

NGU Rapport 2001.102.

Rutilressurser i Sunnfjord-regionen,
Sogn og Fjordane

Rapport nr.: 2001.102.		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Rutilressurser i Sunnfjord-regionen, Sogn og Fjordane				
Forfatter: Are Korneliussen		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Naustdal, Førde, Askvoll, Fjaler, Hyllestad		
Kartblad (M=1:250.000) Måløy		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1117.1 (Dale), 1217.4 (Bygstad), 1218.3 (Naustdal)		
Forekomstens navn og koordinater: Engebøfjellet (310200/6822750), Steinkrossen (321800/6824450), Naustdal (326400/6824600), Orkheia (292800/6798200), Ramsgrønova (298400/6797200)		Sidetall: 27 Kartbilag:	Pris: 200,-	
Feltarbeid utført: 1978-97	Rapportdato: 01.12.2001	Prosjektnr.: 190005	Ansvarlig: <i>I. J. G.</i>	
Sammendrag:				
<p>Rutil/eklogitt-forekomster i Sunnfjord representerer en "ny" type rutilforekomst som kan få stor økonomisk betydning i framtiden. Den mest kjente av forekomstene er Engebøfjellet på nordsiden av Førdefjorden i Naustdal kommune; den var gjenstand for omfattende undersøkelser i 1995-97 i regi av det amerikanske industriselskapet DuPont og det da DuPont-eide oljeselskapet Norske Conoco. Disse undersøkelser resulterte i påvisning av en ressurss på 400 millioner tonn rutilmalm til en in situ verdi på i størrelsesorden 60 MRD kr. Engebøfjell-prosjektet stoppet opp ved årsskiftet 1997/98 som en konsekvens av endringer i DuPonts overordnede strategi.</p> <p>Det er i fagmiljøet akseptert at Engebøfjellet og andre forekomster i regionen representerer en mineralressurs av stor nasjonal og internasjonal betydning.</p> <p>Formålet med denne rapporten er å oppsummere hovedtrekkene vedrørende rutil/eklogitt-forekomstene i Sunnfjord, og derigjennom stimulere til en fornyet interesse for ressursen.</p>				
Emneord:	Industrimineraler	fagrapport		
Titan	Rutil	Sunnfjord		
Naustdal	Dalsfjord			

INNHOOLD

1. Bakgrunn for rapporten	4
2. Titan	4
3. Tidligere undersøkelser	5
4. Geologiske hovedtrekk	6
5. De viktigste rutilforekomstene ved Førdefjorden	8
6. De viktigste rutilforekomster syd for Dalsfjorden	15
7. Viktige forekomstegenskaper	18
8. Sammenfatning av ressursinformasjon	23
9. Konklusjon	26
10. Referanser	27
Fig. 1: TiO ₂ -Pris relasjoner for de tre hovedkategorier av titanråstoffer.....	4
Fig. 2: Geologisk oversiktskart, Førdefjordområdet (basert på Lutro og Ragnhildstveit 1997).	6
Fig. 3: Geologisk oversiktskart, Dalsfjord (basert på Ragnhildstveit og Nilsen 1999).	7
Fig. 4: Diverse bilder og figurer som viser noen geologiske og topografiske hovedtrekk ved Engebøfjellet.	9
Fig. 5: Fotografier av rutilrik eklogitt, Engebøfjellet.....	10
Fig. 6: TiO ₂ - og P ₂ O ₅ -analyser av prøver fra Naustdalsforekomsten.	11
Fig. 7: Gravimetrisk anomalikart, Naustdal.	12
Fig. 8: Steinkrossen – Geografisk og geologisk oversikt. Det geologiske kartet er etter Lutro og Ragnhildstveit (1998).....	13
Fig. 9: Fe ₂ O ₃ – TiO ₂ plott av chip-prøver fra eklogittblotninger, Steinkrossen.	14
Fig. 10: Mikroskopbilder av eklogitt fra Steinkrossen.	14
Fig. 11: Geologisk kart over Ramsgrønova.	15
Fig. 12: Fotografi av Ramsgrønova eklogitt sett fra vest.....	16
Fig. 13: Geologisk kart, Orkheia.	17
Fig. 14: SEM-bilde (bse) av rutil, Engebøfjellet.....	19
Fig. 15: SEM-bilde (bse) av granat- og rutilrik eklogitt, Engebøfjellet.	20
Fig. 16: Mikrofotografier av rutilførende eklogitter.	21
Fig. 17: Mikroskopfotografier av rutilførende eklogitt fra Engebøfjellet og Orkheia,.....	22
Fig. 18: Sammenlikning av TiO ₂ – og rutilinnholdet i prøver fra Engebøfjellet, Fureviknipa, Orkheia og Saudal.....	23
Fig. 19: Cutoff-gehalt sett i forhold til mineralressurs, Engebøfjellet.	25
Tabell 1: Ressurser av rutilførende eklogitt i Sunnfjord.....	24
Tabell 2: Verdens produksjon og reserver av titanmineraler i 2000. Kilde: USGS. Tonnasjetallene er oppgitt i 1000 tonn.	25

1. Bakgrunn for rapporten

Rutilførende eklogittbergarter i Sunnfjord er en mineralressurs av stor nasjonal så vel som internasjonal betydning. Samtidig representerer dette en ny forekomsttype for den internasjonale titanindustrien, i og med at ingen sitter inne med praktisk erfaring med drift av eklogittrelaterte rutilforekomster. En investering i videreutvikling av en slik ny forekomsttype anses å være forbundet med høy risiko, og terskelen for å involvere seg direkte i videre undersøkelser vil derfor være relativt høy.

Formålet med denne rapporten er å oppsummere hovedtrekkene ved rutilressursene i Sunnfjordregionen. Rapporten er i første rekke rettet mot geofag-personer som ønsker å skaffe seg en grov oversikt over situasjonen, men kan også gi nyttig bakgrunnsinformasjon for ikke-geologer. Mer detaljert informasjon om enkeltforekomster er til en viss grad tilgjengelig fra NGU på forespørsel. Ytterligere informasjon om de viktigste forekomster blir gjort tilgjengelig i NGUs mineralressursdatabase over Internett i 2002.

2. Titan

Titan er det niende mest vanlige grunnstoff i jordskorpa, med gjennomsnitt 0.9 % Ti. Det opptrer i bergarter både som oksyder og som silikatmineraler. Oksydmineralene ilmenitt (TiFeO_3) og rutil (TiO_2) er de primære råstoffer for titan; i mengde TiO_2 utgjør gruveproduksjonen av ilmenitt ca. 90% av verdensproduksjonen av titanmineraler og rutil 10 %, jfr. tabell 2 på side 25. All rutilproduksjonen og det meste av ilmenittproduksjonen er basert på gruvedrift på sandforekomster. Deler av ilmenittproduksjonen videreforedles til det titanrike mellomproduktet titanslagg (75-85% TiO_2), og syntetisk rutil (92-97% TiO_2). Godt og vel 90% av verdens forbruk av titanmineraler inkludert de nevnte mellomprodukter, brukes i produksjon av titanpigment (TiO_2 -pigment), ca. 5% til produksjon av titanmetall og det resterende til diverse andre formål.

Titanpigment brukes hovedsakelig i maling, plast og papir, og har det på grunn av gode lysbrytningsegenskaper god dekkevne samtidig som overflaten får en klar farge. Titanmetall legeringer benyttes i stor grad innen luft-/romfart og annen industri på grunn av dets høye styrke/vekt-forhold og korrosjonsbestandighet.

I Norge produserer selskapet Titania A/S i Hauge i Dalane ilmenitt fra Tellnes-forekomsten; deler av Titania's produksjon går til eksport, andre deler videreforedles til titanslagg av Tinfos Titanium & Iron (Ilmenittsmelteverket i Tyssedal) og noe videreforedles til titanpigment av Kronos Titan i Fredrikstad.

Verdens ressurser av egnede forekomster av naturlig rutil blir ansett som begrensede, mens ilmenittressursene i praksis er ubegrensede. TiO_2 -rike titanråstoffer (titanslagg inkl.

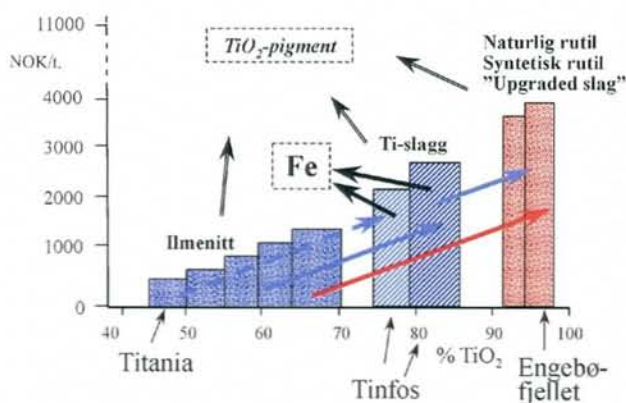


Fig. 1: TiO_2 -Pris relasjoner for de tre hovedkategorier av titanråstoffer

"upgraded slag", syntetisk- og naturlig rutil) er vesentlig mer attraktive råstoffer for titanpigmentindustrien enn ilmenitt, noe som bidrar til at produksjonen av titanslagg og syntetisk rutil basert på ilmenitt, har økt markant på verdensbasis. En viktig faktor som bidrar til at pigmentprodusentene er villige til å betale relativt sett mer for de titanrike råstoffene, er at de dermed kan redusere sine miljøproblemer; for eksempel gir ifølge USGS produksjon av titanpigment basert på rutil 0.2 tonn avfall pr. produsert tonn pigment, mens pigmentproduksjon basert på ilmenitt gir 3.5 tonn avfall. Forholdet mellom TiO_2 -innhold og pris er illustrert i Fig. 1. Jfr. Korneliussen m.fl. 2000a og b for mer detaljert informasjon om titan og titanforekomster.

3. Tidligere undersøkelser

Rutilførende eklogittbergarter i Sunnfjordregionen har vært gjenstand for en rekke undersøkelser siden 1970-årene, både i regi av NGU (jfr. Korneliussen 1980 og Korneliussen m.fl. 1992) og av industriselskaper. NGU innledet i 1992 et samarbeide med det amerikanske industriselskapet DuPont og det da DuPont-eide oljeselskapet Conoco, i et prosjekt som hadde som mål å evaluere rutil/eklogitt-mulighetene på Vestlandet og lokalisere den eller de best egnede forekomster for rutilproduksjon. I dette prosjektet ble det i løpet av 1992-94 foretatt undersøkelser av rutilførende eklogittbergarter over store deler av Vestlandet.

Det viste seg etter hvert at Sunnfjord-regionen hadde de beste forutsetninger for drivbare rutilforekomster, og i 1995 ble all oppmerksomhet i dette prosjektet rettet mot Engebøfjellforekomsten i Naustdal kommune. I løpet av 1995-97 ble det i samarbeide med det lokale selskapet Fjord Blokk, foretatt omfattende kjerneboringer (15,000 m fordelt på 50 borhull) og oppredningsforsøk. Engebøfjell prosjektet ble imidlertid deretter avsluttet fra DuPont's side, hovedsakelig som en konsekvens av at selskapet endret sin overordnet strategi ved årskiftet 1997/98 og ikke lenger på samme måten var interessert i å utvikle nye rutilforekomster fra grunnen av. Mineralrettighetene (ut mål) til forekomsten ble værende hos Conoco, også etter at selskapet ble fristilt fra DuPont i 1998.

Conoco gjorde i 1999-2000 gjennom det canadisk/engelske selskapet CIBM World Markets en betydelig innsats for å markedsføre Engebøfjellet mot den internasjonale gruveindustrien, men uten at dette førte fram. Hovedgrunnene til at dette strandet var for det første stor usikkerhet relatert til hvorvidt norske myndigheter ville gi tillatelse til deponering av gruveavgang i Førdefjorden og om det vil tillates storskala gruvedrift på Engebøfjellet. En annen grunn var at rutil fra Engebøfjellet er mer finkornet enn ønskelig ut fra dagens markedskrav.

Engebøfjellet er en av Norges største mineralressurser og vil, i tilfelle drift, få betydelige samfunnsmessige ringvirkninger. DuPont antydte en årsproduksjon på 200,000 tonn rutilkonsentrat, tilsvarende en verdi på i størrelsesorden 800-900 millioner kr, og med en investering i gruveanlegget på ca. 3 MRD kr. Ressursgrunnlaget i Engebøfjellet alene vil trolig være tilstrekkelig for 30-40 års drift, i tillegg er det grunn til å forvente at andre forekomster mellom Engebø og Naustdal vil kunne utgjøre betydelige tilleggsressurser.

