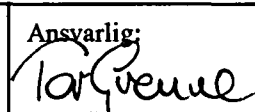


NGU rapport nr. 92.234

Rutilforekomster tilknyttet eklogitt-  
bergarter på Vestlandet og metasomatisk  
omvandlede bergarter og metasedimenter  
i Bamble-Arendal regionen

Rapport nr. 92.234		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
<b>Tittel:</b> Rutilforekomster tilknyttet eklogittbergarter på Vestlandet og metasomatisk omvandlede bergarter og metasedimenter i Bamble-Arendal-regionen.				
<b>Forfatter:</b> Korneliussen, A., Dormann, P., Erambert, M., Furuhaug, L. og Mathiesen, C.O.		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU		
<b>Fylke:</b> Sogn og Fjordane, Hordaland, Telemark og Aust-Agder		<b>Kommune:</b> Naustdal, Førde, Hyllestad, Meland, Bamble, Kragerø m.fl.		
<b>Kartbladnavn (M=1:250.000)</b> Florø, Bergen, Arendal		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1117.1 (Dale), 1217.4 (Bygstad) 1116.3 (Herdla) 1712.4 (Kragerø) m.fl.		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Husebø (2805-67253) Engebøfjellet (3105-68232) Ødegård (5320-65359)		<b>Sidetall: 43+45 (bilag) Pris: Kr. 192,-</b>  <b>Kartbilag:</b>		
<b>Feltarbeid utført:</b> 1989-91	<b>Rapportdato:</b> 10.5.92	<b>Prosjektnr.:</b> 67.1900.05	<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> <p>Rutilforekomster og rutilholdige bergarter opptrer i form av (1) rutilførende eklogittiske bergarter i gneisregionen på Vestlandet mellom Nordhordland og Nord-Møre og (2) proterozoiske metasedimenter og flere varianter av metasomatisk omvandlede basiske bergarter i Bamble-Arendal regionen.</p> <p>Særlig eklogitt-forekomstene kan være store (flere hundre millioner tonn), men er gjennomgående lavgehaltige (1-3 % rutil). Deler av store forekomster kan inneholde 3-4 % rutil. Småforekomster uten økonomisk interesse kan ha høyere gehalter. I Bamble-Arendal regionen er det kun en skapolittomvandlet metagabbro ved Ødegården i Bamble som er stor nok til å kunne ha økonomisk interesse, men gehalten er lav.</p> <p>Et komplekst sett av faktorer har avgjørende betydning for om en rutilforekomst kan tenkes å bli drivbar: forekomststørrelse, rutilgehalt, oppredningsegenskaper, rutilkonsentratets kornstørrelse og renhet m.h.p. en rekke elementer, grad av arealkonflikt og eventuelle biprodukter.</p> <p>Flere av de undersøkte forekomster kan ligge på grensen til å kunne utnyttes. Videre undersøkelse bør i første rekke fokuseres på å undersøke den/de forekomster som har slike mineralogiske egenskaper at det er mulig å lage et høyverdig rutilkonsentrat med rimelig god utvinning. Enkelte eklogittforekomster i Førdefjordområdet i Sogn og Fjordane og visse rutilførende metasedimenter i Bamble-regionen er i så henseende gunstigst.</p>				
Emneord: malmgeologi		omdannet bergart		
eklogitt		titan		
gabbro		rutil		

# *Rutilforekomster tilknyttet eklogittbergarter på Vestlandet og metasomatisk omvandlede bergarter og metasedimenter i Bamble-Arendal regionen.*

