lavafeltet (RP-lavaer) som dels utgjør berggrunnen på Fritzøe Skogers eiendom nord for Siljan.
- Undersøkelser av syenitter og ekeritter i Siljanområdet ga ingen indikasjoner på opptreden av bergarter som kunne egne seg som råstoff for produksjon av samfengt kvarts-feltspat masse til keramiske fliser eller konsentrater av kalifeltspat, natronfeltspat og kvarts til keramikk og glass. Dette skyldes hovedsakelig bergartenes høye innhold av mørke mineraler, lave kornstørrelse, tilstedeværelsen av natronfeltspat med for høyt CaO-innhold og/eller intim sammenvoksning av finkornet kalifeltspat og natronfeltspat (ekeritt), samt kvarts som bare er av middels kvalitet.

Det anbefales derfor at det ikke gjøres videre arbeid med forekomster av high-tech-metaller og feltspat-kvarts råstoffer. Det eneste som fortjener videre oppfølging er leting etter potensielle forekomster av zirkon. Eventuelt videre arbeid med zirkon på Fritzøe Skogers grunn kan utføres som et samarbeidsprosjekt mellom Fritzøe Skoger og NGU, eventuelt også med midler fra regionrådet i Vestfold-Buskerud-Telemark. Men med økonomisk støtte fra regionrådet og NGU vil all data som fremkommer gjennom undersøkelsene bli umiddelbart offentlig tilgjengelig.

6. LITTERATUR REFERANSER

- Flem, B., Larsen, R.B, Grimstvedt, A. and Mansfeld, J. 2002: In situ analysis of trace elements in quartz by using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Chemical Geology* 182, 237-247.
- Hysingjord, J. og Thorkildsen, C.D. 1971: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet. *Nor. geol. unders. rapport 1104*, 62 s + 2 bilag.
- Hysingjord, J. 1973: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet III. *Nor. geol. unders. rapport 1248*, 11 s + bilag.
- Hysingjord, J. 1974: Geokjemisk prospektering i Oslofeltet IV. *Nor. geol. unders. rapport 1249*, 8 s + bilag.
- Håbrekke, H. 1982: Magnetiske-, elektromagnetiske-, VLF- og radiometriske målinger fra helikopter over et område vest for Tønsberg, Vestfold og Telemark fylker. *Nor. geol. unders. rapport 1835*, 13 s + 10 bilag.
- Ihlen, P.M. 1983: Geologiske og petrokjemiske resultater fra diamantboring på Seteråsen niobforekomst. *Nor. geol. unders. rapport 1800/76B*, 16 s + 11 bilag.

VEDLEGG 1.

Liste over prøver innsamlet fra larvikittmassivet og omgivende komplekser.

Løpenr.	NGU prøvenr.	Prøve-ID	UTM-koordinater			PRØVEBESKRIVELSE: Bergartstype, sediment, jord, vann mm.	SPESIFISERING AV OPPDRAG	
			EUREF89 (WGS 84)				Analyse	Slip
			Sone+N/S	Øst (m)	Nord (m)			
	27485	TVE 4	32N	548750	6543800	Zirkon i grå nefelinsyenitpegmatitt	SEM	TPol
	27486	TVE 3	32N	548750	6543800	Zirkon i grå nefelinsyenitpegmatitt	SEM	TPol
	27487a	TVE 2	32N	548750	6543800	Zirkon i grå nefelinsyenitpegmatitt	SEM	TPol
	27487b	TVE 2	32N	548750	6543800	Rødt mineral i grå nefelinsyenitpegmatitt	SEM	TPol
	27488	TVE 1	32N	548750	6543800	Zirkon i nefelinsyenitpegmatitt	SEM	TPol
	27489	Brevik 3	32N	541450	6549650	Zirkon i lys grå grovkornet larvikitt	SEM	TPol
	27490	Brevik 2	32N	541250	6549720	Zirkon i lys grå grovkornet larvikitt	SEM	TPol
	27491	Brevik 1	32N	541200	6549920	Zirkon i lys grå grovkornet larvikitt	SEM	TPol
	27492	Skrim 5	32N	542500	6588000	Rødlig peralkalin granitt	SEM	S/TPol
	27493	Skrim 1	32N	548450	6574820	Rosa mk. og jevnkornet biotittsyenitt	SEM	S/TPol
	27494	Skrim 2	32N	548450	6574820	Rosa mk. og jevnkornet biotittsyenitt	SEM	S/TPol
	27495	Skrim 3	32N	548070	6574100	Grårosa porfyrisk mk. kvartssyenitt	SEM	S/TPol
	27496	Skrim 4	32N	542700	6572300	Grårosa porfyrisk mk. kvartssyenitt	SEM	S/TPol