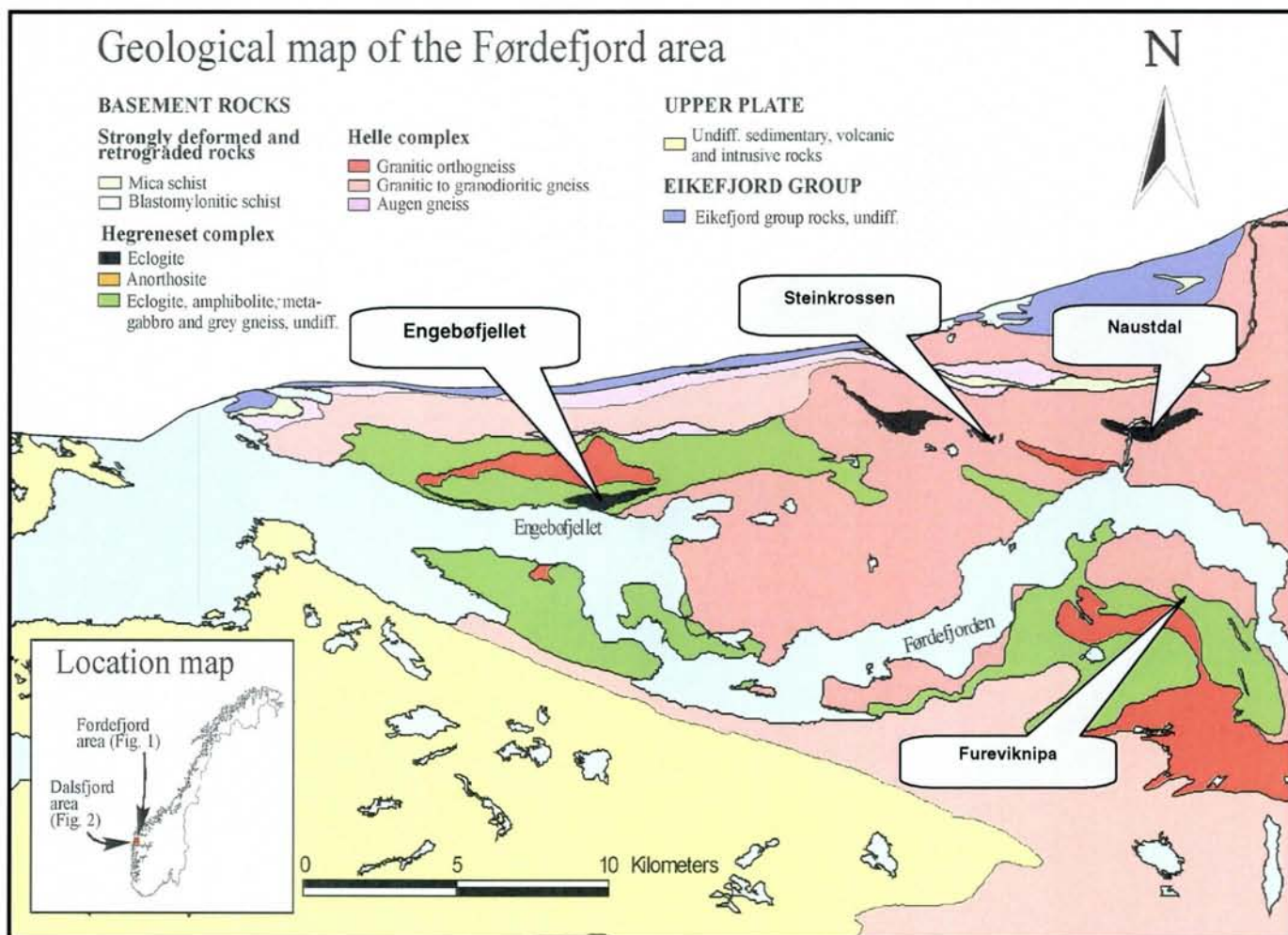


Fig. 2: Geologisk oversiktskart, Førdefjordområdet (basert på Lutro og Ragnhildstveit 1997).

4. Geologiske hovedtrekk

Eklogittene i *Førdefjordområdet* (Fig. 2) finnes innenfor de prekambriske deler av området, nærmere bestemt innen to geologiske enheter som er kalt henholdsvis Hegreneskomplekset og Hellekomplekset av Lutro og Ragnhildstveit (1998; se detaljert beskrivelse i Korneliusen m. fl. 1998). Hegreneskomplekset består av forskjellige mafiske, hovedsakelig eklogittiske, bergarter, samt tonalittiske, diorittiske og granodiorittiske intrusiver. De mafiske og felsiske bergarter er vanligvis tett sammenblandet. Ved fjellet Fureviknipa på sydsiden av fjorden, opptrer båndede eklogitter som er tolket å representere eklogittisert lagdelt gabbro. Vestover fra Fureviknipa utgjør anortositt og leukogabbro, delvis i form av eklogitt, deler av det samme basiske komplekset. Noen steder, som for eksempel i kontakt med Engebøfjellet eklogittforekomst, opptrer en båndet mafisk-felsisk bergart av mulig vulkansk opprinnelse. Hellekomplekset består hovedsakelig av grå til rødlige granittiske til granodiorittiske, migmatittisk og båndet gneiser.

Eklogittforekomster i Førdefjordområdet forekommer som opptil flere km lange, foldede og boudinerte horisonter og langstrakte kroppar. Noen av de store forekomstene er relativt massive kroppar med utgående areal på over 100,000 m² (for eksempel Engebøfjellet).

Titaninnholdet er stort sett 1-3% TiO_2 , men gehalter på 4-5% TiO_2 er ikke uvanlige. De høyeste gehaltene er vanligvis innenfor de massiveste deler av forekomstene.

Rutil i eklogitt i Førdefjordområdet ble første gang omtalt av Eskola (1921) i en beskrivelse av eklogittforekomsten ved brua over Naustdal like nord for Naustdal sentrum (Naustdalsforekomsten). Denne forekomsten ble senere beskrevet av Binns (1967) og av Krogh (1980, 1982). Hans-Peter Geis (Elkem) ble tidlig på 1970-tallet klar over at rutil i eklogitt i Førdefjordområdet kunne få økonomisk betydning, og foretok en rekognoserende prøvetaking blant annet av Naustdalsforekomsten og Engebøfjellet. Dette arbeidet ble så videreført av NGU i samarbeide med Elkem (Korneliussen 1978, 1980, Foslie 1981, Korneliussen & Foslie 1985).

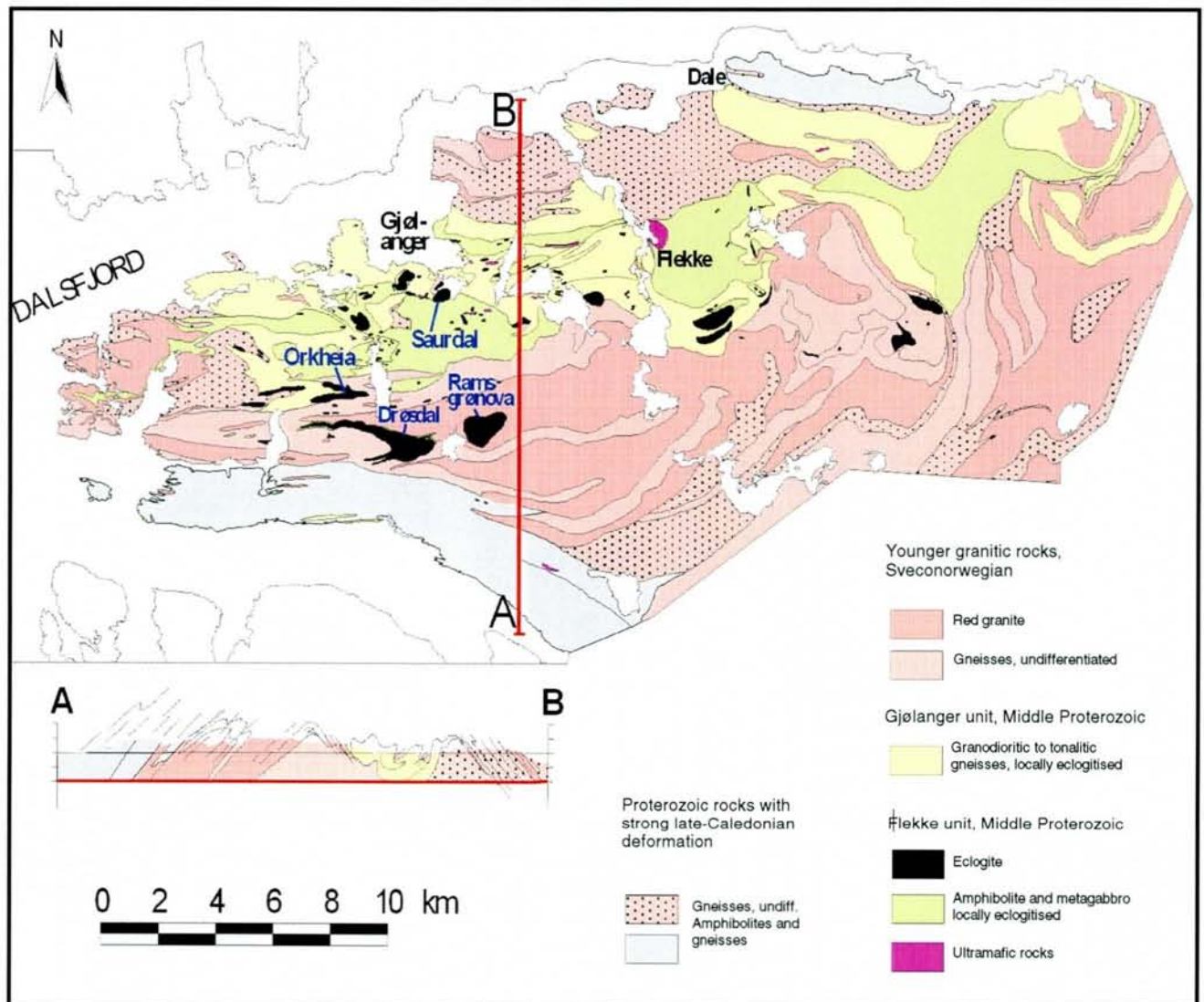


Fig. 3: Geologisk oversiktskart, Dalsfjord (basert på Ragnhildstveit og Nilsen 1999).

Dalsfjordområdet (Fig.3) er geologisk sett meget kompleks med gneisbergarter i forskjellige varianter og et betydelig innslag av basiske bergarter som hovedsakelig har karakter av amfibolitter. Anortositt og ultramafiske bergarter forekommer i deler av området. Basiske bergarter er i varierende grad eklogittisert og rutilførende. Markante forekomster av eklogitt er avmerket på det geologiske kartet (Fig. 3).

Rutilførende eklogitter i Dalsfjordområdet ble rekognoserende prøvetatt av NGU i 1978-80 (jfr. Korneliussen 1980). Den sentrale delen av området, ved Hellevik-Gjøllanger-Flekk, er kartlagt og beskrevet av Cuthbert (1985), mens A.Engvik på slutten av 1990-tallet studerte basiske bergarter og deres relasjoner til eklogitter i Hellevikområdet (Engvik 2000). Hverken Cuthbert eller Engvik er spesifikt opptatt av rutilforekomstene, men beskriver bergartsrelasjoner som er vesentlige for forståelsen av hvordan de rutilførende bergarter opptrer.

DuPont/NGU-prosjektet foretok rekognoserende prøvetaking av rutilførende eklogittforekomster i hele området i perioden 1992-95, og det ble i samarbeide med selskapet Stokke Industri kjerneboret ett hull i østdelen av Orkheia eklogittforekomst og tre hull i Saurdalsområdet. Det ble ved disse boringene ikke påvist økonomisk interessante rutilmineraliseringer. Fokus i prosjektet ble høsten 1995 rettet mot Engebøfjellforekomsten ved Førdefjorden, og lite er senere gjort av oppfølgende undersøkelser i Dalsfjordområdet.

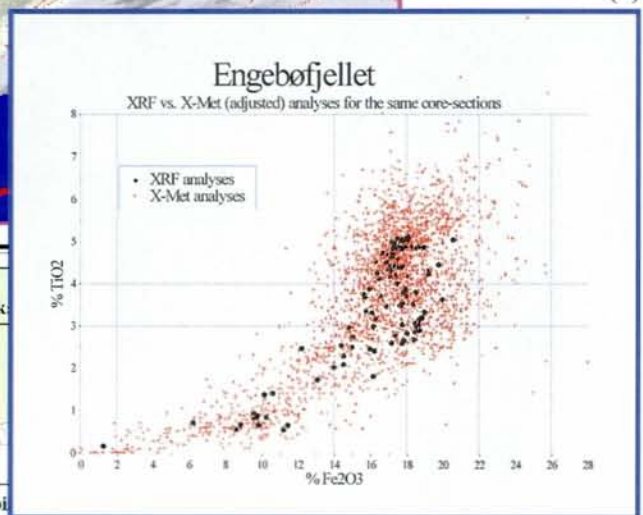
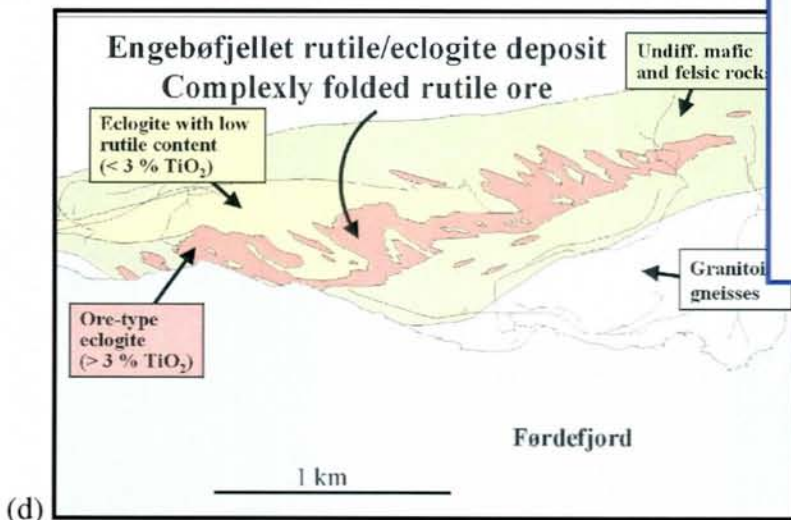
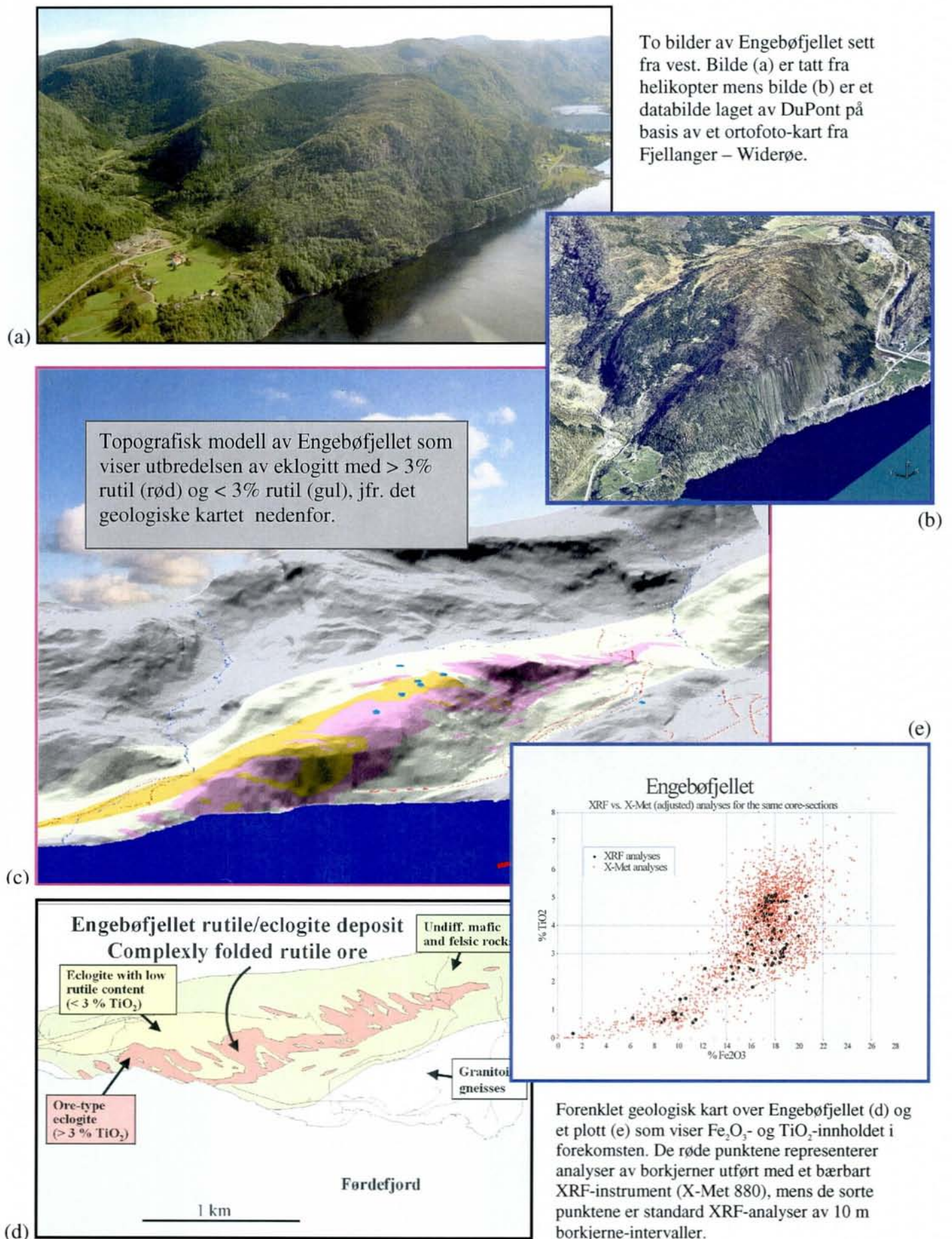
5. De viktigste rutilforekomstene ved Førdefjorden