A.Korneliussen, M.Erambert, P.Dormann, L.Furuhaug og C.O.Mathiesen

## *INNHOLD (side):*

- 1 BAKGRUNN OG FORMÅL (4)
- 2 TITANRÅSTOFFER (4)
  - 2.1 Verdens ressurser av titanråstoffer (4)
  - 2.2 Norges titanindustri (6)
  - 2.3 Markedssituasjonen for titanråstoffer (7)
- 3 HOVEDTREKK VED DE NORSKE RUTILFOREKOMSTER (7)
  - 3.1 Geologi (7)
  - 3.2 Forekomststørrelser og gehalter (16)
  - 3.3 Mineralogi og mineralkjemi (16)
- 4 RUTILFOREKOMSTER OG RUTILFØRENDE BERGARTER (18)
  - 4.1 Vestlandet (18)
    - 4.1.1 Holsnøy og Radøy, Hordaland (20)
    - 4.1.2 Sunnfjord og Ytre Sogn (23)
    - 4.1.3 Nordfjord og Møre og Romsdal (29)
  - 4.2 Bamble-Arendal regionen (29)
    - 4.2.1 Metasomatisk omvandlede bergarter (31)
    - 4.2.2 Pegmatitter (31)
    - 4.2.3 Metasedimenter (32)
    - 4.2.4 Ødegården rutil-apatitt forekomst (32)
- 5 ANDRE MINERALPRODUKTER (35)
  - 5.1 Granat (35)
  - 5.2 Apatitt (36)
  - 5.3 Kyanitt (37)
  - 5.4 Glimmer (37)
  - 5.5 Cordieritt (37)
  - 5.6 Naturstein (38)
  - 5.7 Pukk (38)
  - 5.8 Forbygningstein (40)
- 6 PROSPEKTERINGSMETODER (40)
- 7 ANBEFALTE VIDERE UNDERSØKELSER (41)
- 8 KONKLUSJON (42)
- 9 LITTERATURREFERANSER (43)

## Bilag:

1. Analyser av eklogitter og assosierte mafiske bergarter fra Holsnøy og Radøy i Hordaland.
2. Analyser av eklogitter og assosierte mafiske bergarter fra Sunnfjord og Ytre Sogn.
3. Analyser av eklogitter fra Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal.
4. Test av pukkegenskaper for eklogitter.
5. Referanseliste for eklogittbergarter på Vestlandet og for Bamble-regionen.
6. Analyse av markedssituasjonen for rutil (engelsk tekst)

## 1 BAKGRUNN OG FORMÅL

Titanmineralene ilmenitt ( $\text{TiFeO}_3$ ) og rutil ( $\text{TiO}_2$ ) omsettes for henholdsvis 3 og 1.5 MRD kr. pr. år i verden. Ca. 95% av verdensproduksjonen av titan brukes som  $\text{TiO}_2$ -pigment i maling, plast og papir. Andre anvendelser av titan er bruk av titanmetall i fly, varmevekslere og avsaltingsanlegg for sjøvann viktigst. Rutil, som ideelt sett er rent  $\text{TiO}_2$ , har en verdi på 6-12 x ilmenitt avhengig av hvilke kvaliteter som sammenliknes. I  $\text{TiO}_2$ -ekvivalenter blir prisforskjellen 3-6 x.

Norge, ved ilmenittprodusenten Titania A/S, er et av verdens viktigste produsentland av titanmineraler med ca. 11% av verdensproduksjonen i  $\text{TiO}_2$ -ekvivalenter (1990). Titanias ressurser av ilmenitt er meget store og vil ved dagens produksjon rekke i minst 100 år. Imidlertid kan endringer som en idag ser tendenser til bl.a. når det gjelder miljøforhold vedr. Ti-prosessindustrien, føre til at andre Ti-råvarer, i første rekke rutil, blir mere ettertraktet. Flere av verdens største forbrukere av Ti-mineraler til  $\text{TiO}_2$ -pigment produksjon har da også vist en økende interesse for rutil. Norge er i denne sammenheng et land som i internasjonal sammenheng er relativt rikt på titan/rutil-ressurser og er ansett å ha et potensiale for drivbare rutilforekomster.

Rutil har tidligere vært gjenstand for gruvedrift i Kragerø-distriktet. Rutilforekomstene i denne delen av Norge har imidlertid vært ansett å være små og av liten økonomisk interesse, og det er heller ikke foretatt noen vesentlig leting etter nye forekomster i denne regionen.

På 1970-tallet oppsto interesse for rutilforekomster tilknyttet eklogittbergarter på Vestlandet. Denne forekomsttypen danner ofte store forekomster på flere 100 mill. tonn. Ulempen er at gehaltene gjennomgående er lave (under 3% rutil) og mange av forekomstene er problematiske fra et oppredningssynspunkt. Flere selskaper i tillegg til NGU foretok orienterende undersøkelser av rutilførende eklogitter i perioden 1978-81 i Sunnfjord i Sogn og Fjordane. Det ble i denne perioden påvist forekomster som lokalt kunne være rutilrike (ca. 5% rutil), men som over større volum neppe overstiger 3% rutil.