Engebøfjellet rutil/eklogitt-forekomst (Fig. 4) er en ca. 2.5 km lang og opptil 400m bred kropp, som særlig i de østlige deler er sammenfoldet med de omkringliggende gneiser. Denne kroppen har en markant massiv karakter, og er tolket å representere en Proterozoisk gabbrointrusjon (en upublisert zirkondatering av T. Krogh gir 1500 millioner år) i en kompleks serie med vulkanske så vel som intrusive mafiske og felsiske bergarter. Denne gabbroen ble omvandlet til eklogitt under Kaledonsk høy-trykk metamorfose og deformasjon for 400 millioner år siden. Engebø-Vevring området er karakterisert av en serie mafiske eklogittiske til amfibolittiske bergarter sammenblandet med grå gneiser tilhørende i Hegreneskomplekset. En detaljert geologisk beskrivelse er gitt av Korneliussen m.fl. (1998).

Engebøfjellet er inndelt i to hovedgeologiske enheter basert på TiO_2 -innholdet; den ene (leuko-eklogitt) har under 3% TiO_2 mens den andre (ferro-eklogitt) inneholder over 3 % TiO_2 . Overgangene mellom disse to enheter er gradvise. Ferro eklogitten som er den egentlige rutilmalmen, er gjennomgående granatrik (> 25% granat).

Engebøfjellet ble første gang rekognoserende prøvetatt m.h.p. rutil av geolog Hans-Peter Geis i Elkem i 1973, deretter av NGU i 1978. Forekomsten ble i 1979 gjenstand for oppmerksomhet som aktuell råvare for dikebygging i Nederland, noe som noen år senere resulterte i opprettelsen av et selskap (Fjord Blokk) som i 1995 satte i gang produksjon av eklogitt til diverse byggeformål. Dette ble dessverre mislykket og Fjord Blokk's aktivitet stoppet opp i 1999.

DuPont/Conoco inngikk i 1995 en samarbeidsavtale med Fjord Blokk med henblikk på undersøkelse av rutilmulighetene. Det ble deretter i løpet av 1995-97 kjerneboret til sammen 15,000 m fordelt på 50 borehull. Borekjernene er lagret ved NGUs borkjernelager på Løkken; detaljoplysninger om boreresultatene er tilgjengelig fra NGU.



Forenklet geologisk kart over Engebøfjellet (d) og et plott (e) som viser Fe₂O₃- og TiO₂-innholdet i forekomsten. De røde punktene representerer analyser av borkjerner utført med et bærbart XRF-instrument (X-Met 880), mens de sorte punktene er standard XRF-analyser av 10 m borkjerne-intervaller.

Fig. 4: Diverse bilder og figurer som viser noen geologiske og topografiske hovedtrekk ved Engebøfjellet.

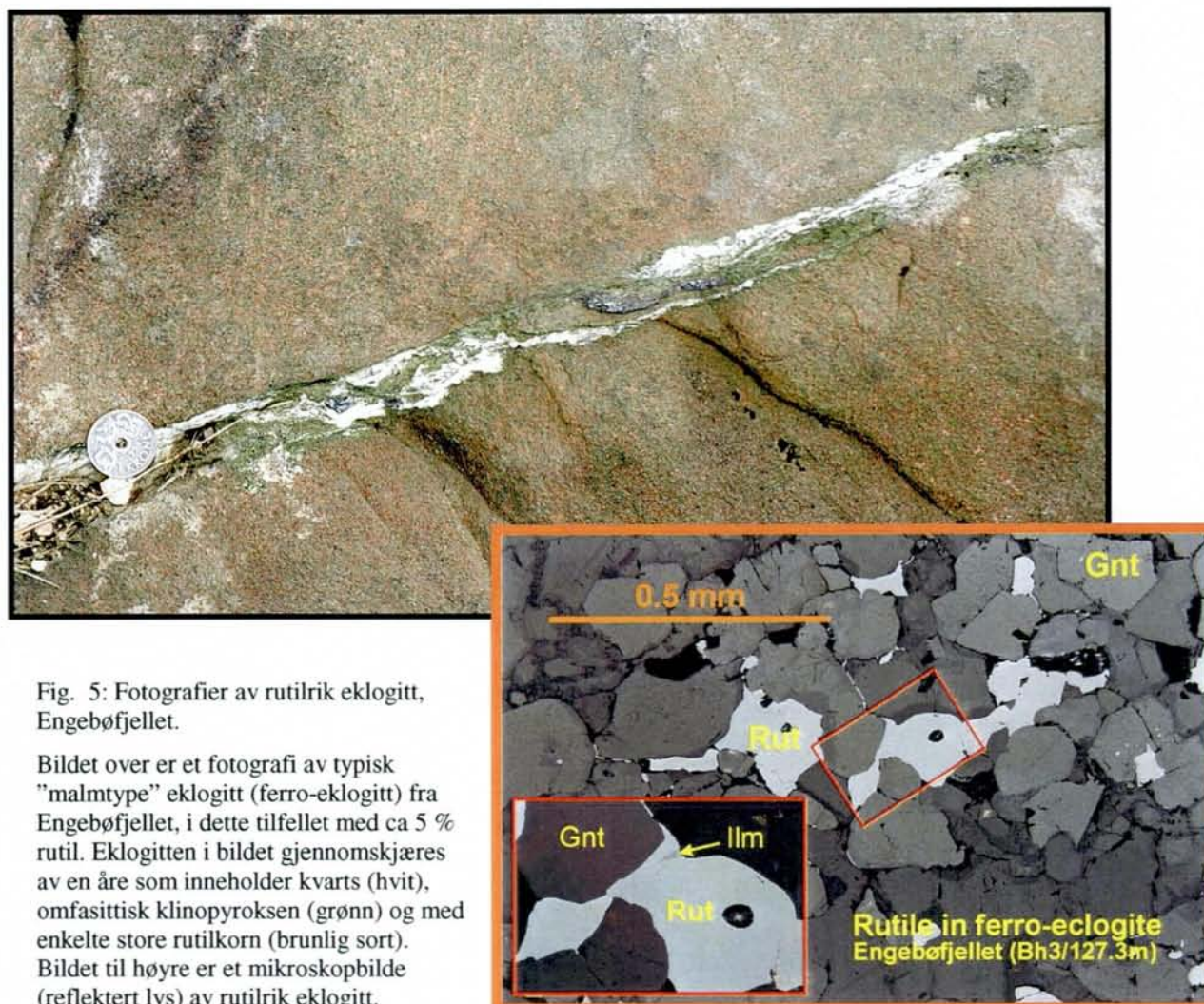


Fig. 5: Fotografier av rutilrik eklogitt, Engebøfjellet.

Bildet over er et fotografi av typisk "malmtyp" eklogitt (ferro-eklogitt) fra Engebøfjellet, i dette tilfellet med ca 5 % rutil. Eklogitten i bildet gjennomskjæres av en åre som inneholder kvarts (hvit), omfasittisk klinopyroksen (grønn) og med enkelte store rutilkorn (brunlig sort). Bildet til høyre er et mikroskopbilde (reflektert lys) av rutilrik eklogitt.

Naustdal rutil/eklogitt-forekomst består av en 2.5 km lang åsrygg som strekker seg østover over elva Nausta like nord for Naustdal sentrum. Forekomsten kiler ut ca 500 m vest for Nausta, mens den har sin største mektighet mot øst. Den østlige delen av forekomsten er nesten i sin helhet dekket av et boligfelt. Forekomsten er relativt sett mer motstandsdyktig mot erosjon enn de omkringliggende gneisbergarter, og står derfor opp i terrenget. På grunn av denne motstandsdyktigheten mot erosjon danner den en markert terskel i elva.

Eklogittbergarten ble første gang beskrevet av Eskola (1921), deretter av Binns (1967) og Krogh (1980). Som rutilressurs betraktet ble forekomsten første gang undersøkt av Hans-Peter Geis fra Elkem A/S i 1973 (Korneliussen 1978). Geis ble oppmerksom på Naustdalseklogitten fordi Eskola (1921) sier om forekomsten at den inneholder mye rutil. På samme tid som Geis undersøkte Naustdalsforekomsten foretok han rekognoserende undersøkelser i de omkringliggende områder, og ble da klar over at den da nye veitunnelen gjennom Engebøfjellet gikk igjennom en eklogittbergart som også inneholdt rutil. Geis vurderte imidlertid Naustdalsforekomsten som mer interessant enn Engebøfjellet, og opprettholdt i flere år bergrettigheter (muting) på forekomsten. Den gang var ikke forekomsten dekket av boliger i samme grad som i dag. I de undersøkelser som ble utført av rutil/eklogitt-

forekomster i Sunnfjord på 1990-tallet, ble ikke Naustdalsforekomsten nærmere vurdert på grunn av nærheten til Naustdal sentrum og lakseelva Nausta, samt den da betydelige bebyggelsen på selve forekomsten.

Geologisk sett er forekomsten svært lik Engebøfjellet, og den geologiske beskrivelsen av Engebøfjellet (Korneliussen m.fl. 1998) vil i stor grad også gjelde for Naustdalsforekomsten.

Forekomstens areal er omtrent 900.000 m². Når en tar hensyn til at den gravimetrisk tolkningen av Naustdalsforekomsten viser en betydelig mengde eklogitt mot dypet (Dalsegg m.fl. 1999), kan en anse forekomsten som meget stor og vil sannsynligvis inneholde 100-200 millioner tonn med eklogitt med 3-5 % rutil.

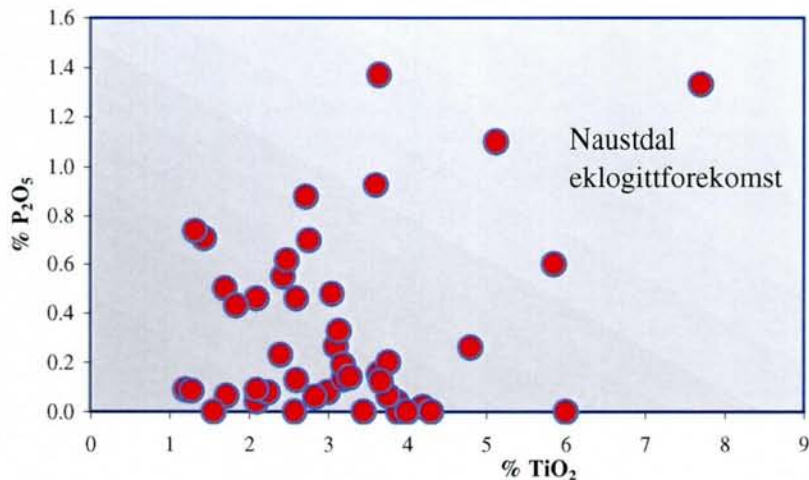


Fig. 6: TiO₂- og P₂O₅-analyser av prøver fra Naustdalsforekomsten.

Prøvene er innsamlet av H.-P. Geis i 1973 og analysert med atomabsorpsjon. Nærmere detaljer om prøvelokalitetene er oppgitt i Korneliussen (1978). Omtrent ½-parten av forekomstens areal synes å inneholde over 3 % TiO₂.

Steinkrossen. NGU gjennomførte i 1998 gravimetrisk målinger (tyngdemålinger) langs profiler i fjellområdet mellom Redalsgrend øst for Engebø og Naustdal (Elvebakk m. fl. 1999), og med utfyllende målinger i 1999 (Dalsegg m. fl. 1999). Av en serie med tyngdeanomalier (Fig. 7) som alle indikerer tunge bergarter (eklogitt), fattet en særlig interesse for en anomali ved fjellet Steinkrossen (Fig. 8) på nordsiden av Førdefjorden, 4 km vest for Naustdal sentrum. I det aktuelle anomaliområdet 700 m.o.h. opptrer eklogitt og amfibolitt (retrogradert eklogitt) over et begrenset område. 70-80% av eklogittblotningene inneholder eklogitt med 1-3% TiO₂, mens de resterende eklogittblotninger har eklogitt med 3-5% TiO₂. Bergartens karakter er svært lik det en kan finne i randområder av Engebøfjellforekomsten og Naustdalsforekomsten. Tyngdeanomalien er kraftig, og kan kun forklares ved at en har en betydelig mengde eklogitt mot dypet omtrent slik som antydning i profilet i Fig.8. Det er sannsynlig at Steinkrossenforekomsten er sammenlignbar i størrelse og rutilgehalt med Engebøfjellet og Naustdalsforekomsten, og representerer således en betydelig "sannsynlig ressurs". En presis definering av denne ressursen vil kreve kjerneboringer.

Steinkrossen og andre mulige forekomster i fjellområdet mellom Engebø og Naustdal, åpner opp for en betydelig utvidelse av ressursgrunnlaget relatert til Engebøfjellet.

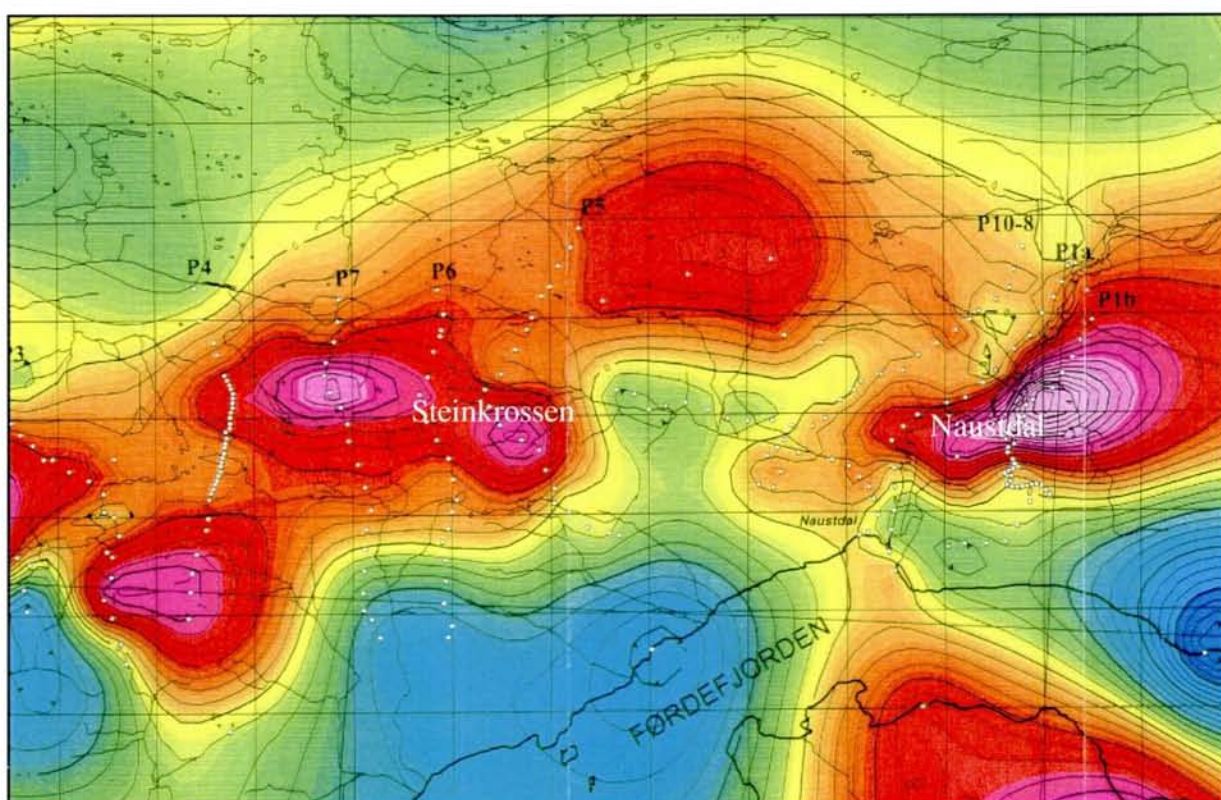
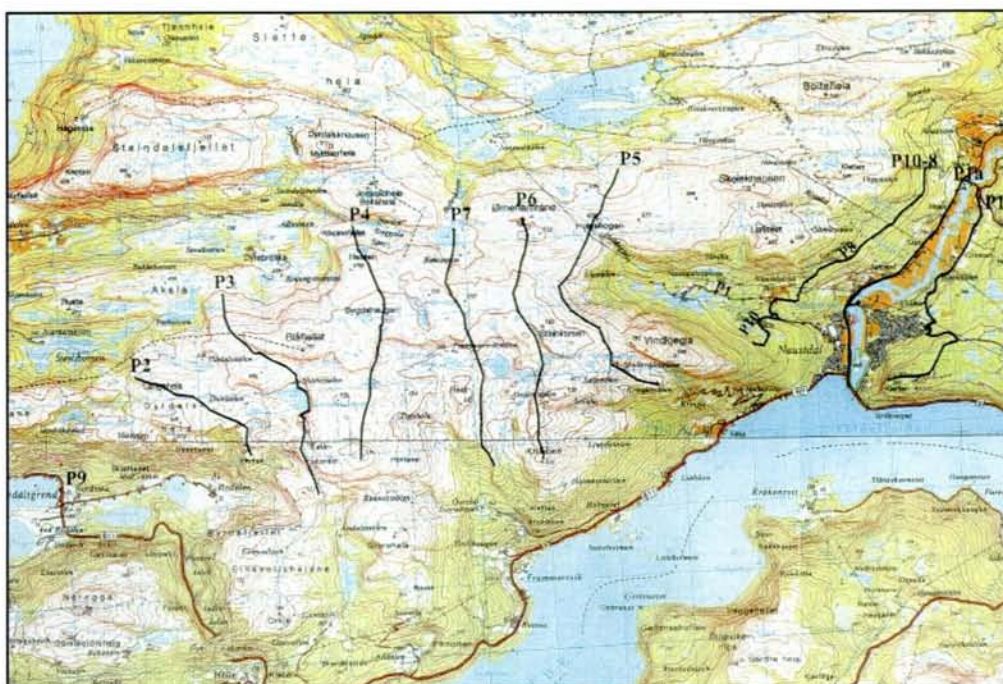


Fig. 7: Gravimetrisk anomalikart, Naustdal. Det øverste kartet viser de gravimetriske profilene på nordsiden av Førdefjorden som ble målt i 1998 (Elvebakk m. fl. 1999) og i 1999 (Dalsegg m.fl. 1999). Kartet nedenfor viser tyngdeanomaliene. Utsnittene for de to kartene er ikke sammenfallende.

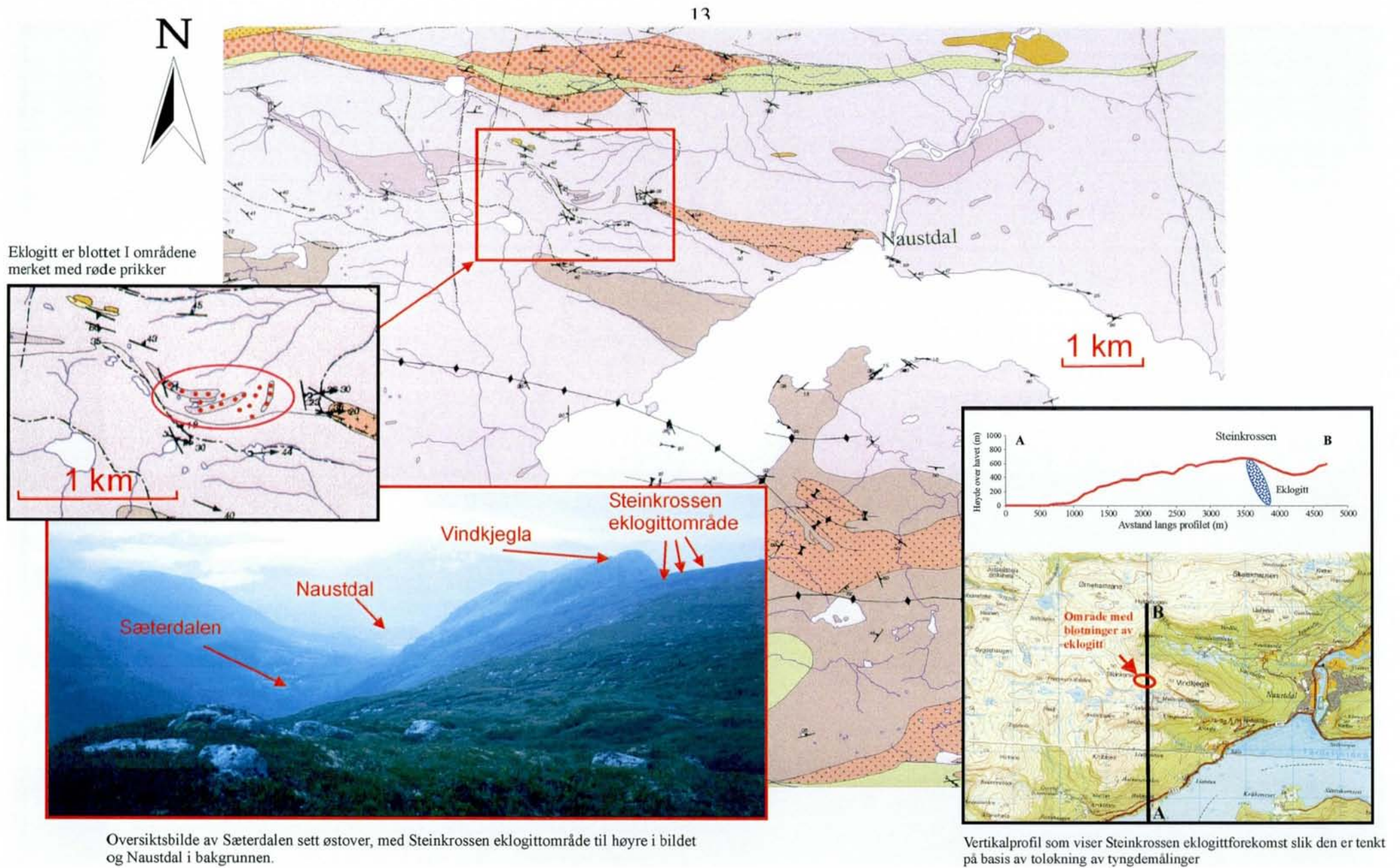


Fig. 8: Steinkrossen – Geografisk og geologisk oversikt. Det geologiske kartet er etter Lutro og Ragnhildstveit (1996)

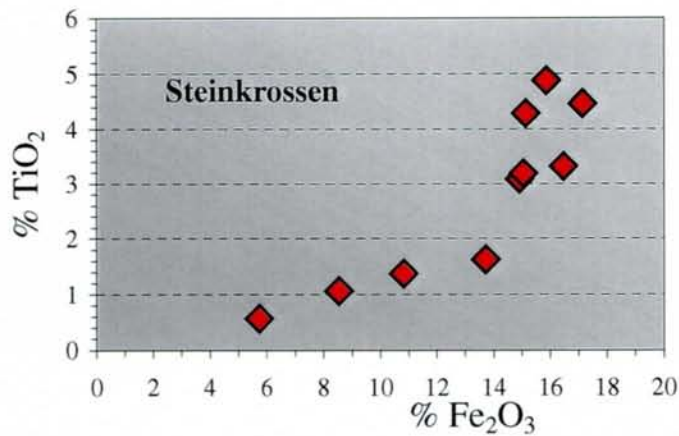


Fig. 9: Fe₂O₃ – TiO₂ plott av chipprøver fra eklogittblotninger, Steinkrossen.

Fe₂O₃ – TiO₂ trenden i plottet er tilsvarende som for Engebøfjellet, jfr. Fig. 4e.

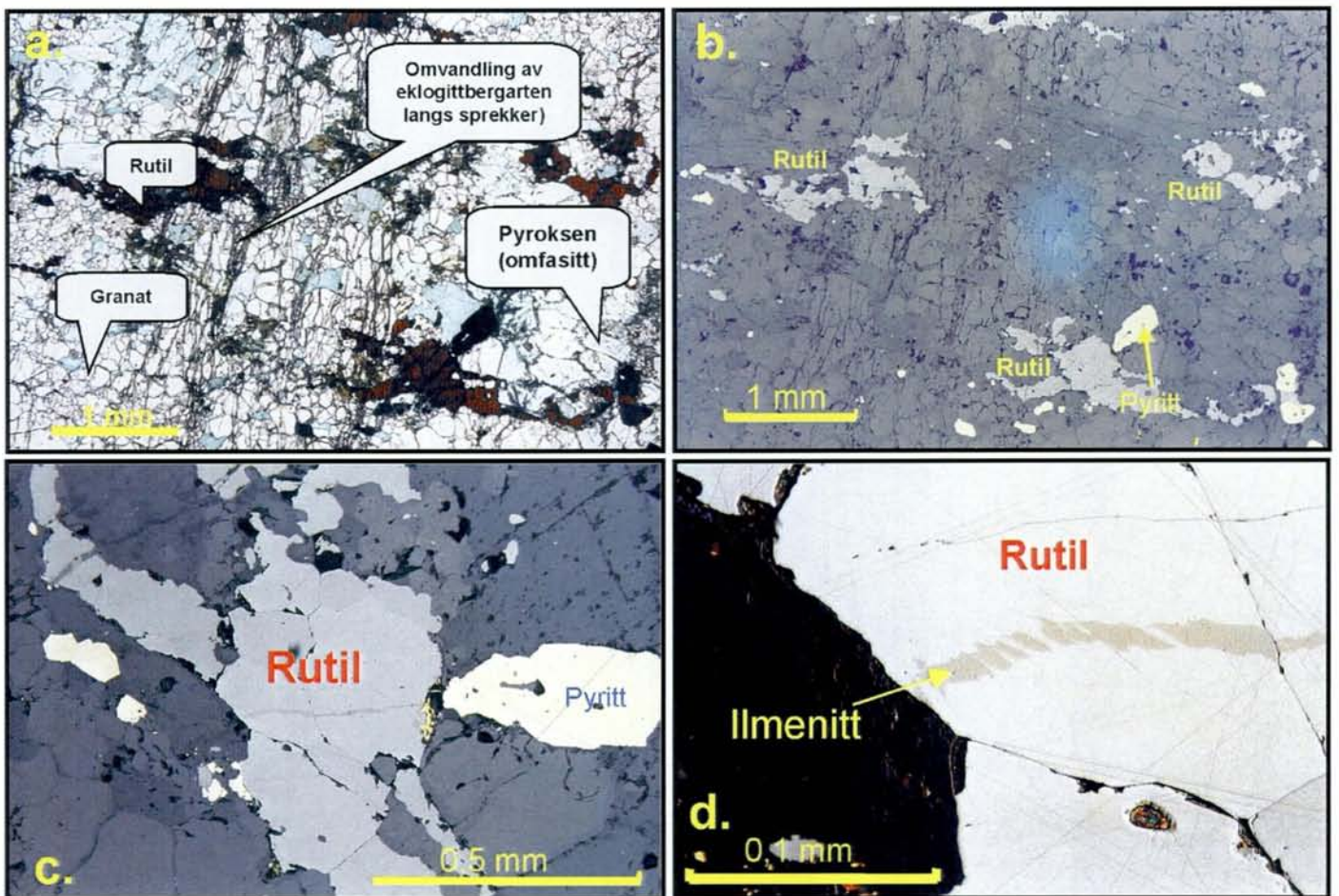


Fig. 10: Mikroskopbilder av eklogitt fra Steinkrossen.

Bilde (a) er av eklogitt fotografert i gjennomfallende lys, og viser såkalte retrograde sprekker som gjennomsetter eklogittbergarten. Slike sprekker har vært kanaler for vannholdige løsninger hvor de primære eklogitt silikatmineraler er omvandlet til finkornige aggregater av hovedsakelig plagioklas og hornblende. Bilde (b) er det samme utsnittet fotografert i reflektert lys. Rutil opptrer som relativt store aggregater som er tolket å reflekter opp treden av store ilmenittkrystaller i den opprinnelige gabbroide bergarten før den ble omvandlet til eklogitt. Bildene (c) og (d) viser forstørrede utsnitt fra det foregående bildet. Et karakteristisk trekk i (d) er at rutilet er retrograd omvandlet til ilmenitt langs en sprekk som nå er synlig kun ved anrikning av ilmenitt. De sprekker i rutil som er synlige i bilde (d) er dannet på et senere tidspunkt og har ikke gitt mineralomvandling.

6. De viktigste rutilforekomster syd for Dalsfjorden

Området syd for Dalsfjorden (Fig. 3) inneholder diverse gneisbergarter og basiske og ultrabasiske bergarter. De basiske bergarter er i varierende grad omvandlet til eklogitt. Visse basiske bergarter er relativt rike på Fe-Ti oksyder i form av impregnasjoner og massive bånd; noen av disse var gjenstand for en beskjeden gruvedrift på jern i første halvdel av 1900-tallet. Den største av disse forekomstene ligger ved Saurdal, hvor opptil 0.5 m mektige bånd og linser av massiv magnetitt-ilmenitt malm opptrer langs en Ø-V gående sone på sydsiden av en eklogittisert gabbro (merket Saurdal i Fig. 3).

Rutilførende eklogitter i Dalsfjordområdet ble rekognoserende prøvetatt av NGU i 1978-79 (Korneliussen 1980). Området ble gjenstand for en god del oppmerksomhet i DuPont/Conoco-NGU prosjektet i 1992-94 i form av kartlegging og prøvetaking av rutilførende eklogitter, blant annet av forekomstene Saurdal, Ramsgrønova og Orkheia.

Eklogittene i Dalsfjordområdet viste seg å være relativt grovkornige samtidig som de stort sett er lite retrograd omvandlet, og representerer dermed en forekomstvariant som antas å være lettere å opprede enn de finkornige forekomster ved Førdefjorden. Imidlertid ble det ikke påvist gode indikasjoner på store volum med rutilrik (3-5 %) eklogitt. I 1995 ble fokus i prosjektet rettet mot Engebøfjellforekomsten på nordsiden av Førdefjorden, uten at undersøkelsene syd for Dalsfjorden ble tilfredsstillende avsluttet.

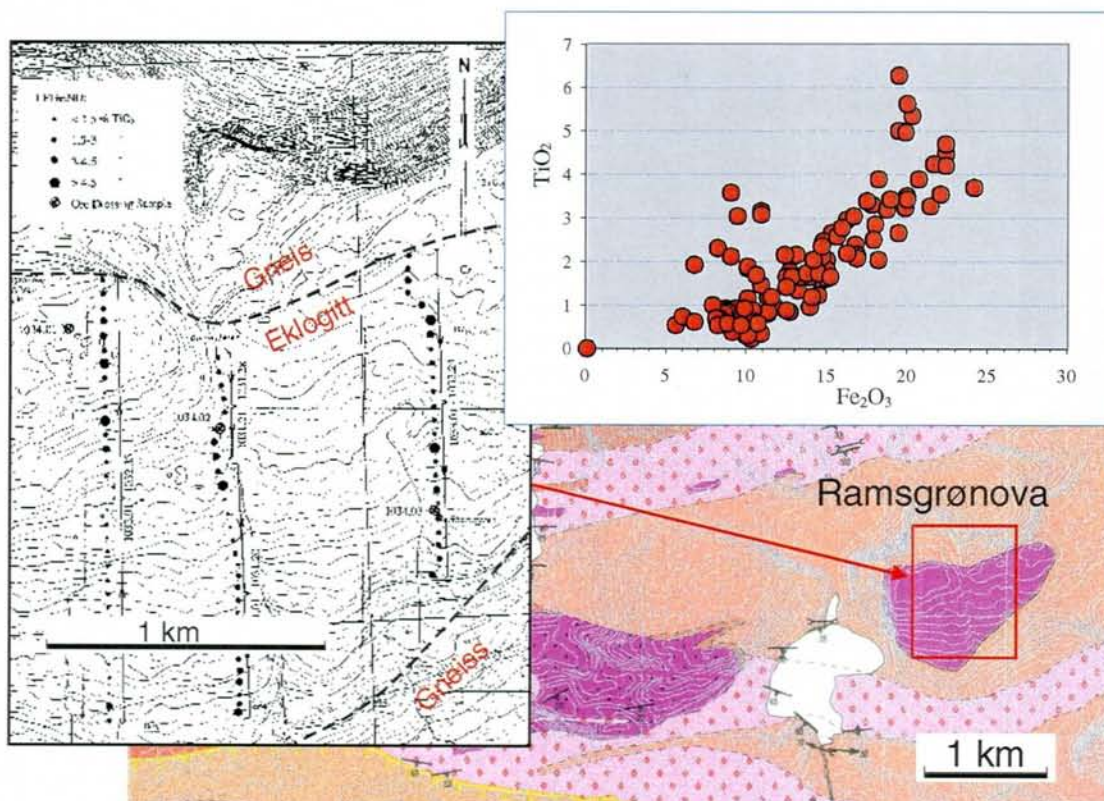


Fig. 11: Geologisk kart over Ramsgrønova. Borkaks prøvetakings-punkter og TiO₂-Fe₂O₃ analyseresultater plottet i X-Y diagram.

Ramsgrønova (Fig. 11) tilhører en serie med ganske like eklogittbergarter som er omgitt av granitoide gneisbergarter fra Skifjorden i vest, over Orkheia og Drøsdal til Ramsgrønova, samt videre østover. Disse eklogitter er sterkt deformerte og foldet sammen med de omkringliggende gneiser. Den opprinnelige bergarten har sannsynligvis vært Proterozoiske gabbroide til gabbro-anortosittiske intrusjoner. Rester av massive bånd av magnetitt-ilmenitt malm opptrer i eklogitt ved Skifjorden. Ramsgrøvova er et stort, flattliggende "eklogittflak" som utgjør topp-partiet av fjellet Ramsgrønova. Forekomsten er en av en rekke store eklogittforekomster i området. Fig. 12 viser forekomsten sett fra vest.

Forekomsten ble prøvetatt av DuPont-NGU i 1995, i form av borkaks prøvetaking av 0.5-0.6 m lange hull med en liten boremaskin, og prøvene ble deretter analysert med XRF. Over 90% av titanet i bergarten er gjennomgående bundet som rutil. Retrogradering av eklogitt med omvandling av rutil til ilmenitt, er lite utpreget for disse forekomstene.

Forekomsten har et utgående på omtrent 0.5 km² med en antatt gjennomsnittlig mektighet på 75 m. Dette tilsvarer en forekomststørrelse på i størrelsesorden 100 millioner tonn eklogitt. De rutilrike deler med minst 3% rutil, anslås å utgjøre omtrent ¼ av denne tonnasjen, d.v.s. 20-30 millioner tonn, uten at dette er kartlagt ut i detalj.



Fig. 12: Fotografi av Ramsgrønova eklogitt sett fra vest.

Det er sannsynligvis for lite rutilrik eklogitt i Ramsgrønova til at denne forekomsten er av økonomisk interesse alene. Forekomsten kan imidlertid være av økonomisk interesse sett i sammenheng med andre forekomster i området, slik at disse forekomster til sammen kan representere en betydelig ressurs.

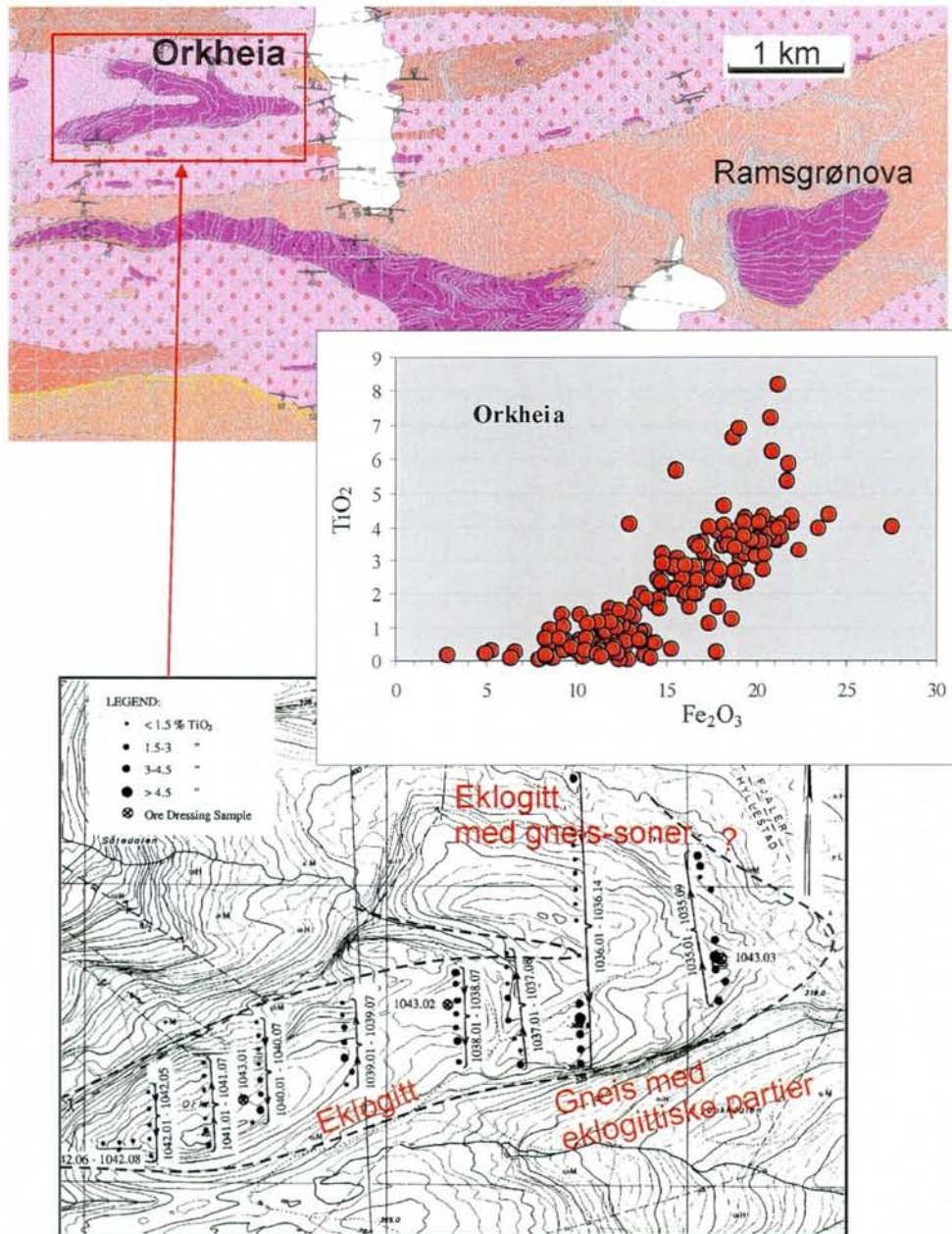


Fig. 13: Geologisk kart, Orkheia, samt borkaks prøvetakingsprofiler og TiO_2 og Fe_2O_3 XRF-analyser plottet i X-Y diagram.

Orkheia eklogitt består av en foldet plateformet kropp med utgående som vist i Fig. 13. Forekomsten går opp i luften i alle ender, og har sannsynligvis en begrenset utstrekning mot dypet. Den er mineralogisk helt tilsvarende Ramsgrønova.

Forekomsten ble fragmentarisk prøvetatt i 1993 og 1994, blant annet i form av borkaks prøvetaking med en liten boremaskin i profiler (Fig. 13) tilsvarende som for Ramsgrønova. I tillegg ble det i regi av selskapet Stokke Industri (som den gang samarbeidet med NGU og DuPont) kjerneboret et ca. 200 m hull nær den østlige enden av forekomsten for å undersøke kontinuiteten mot dypet. Borehullet påviste ikke interessante mengder av rutilrik eklogitt, men antydte at geologien er relativt

komplisert strukturgeologisk. Dette ble imidlertid ikke videre undersøkt i detalj. Borkjernen er lagret ved NGUs borkjernelager på Løkken.

Titaninnholdet i borkaksprøvene viser en kontinuerlig variasjon fra nærmest 0% til 7-8% TiO_2 , jfr. Fe_2O_3 - TiO_2 plottet i Fig. 13. Over 90% av titanet er bundet som rutil. Det virker som om Orkheia er gjennomgående noe rutilrikere enn Ramsgrønova, og omtrent 1/3 av det sørlige eklogittområdet, jfr. det geologiske kartet i Fig. 13, er antatt å inneholde minst 3% rutil. Et ressuroverslag blir omtrent som følger: 1200 m (lengde av den sørlige eklogittkroppen) x 200 m (gjennomsnittlig bredde) x 100m (antatt gjennomsnittlig tykkelse) x 3.2 tonn/m³ (egenvekt) tilsvarer ca. 80 millioner tonn hvorav ca 1/3, altså 25-30 millioner tonn, har minst 3 % rutil i gjennomsnitt.

Orkheia er i likhet med Ramsgrønova sannsynligvis for liten til å kunne være drivbar på rutil alene basert på estimatet for mengde eklogitt med minst 3% rutil. Forekomsten har imidlertid god mineralogisk kvalitet og har en større kornstørrelse enn hva som er tilfelle for eklogittene ved Førdefjorden. Gjøllanger-Ramsgrønova-Orkheia området er samlet sett absolutt interessant i rutilsammenheng forutsatt at en kan definere flere forekomster innenfor en avstand av 5-10 km som til sammen kan utgjøre et stort nok ressursgrunnlag for en gruvevirksomhet med utgangspunkt i et gunstig plassert opprednings- og havneanlegg.

7. Viktige forekomstegenskaper

Beliggenheten har stor betydning. En såpass lav rutilgehalt som 3-5 % er kun økonomisk interessant hvis forekomsten er stor; det vil da være mulig å oppnå en relativ lav produksjonskostnad pr. tonn produsert rutil, noe som i praksis best kan gjøres ved stor produksjon. Dette betyr at et slikt gruveanlegget vil få store dimensjoner og følgelig også betydelige konsekvenser for lokalmiljøet. I denne sammenheng vektlegges følgende faktorer som hver kan få avgjørende innvirkning i forhold til eventuell gruve drift:

- Nærhet til bebyggelse. For stor arealkonflikt i forhold til eksisterende bebyggelse kan lett stoppe et ellers godt gruveprosjekt.
- Egnet sted for avgangsdeponering. For rutil/eklogitt-forekomster vil i utgangspunktet 97-98% av bergarten bli avgangsmateriale i form av stein knust ned til finkornet mineralsand, som må deponeres på et hensiktsmessig sted på land eller på fjordbunn. Mengden avgang kan minskes ved at en utvikler andre salgbare mineralprodukter. Det er helt avgjørende at avgangsdeponeringen kan løses på en teknisk-økonomisk så vel som miljømessig forsvarlig måte.
- Infrastruktur og nærhet til havn. En godt utbygget infrastruktur i området er en fordel. Spesielt vil god tilgjengelighet for sjøtransport være et betydelig fortrinn.

Forekomststørrelse og gehalt. DuPont/Conoco anså en årsproduksjon på 200.000 tonn rutil som realistisk for Engebøfjellet, til en produksjonsverdi på i størrelsesorden 8-900 millioner kr i året. Dette krever at det brytes 7-8 millioner tonn eklogittmalm + sidebergart. Andre industriselskaper som har vurdert Engebøfjellet har kommet med liknende uttalelser. I praksis trengs en rik malm (4-5% rutil) for å kunne gi grunnlag for å nedskrive investeringene ved anlegget i løpet av en 10-12 års periode; deretter vil det være mulig å drive på lavere gehalter (3-4% rutil, kanskje også under 3 %) over lang tid.

En forekomst bør inneholde en malmreserve for i størrelsesorden 30 års drift, med mulighet for ekstra ressurser i form av "sannsynlig malmreserve" i nærområdet. I et slikt perspektiv er Engebøfjellet stor nok. I tillegg inneholder fjellområdet på nordsiden av Førdefjorden mellom Engebø og Naustdal en betydelig mengde "sannsynlig malmreserve" som kan representere store tilleggstonnasjer til en gruvedrift på Engebøfjellet.

Kornstørrelse. Titanpigment-produsentene stiller krav til rutilråvarens kornstørrelse. Helst bør 90% av rutilkornene i rutilkonsentratet være over 0.075 mm (75 micron). Når det gjelder Engebøfjellet viste det seg at DuPonts mineralseparasjonsforsøk produserte et rutilkonsentrat hvor 90% av rutilen var over 0.045 mm (45 mikron). Dette er tilstrekkelig for DuPont, men for finkornet for enkelte andre titanpigmentprodusenter. Kornstørrelsen varierer innenfor de enkelte forekomster inkludert Engebøfjellet, men det er ikke kjent om dette kan få praktisk betydning. Forekomstene syd for Dalsfjorden (Orkheia, Ramsgrønova m.fl.) har gjennomgående en større rutil kornstørrelse enn forekomstene ved Førdefjorden, og vil dermed ha et opprednings- og markedsmessig fortrinn. Mikroskopfotografiene i Fig. 16 illustrerer variasjoner i opptreden av rutil inkl. forskjeller i kornstørrelse og kornform mellom noen forekomster. Tilsvarende variasjoner kan til en viss grad også forekomme innenfor den enkelte forekomst, men uten at dette er studert i detalj.

Retrograd mineralomvandling i form av amfibolittisering av eklogittbergarten, medfører at rutil omvandles mot ilmenitt (jfr. Fig. 14). Denne geologiske prosessen er derfor ødeleggende for rutilmalmens kvalitet, og kun forekomster hvor retrograd mineralomvandling er lite utpreget kan komme i betraktning som rutilressurs. For eksempel er forekomstene Engebøfjellet, Orkheia og Ramsgrønova gjennomgående lite retrograd omvandlet og har derfor god mineralogisk kvalitet

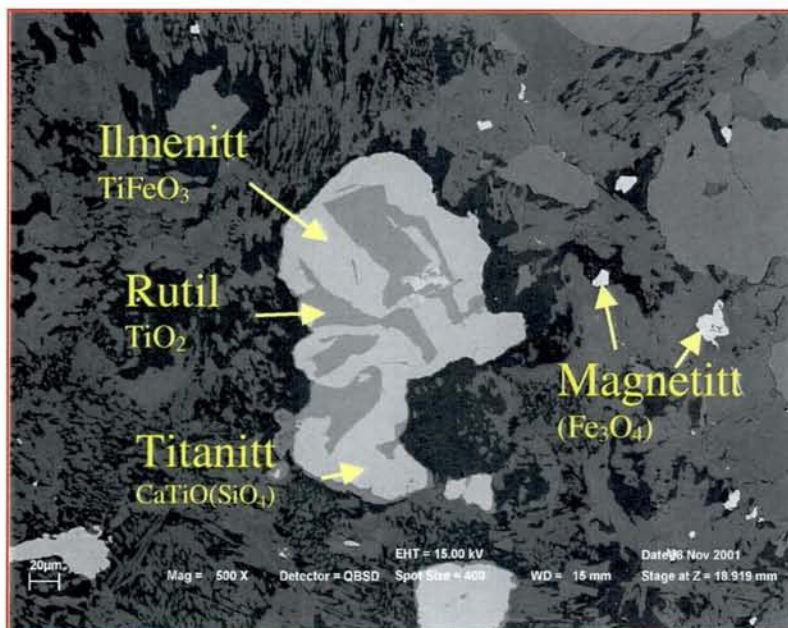


Fig. 14: SEM-bilde (bse) av rutil, Engebøfjellet.

Et stort rutilkorn er betydelig omvandlet til ilmenitt som konsekvens av retrograd omvandling av eklogittbergarten. Det store rutil/ilmenittkornet i figuren er i tillegg omgitt av en tynn rand av titanitt. Selv om denne type mineralomvandling er vanlig i Engebøfjellet og andre forekomster, så er den samlede effekten for Engebøfjellets vedkommende relativt beskjeden. Skalaen nederst til venstre i bildet er 20 mikron (0.02 mm).

I global sammenheng har dette fenomenet "ødelagt" et betydelig antall titanrike eklogittforekomster som ellers kunne vært egnet for økonomisk utnyttelse. Faktisk har det vist seg ved globale rutil/eklogitt-undersøkelser utført av DuPont på 90-tallet, at eklogittbergarter i Sunnfjord gjennomgående er mindre påvirket av retrograd omvandling enn hva som synes å

være tilfelle i andre eklogittområder. Engebøfjellet ble av DuPont ansett som den beste rutil/eklogittforekomst som er kjent i verden.

Retrograd omvandling av eklogitt er også illustrert i det nederste av de to mikrofotografiene i Fig. 17, hvor de mørke årer/partier i stor grad består av sekundære omvandlingsminerale (jfr. figurteksten).

Biproduktmuligheter. En kan tenke seg en rekke biprodukter relatert til rutil gruvedrift fra eklogittforekomster. Biprodukter kan gi betydelig økonomisk tilleggsgevinst, men det kan også hende at en ikke lykkes i å utvikle salgbare biprodukter. På grunn av denne usikkerheten kan derfor biprodukter normalt ikke tas med i det økonomiske regnestykket for oppstart av gruvedrift. Eklogitt fra Engebøfjellet har vist seg å være en meget sterk bergart som samtidig er tung (spesifikk vekt $3.3 - 3.5 \text{ kg/dm}^3$), noe som gjør at bergarten kan tenkes anvendt for en rekke spesialformål (se nedenfor). De mest aktuelle biprodukter til rutilproduksjon er:

- Granat brukes primært som blåsesand og slipemiddel i spesielle sammenhenger. Markedet er i dag relativt lite, noe som for en stor del skyldes høy pris på granatråvaren. Imidlertid vil en produksjon av granat i store kvanta ved en eventuell rutildrift, kunne gjøre det mulig å redusere produkt enhetsprisen, noe som kanskje kan stimulere til øket etterspørsel i løpet av noen år. En forutsetning er at det er mulig å produsere et granatsandprodukt som tilfredstiller markedets krav til blant annet kornstørrelse.
- Mineralsand for bruk i betong. Tung granatrik mineralsand kan tenkes anvendt i betong i sammenhenger hvor en ønsker tung betong, i første rekke gjelder dette byggeanlegg i vann.
- Tildekningsmateriale for miljøskadelige bunnsedimenter i havnebassenger o.a. Industriforurensing har i en rekke tilfeller medført at bunnsedimenter utenfor industrianleggene er blitt betydelig forurenset av PCB m.m. For å forhindre at økosystemet i havet eksponeres for denne giften, kan de aktuelle sedimentene dekket til med et lag med tett mineralsand. Bruk av Engebøfjell avgangsmateriale kan være aktuelt i denne sammenheng.
- Eklogitt forbygningsstein for bruk i for eksempel moloer. Det stilles i denne sammenheng krav om høy styrke, tyngde og blokkstørrelse.
- Eklogitt spesialpukk i sammenhenger hvor en ønsker tung og sterk pukk for å oppnå høy stabilitet.

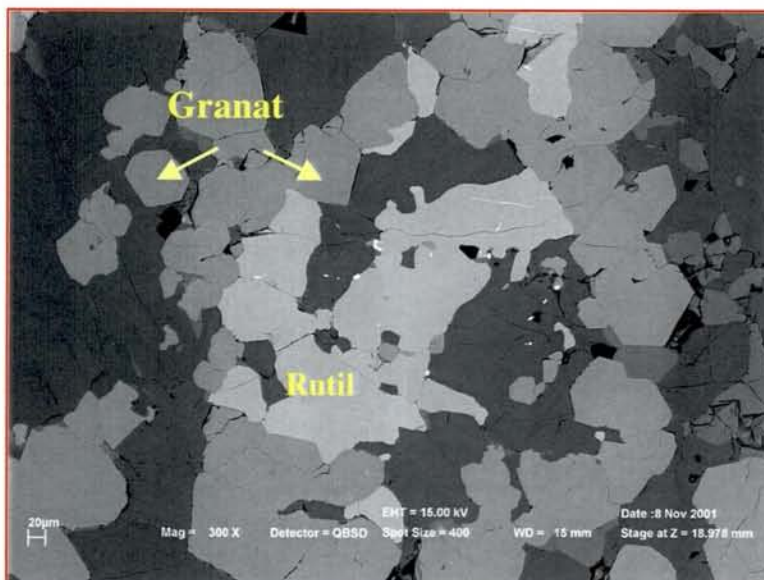


Fig. 15: SEM-bilde (bse) av granat- og rutilrik eklogitt, Engebøfjellet. I tillegg til rutil representerer granat en betydelig ressurs som kan tenkes å kunne få økonomisk betydning i kombinasjon med rutil. Små hvite prikker i bildet er zirkon. Skalaen nederst til venstre i bildet er 20 mikron (0.02 mm).

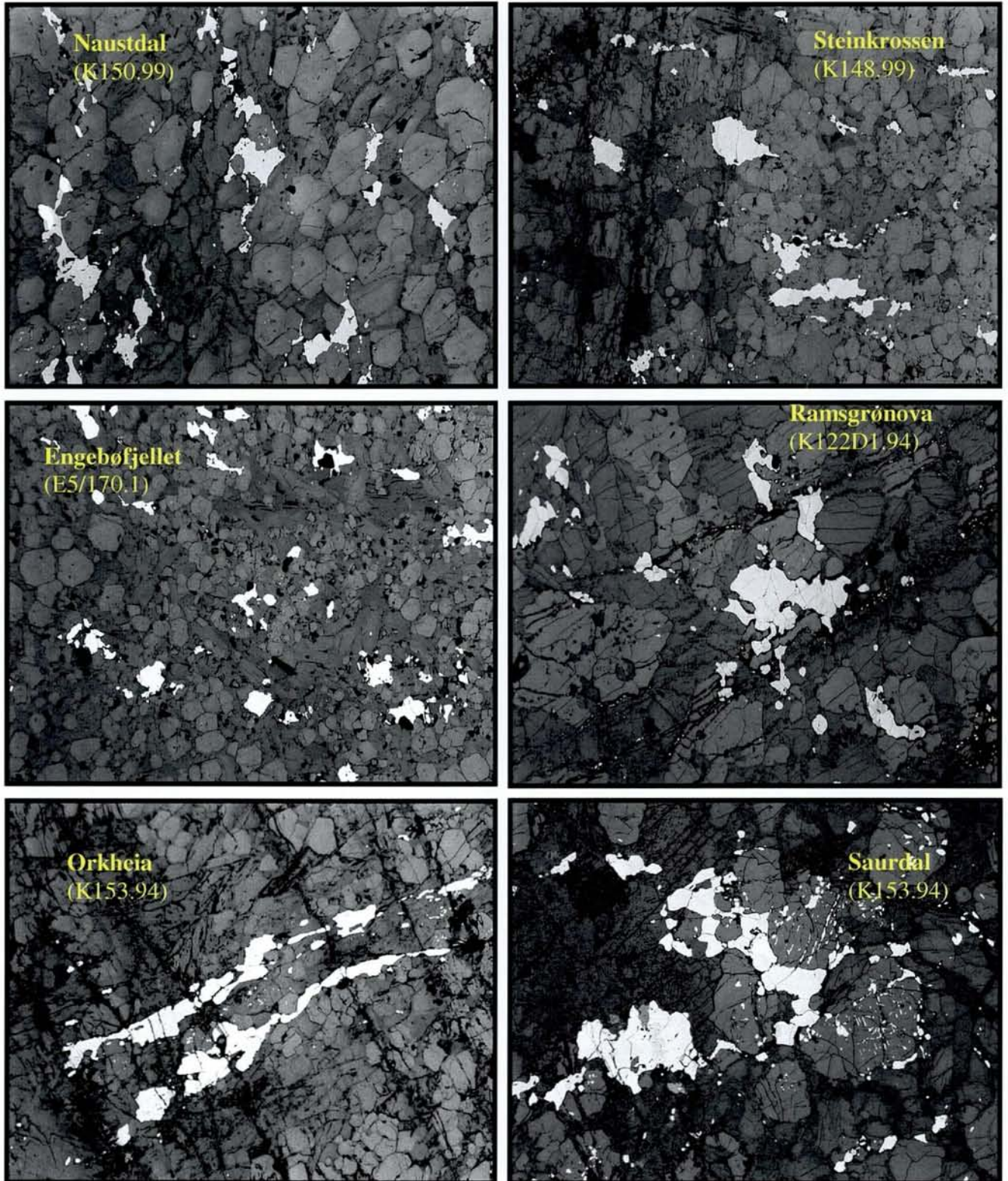


Fig. 16: Mikrofotografier av rutilførende eklogitter. De respektive prøver er fra Naustdal, Steinkrossen og Engebøfjellet på nordsiden av Førdefjorden og Ramsgrønova, Orkheia og Saurdal syd for Dalsfjorden. Bildene som er tatt med samme forstørrelse (lengste side er 5 mm) i reflektert lys, viser rutil (lys grå) fra de respektive forekomster. Et karakteristisk trekk er at rutil fra forekomster i Førdefjordområdet gjennomgående er finkornigere enn rutil fra forekomster sør for Dalsfjorden. Det er viktig å være oppmerksom på at det til dels kan forekomme store kornstørrelsesvariasjoner innad i den enkelte forekomst.

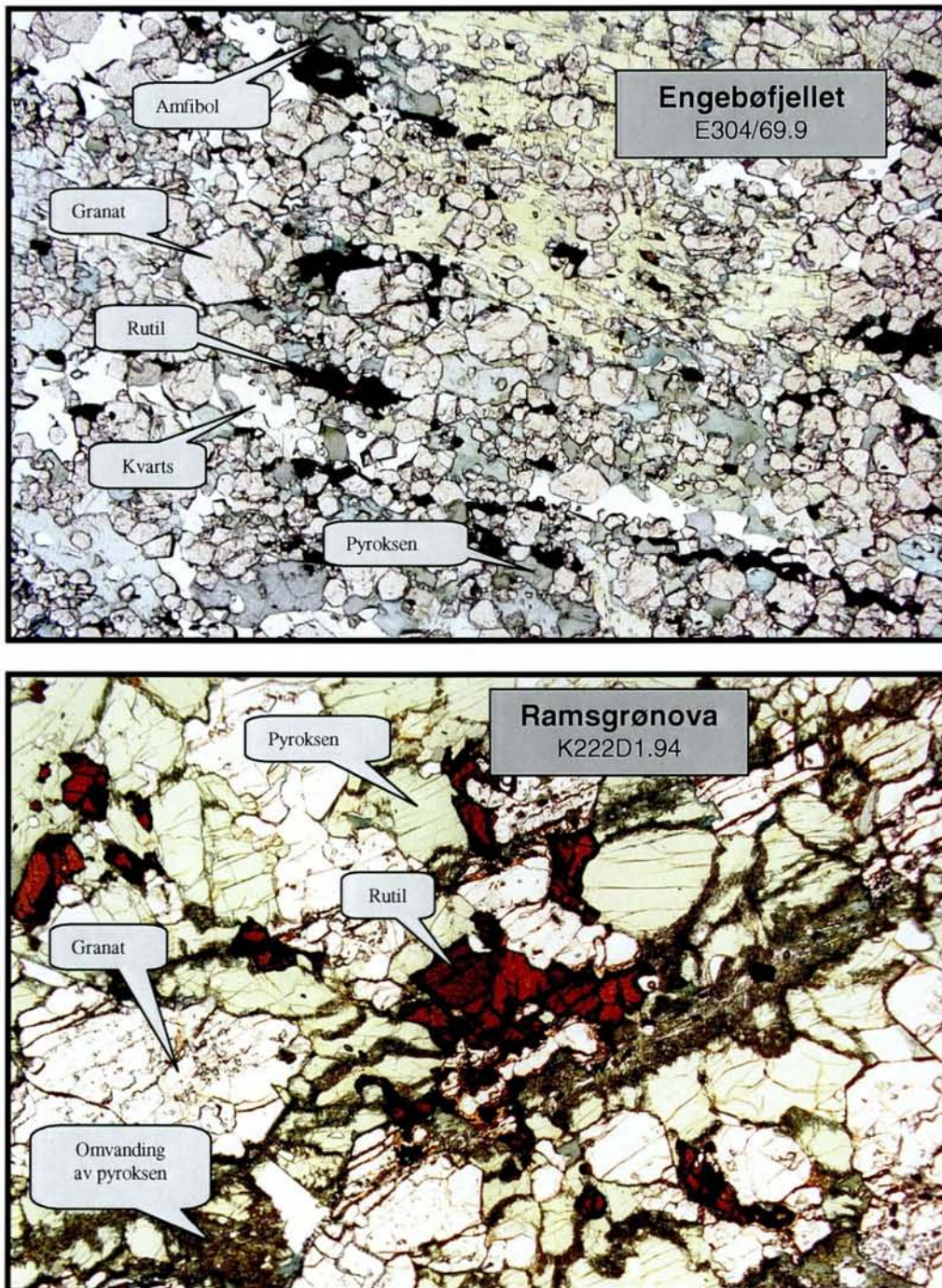


Fig. 17: Mikroskopfotografier av rutilførende eklogitt fra Engebøfjellet og Ramsgrønova, De to fotografiene er tatt i gjennomfallende lys. Lengste side av begge bildene er 5 mm. Det øverste av bildene er av en typisk granatrik eklogitt (ferro-eklogitt) fra Engebøfjellet som er praktisk talt upåvirket av retrograd mineralomvandling, mens det nederste bildet er av en eklogitt som er betydelig retrograd påvirket. Denne retrograderingen skyldes at vannholdige løsninger har infiltrert bergarten etter eklogittmetamorfosen (jfr. detaljert beskrivelse av Korneliussen m.fl. 1998 av eklogitt-mineralogien i Engebøfjell), og har ført til mineralomvandling av eklogittmineralene. Mest karakteristisk er omvandling av omfasittisk klinopyroksen til finkornige aggregater av plagioklas og hornblende (framstår som mørke partier i bildet) og omvandling av rutil til ilmenitt (jfr. Fig. 14).

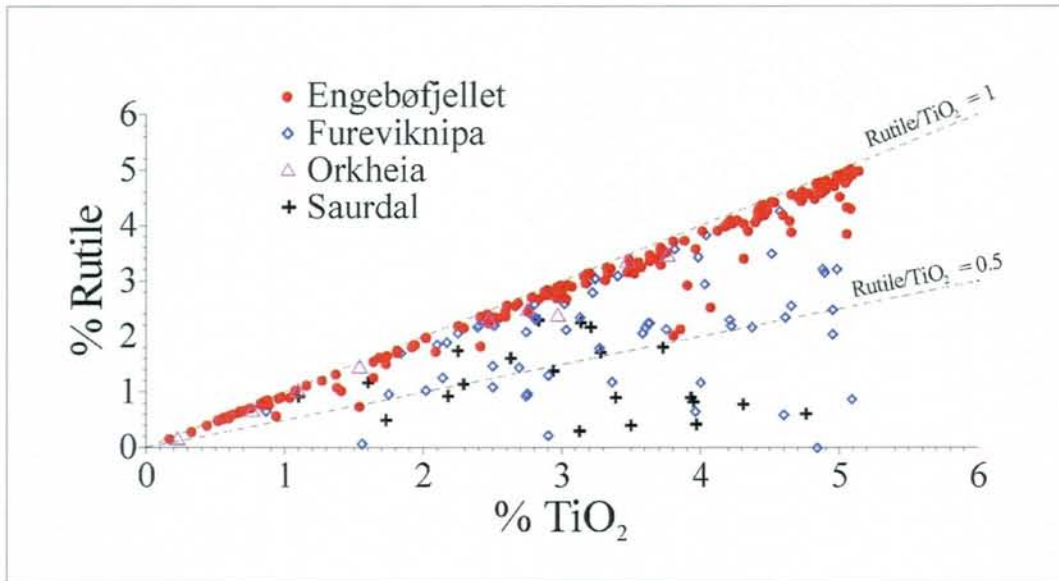


Fig. 18: Sammenlikning av TiO_2 – og rutilinnholdet i prøver fra Engebøfjellet, Fureviknipa, Orkheia og Saurdal. Denne figuren viser at for Engebøfjellet og Orkheia er titanet overveiende bundet som rutil, ved at de flere prøver plottes nært inntil $\text{Rutil}/\text{TiO}_2=1$ linjen. Flertallet av prøvene fra Engebøfjellet og Orkheia inneholder i størrelsesorden 95-98% av titanet bundet som rutil, og de plottes derfor nær denne linjen. Noen få prøver fra disse forekomstene plottes et stykke unna denne linjen; disse representerer eklogitt som har gjennomgått en omfattende retrograd mineralomvandling, som har medført at rutil i betydelig grad er omvandlet til ilmenitt. Eklogitt fra Fureviknipa* og Saurdal* er gjennomgående sterkt omvandlet (amfibolittisert), slik at en stor andel av titanet i bergarten foreligger bundet i ilmenitt på bekostning av rutilbundet titan.

* Forekomstene Fureviknipa og Saurdal er ikke nærmere beskrevet i denne rapporten.

8. Sammenfatning av ressursinformasjon

Nordsiden av Førdefjorden

Engebøfjellet er den eneste forekomsten som er grundig undersøkt i form av kjerneboring og oppredningsforsøk. En betydelig ressurs er påvist (Tabell 1). Forekomsten er ikke avgrenset mot dypet; ressursen vil derfor være større enn det som framgår.

Nordsiden av Førdefjorden (Fig. 2 og 7) inneholder en rekke tyngdeanomalier som skyldes store volum av tunge bergarter, d.v.s. eklogitt. Rekognoserende prøvetaking på et tidlig tidspunkt i Sunnfjordsundersøkelsene (Korneliussen 1978) påviste relativt store arealer med utgående eklogitt, men bare unntaksvis inneholder disse økonomiske interessante gehalter av rutil. Alt i alt er det sannsynlig at disse områder inneholder atskillige milliarder tonn med eklogitt, hvorav en ukjent andel kan forventes å inneholde 3-5% rutil som er nødvendig for at det skal anses som en framtidig ressurs på rutil. Den mest interessante enkeltanomali for rutilrik eklogitt er Steinkrossen, som kan tenkes å inneholde i størrelsesorden 3-500 Mt eklogitt hvorav anslagsvis 1/3, altså minst 100 Mt, kan forventes å inneholde 3-5% rutil.

Naustdalsforekomsten ligger like ved Naustdal sentrum, delvis i en lakseelv (Nausta) og er i stor grad dekket av et boligfelt. Den er derfor en lite aktuell resurs, men er likevel tatt med i Tabell 1. Antatt tonnasje er omtrent som for Steinkrossen.

Sydsiden av Førdefjorden

Den sentrale og østlige delen av fjellet Fureviknipa (Fig. 2) inneholder eklogitt med 3-4% TiO_2 hvorav i gjennomsnitt omtrent 60% er rutilbundet. Rekognoserende undersøkelser

på sydsiden av Førdefjorden har ikke påvist forekomster av samme kaliber som de på nordsiden. En vil imidlertid anse det som sannsynlig at området inneholder forekomster av økonomisk interesse.

Dalsfjordområdet

Ressursmulighetene i Dalsfjordområdet (Fig. 3) anses å være betydelig, men er helt utilstrekkelig undersøkt. Eklogitter i dette området er gjennomgående klart grovkornigere enn forekomstene ved Førdefjorden, som er en fordel. Det vil dermed i prinsippet være mulig å produsere grovkornigere rutilkonsentrater. Forekomstene Orkheia, Ramsgrønova og Saurdal (ikke nærmere omtalt i denne rapporten) er detaljert overflateprøvetatt. Rutilinnholdet i disse forekomstene kan til dels være like høyt som i de rikeste forekomstene ved Førdefjorden, men synes på bakgrunn av de utførte undersøkelsene å ikke representere like store volum. Ressurspotensialet i Dalsfjordområdet er definitivt betydelig, men altså helt utilstrekkelig undersøkt så langt.

Tabell 1: Ressurser av rutilførende eklogitt i Sunnfjord.

Eklogitt med minst 3 % rutil anses som ressurs. "Påvist ressurs" må være dokumentert ved boringer (Engebøfjellet). "Sannsynlig ressurs" må være sannsynliggjort ved gravimetrisk målinger (Steinkrossen) eller på annen måte, for eksempel som en sannsynlig forlengelse av kjente forekomster mot dypet. Ressursanslagene er i millioner tonn eklogitt. In situ rutil er samlet mengde rutil i ressursen, hvorav 50% kan anses som teknisk-økonomisk utvinnbar med dagens teknologi. I verdianslaget er det benyttet en forsiktig antatt salgsverdi på 4000 kr/tonn rutil.

Forekomst	Område	Påvist ressurs (Mt) 3-5 % rutil	Sannsynlig ressurs (Mt) 3-5 % rutil	In situ (Mt) rutil	In situ verdi i MRD kr
Engebøfjellet	Førdefj. N	290	> 100	> 16	> 62
Steinkrossen	Førdefj. N		> 100	> 4	> 16
Naustdal	Førdefj. N		> 100	> 4	> 16
Andre forekomster ved Førdefjorden *	Førdefj.		> 100	> 4	> 16
Orkheia	Dalsfjord V		30	1	5
Ramsgrønova	Dalsfjord V		20	1	3
Andre forekomster ved Dalsfjorden **	Dalsfjord		> 100	4	16
Sum:		290	> 550	> 34	> 134
In situ rutil (Mt):		10	> 19		
In situ verdi (MRD kr):		41	> 77		

* Uidentifiserte forekomster på begge sider av fjorden

** Uidentifiserte forekomster i Dalsfjordområdet.

Ved den omfattende kjerneboring som ble utført ved Engebøfjellet i 1995-97 ble det påvist en ressurs på i størrelsesorden 300 millioner tonn eklogitt med 3-5% rutil, og sannsynliggjort en ressurs på ytterligere minst 100 millioner tonn. Forekomsten stuper mot vest og nord utenfor rekkevidde av de boringer som ble gjort; dette betyr at forekomsten sannsynligvis er vesentlig større enn det som oppgis i Tabell 1.

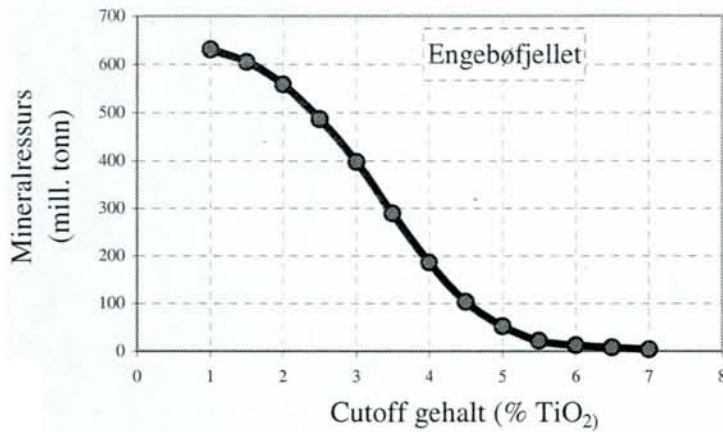


Fig. 19: Beregnet mineralressurs som funksjon av cutoff TiO_2 -gehalt, Engebøfjellet. For eksempel vil mineralressursen være ca. 400 millioner tonn ved 3% TiO_2 cutoff. Beregningen er utført av DuPont og gjengitt av CIBM World Markets Engebøfjellet Information Memorandum 2000.

Tabell 2: Verdens produksjon og reserver av titanmineraler i 2000 (Gambogi 2001). Tonnasjetallene er oppgitt i 1000 tonn.

	Produksjon		Reserve		Mulig reserve	
Ilmenitt						
USA	300	7 %	13 000	4 %	59 000	12 %
Australia	1 100	27 %	100 000	29 %	140 000	29 %
Canada	760	18 %	31 000	9 %	36 000	7 %
India	205	5 %	30 000	9 %	38 000	8 %
Norge (Tellnes)	270	7 %	40 000	12 %	40 000	8 %
Syd Afrika	935	23 %	63 000	18 %	63 000	13 %
Ukraina	286	7 %	5 900	2 %	13 000	3 %
Andre land	259	6 %	63 000	18 %	98 000	20 %
	4 115	100 %	345 900	100 %	487 000	100 %
Rutil						
USA	-	-	700	2 %	1 800	1 %
Australia	226	54 %	19 000	42 %	53 000	31 %
India	15	4 %	6 600	15 %	7 700	4 %
Syd Afrika	122	29 %	8 300	18 %	8 300	5 %
Ukraina	45	11 %	2 500	6 %	2 500	1 %
Andre land	8	2 %	7 900	18 %	100 000	58 %
	416	100 %	45 000	100 %	173 300	100 %
Ilmenitt (verden):	4 115	91 %	345 900	88 %	487 000	74 %
Rutil (verden):	416	9 %	45 000	12 %	173 300	26 %
Ilmenitt + rutil (verden):	4 531	100 %	390 900	100 %	660 300	100 %
Tenkte situasjon med Engebøfjellet i drift (basert på 2000-tall):						
Ilmenitt (verden)	4 115	87 %	345 900	86 %	487 000	63 %
Rutil (verden)	416	9 %	45 000	11 %	173 300	23 %
Rutil Engebøfjellet (hypotetisk)	200	4 %	12 000	3 %	4 000	14 %
Ilmenitt + rutil (inkl. Engebøfj.)	4 731	100 %	402 900	100 %	780 300	100 %

En eventuell produksjon av 200.000 tonn rutil fra Engebøfjellet vil utgjøre omtrent 4 % av verdens samlede produksjon av titanmineraler (regnet i mengde TiO_2 , Tabell 2). Imidlertid er en sammenligning av malmreserver slik som det framgår av tabellen, høyst usikker, fordi den informasjon som er tilgjengelig om verdens reserver er usikker. Sannsynligvis er verdens reserver betydelig større enn det som er antydnet ovenfor. Det er også høyst uklart hvilke av verden reserver som er mest konkurransedyktig i dagens markedssituasjon. Den internasjonale titanindustrien har i denne sammenheng relevant informasjon, men slik informasjon er ikke tilgjengelig.

9. Konklusjon

Rutilressursene i Sunnfjord regionen er avgjort meget store i norsk så vel som internasjonal sammenheng. Imidlertid er kunnskapen om disse ressursene, med unntak av Engebøfjellet, for utilstrekkelig til at det kan foretas en rimelig presis vurdering av ressursgrunnlaget.

Engebøfjellet er den eneste av en rekke forekomster som ved kjerneboring er dokumentert å inneholde en betydelig mengde rutilførende eklogitt med økonomisk interessante gehalter. Denne forekomsten er alene stor nok til å kunne gi grunnlag for gruvedrift.

Det er sannsynlig, men ikke bevist ved boringer, at flere tyngdeanomalier i fjellområdet mellom Engebø og Naustdal representerer eklogittforekomster med mulighet for betydelige drivbare tilleggstonnasjer til Engebøfjellet. Spesielt lovende i denne sammenheng er Steinkrossen 4 km vest for Naustdal sentrum.

Gruvedrift på Engebøfjellet med tilhørende opprednings- og kaianlegg, er ikke eneste alternativ. Utredning av andre alternativer forutsetter imidlertid at en har god kunnskap om hva forekomster, som for eksempel Steinkrossen, inneholder av rutilmalm. En bør også vurdere om det er realistisk å tenke seg underjordsdrift i Steinkrossen med oppredningsanlegg og kai ved Førdefjorden 3 km unna, eller om en kan tenke seg en kombinasjon Engebøfjellet + Steinkrossen forbundet med ca. 10 km langt transportsystem i tunnel. Mulighetene kan være mange, men vil uansett kreve videreføring av geologiske undersøkelser inkl. boringer.

Videreføring av de geologiske undersøkelser er nødvendig for å oppnå en tilstrekkelig totaloversikt over rutil ressursgrunnlaget, slik at det kombinert med et ikke-geologiske grunnlagsmateriale (tekniske problemstillinger og areal- og miljøproblematikk), kan tas viktige beslutninger vedr. gruvedrift.

Det er rimelig god grunn til å anta at de samlede rutilressurser i form av påvist og sannsynlig malm på nordsiden av Førdefjorden er minst 600 millioner tonn eklogitt med 3-5 % rutil. Denne rutilmengden har en in situ verdi på godt over 100 MRD kr, hvorav omtrent 50 % er utvinnbar med dagens teknologi. Utvinningsgraden kan forbedres gjennom forskning (oppredningsforsøk/prosessteknologi). I tillegg kommer rutilressurser på sydsiden av Førdefjorden og syd for Dalsfjorden.

Som en videreføring av tidligere geologiske ressursundersøkelser foreslås i første omgang følgende i prioritert rekkefølge:

1. Detaljert overflateprøvetaking i tyngdeanomalioområdene mellom Engebø og Naustdal, samt rekognoserende kjerneboringer ved Steinkrossen. Målet er å bli i stand til å gi et vesentlig mer presist estimat over rutilressursene på nordsiden av Førdefjorden enn hva som foreligger i øyeblikket.

2. Detaljerte SEM-undersøkelser og kvantifisering av variasjoner i rutil kornstørrelse og andre mineralogiske egenskaper for Engebøfjellet og andre forekomster i den grad relevant prøvemateriale er tilgjengelig. Formålet er å estimere eventuelle kvalitetsvariasjoner i rutilkonsentrater som kan tenkes produsert ved eventuell drift, samt vurdere egnetheten for produksjon av granat som biprodukt.
3. Regionale tyngdemålinger i de vestlige deler av Dalsfjordområdet (Gjøllanger-Skifjord) for å bli bedre i stand til å vurdere rutilressurspotensialet i dette området.

10. Referanser

- Binns R.A. 1967: Barroisite-bearing eclogite from Nautsdal, Sogn og Fjordane, Norway. *J.Petrol.* 8, 349-379.
- CIMB World Markets 2000: Engebøfjellet Information Memorandum, 79 s.
- Cuthbert, S.J. 1985: Petrology and tectonic setting of relatively low temperature eclogites and related rocks in the Dalsfjord area, Sunnfjord, West Norway. Unpubl. PhD Thesis, Univ. Sheffield.
- Dalsegg, E., Elvebakk, H., Gellein, J. & Kihle, O. 1999: Gravity measurements in eclogite mapping, Naustdal, Sogn og Fjordane NGU rapport 99.124.
- Elvebakk, H., Gellein, J. & Furuhaug, L. 1999: Gravity measurements in eclogite mapping, Naustdal, Sogn og Fjordane. NGU rapport 99.046.
- Engvik, A. K. 2000: Fluid-induced metamorphism and its effect on structural and geodynamic evolution of collision zones. A study of high pressure rocks from the Dalsfjord area, Western Gneiss Region, Southwest Norway. Dr. grad, Universitetet i Oslo.
- Engvik, A.K., Austrheim, H. & Erambert, M. 2001: Interaction between fluid flow, fracturing and mineral growth during eclogitization, an example from the Sunnfjord area, Western Gneiss Region, Norway. *Lithos* 57, 111-141.
- Eskola, P. 1921: On the eclogites of Norway. *Skr. Norske Vidensk. Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl.I*, 8, 1-118
- Foslie, G. 1981: En anvendt mineralogisk undersøkelse av rutilførende eklogitt ved Fureviknipa ved Førde i Sunnfjord. Upubl. diplomoppgave, Norges Tekniske Høgskole.
- Gambogi, J. 2001: Titanium Statistics and Information. USGS Mineral Commodity Summaries, January 2001. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/>
- Korneliussen A., 1982: Rutil i eklogittiske bergarter i Sunnfjord. NGU-rapport 1717/5.
- Korneliussen, A. and Foslie, G. 1985: Rutile-bearing eclogites in the Sunnfjord region of Western Norway. *NGU Bull.* 402, 65-71.
- Korneliussen, A., 1978: Rutil i eklogitter, Sunnfjord. NGU-rapport 1717/1.
- Korneliussen, A., 1980: Jern- og titan-forekomster tilknyttet gabbroide, amfibolittiske og eklogittiske bergarter i Sunnfjord, Sogn og Fjordane. NGU-rapport 1717/3.
- Korneliussen, A., Braathen, A., Erambert, M., Lutro, O., Ragnhildstveit, J., 1998: The geology of the Engebøfjell eclogite deposit and its regional setting. NGU-rapport 98.081.
- Korneliussen, A., Dormann, P., Erambert, M., Furuhaug, L., Mathiesen, C.O., 1992: Rutil-forekomster tilknyttet eklogittbergarter på Vestlandet og metasomatisk omvandlede bergarter og metasedimenter i Bamble-Arendal-regionen. Rapport 92.234.
- Korneliussen, A., McEnroe, S. A., Nilsson, L.P., Schiellerup, H., Gautneb, H., Meyer, G.B. & Størseth, L.R. 2000a: An overview of titanium deposits in Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 436, 27-38.

- Korneliussen, A., McLimans, R., Braathen, A., Erambert, M., Lutro, O. & Ragnhildstveit, J. 2000b: Rutile in eclogites as a mineral resource in the Sunnfjord region, western Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 436, 39-47.
- Krogh, E.J. 1980: Geochemistry and petrology of glaucophane-bearing eclogites and associated rocks from Sunnfjord, western Norway. *Lithos* 13, 355-380.
- Krogh, E.J. 1982: Metamorphic evolution of Norwegian country-rock eclogites, as deduced from mineral inclusions and compositional zoning in garnets. *Lithos* 15, 305-321.
- Lutro, O. & Ragnhildstveit, J. 1996: Geological map of the Førdefjord area, bedrock map., scale 1:50,000. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Ragnhildstveit, J. & Nilsen, K. 1999: Geological map of the area south of Dalsfjord, bedrock map, scale 1:50,000. *Norges geologiske undersøkelse*.