Norsk Hydro foretok i 1984-85 en ny vurdering av situasjonen; bl.a. utførte prof. K.Sandvik (NTH) oppredningsforsøk på eklogitt fra Fureviknipa-forekomsten i Sunnfjord. Denne undersøkelsen konkluderte med at en trenger 10-20 mill. tonn med 5% rutil for å kunne nedskrive investeringene i et nytt anlegg; dernest kunne en drive økonomisk på 2.5-3% rutil og med apatitt som biprodukt.

I 1988 innledet NGU på nytt en serie undersøkelser av rutilførende eklogitter på Vestlandet, først med undersøkelser av rutilførende eklogitter i Gulen i Sogn og Fjordane (Korneliussen 1989), og i 1989-90 av en nyoppdaget provins med rutilførende eklogitter på Holsnøy i Hordaland (Korneliussen m.fl. 1990, 1991).

I 1990 ble det utført ny prøvetaking av de tidligere undersøkte rutilforekomstene Fureviknipa og Engebøfjellet i Sunnfjord (Korneliussen og Furuhaug 1991).

Formålet med denne rapporten er (1) å oppsummere hovedtrekkene av det som er kjent om rutilforekomster i Norge, (2) gi en rimelig bra vurdering av mulighetene for drivbare forekomster samt (3) skissere hvordan en eventuelt bør legge opp undersøkelsene for å påvise drivbare rutilforekomster.

## 2 TITANRÅSTOFFER

### 2.1 Verdens ressurser av titanråstoffer

Titan er et av de vanligste elementer i jordskorpa (0.86% Ti, Turekian 1977) og inngår i en rekke mineraler hvorav oksydmineralene ilmenitt ( $\text{TiFeO}_3$ ), rutil ( $\text{TiO}_2$ ) og anatas ( $\text{TiO}_2$ ; kun forsøksdrift) har økonomisk betydning idag. Som det framgår av Tabell 1 er Australia, Canada,

Syd-Afrika, Norge og USA de viktigste produsentland av titanmineraler i  $\text{TiO}_2$ -ekvivalenter med henholdsvis 27, 19, 15, 12 og 8% av verdensproduksjonen i 1987. Verdens reserver av titanmineraler er meget store. Visse kvaliteter av rutil, hovedsakelig bestemt ved stor kornstørrelse, lavt CaO-innhold og lavt innhold av radioaktive elementer, vil få øket betydning i framtiden. Dette kan gjøre enkelte veletablerte ressurser vanskelig eller ikke utnyttbare i framtiden, mens nye forekomster får øket aktualitet. Den situasjonen som presenteres i Tabell 1 om ressurser og reserver er i så henseende meget ufullstendig; det skilles ikke mellom rutil- og ilmenitt-ressurser og gir ingen opplysninger om kvaliteter.

Tabell 1: Verdens produksjon (1987), reserver og identifiserte ressurser av titanmineraler i 1000 t.  $\text{TiO}_2$ -innhold (etter Force 1991).

Land	Produksjon (1987)	Reserver	Identifiserte ressurser
Australia	1250	27.000	131.000
Brazil	30	54.200	150.000
Canada	890	24.000	81.000
China	80	28.500	38.000
Finland	—	1.400	4.000
India	100	32.700	79.000
Italia	—	?	9.000
Malaysia	240	?	?
Mexico	—	—	3.000
Mozambik	—	—	2.000
New Zealand	—	—	47.000
Norge	550	29.000	89.000
Sierra Leone	110	1.800	2.000
Syd-Afrika	680	37.700	58.000
Sri Lanka	80	4.300	5.000
USA	360	10.600	103.000
Sovjetunionen	210	8.000	16.000
Totalt	4.580	259.200	817.000

De viktigste forekomsttyper av titanmineraler er umetamorf sedimentære strandsand- og fluviale forekomster. Den andre viktige forekomsttypen er magmatiske ilmenittforekomster, hvorav Tellnes i Norge (A/S Titania) og Allard Lake i Canada (Quebec Iron & Titanium (QIT)) har økonomisk betydning idag. Titania produserer et ilmenittkonsentrat som benyttes direkte i sulfatprosess  $\text{TiO}_2$ -framstilling og til framstilling av et 75%  $\text{TiO}_2$  slagg (Tinfos Titanium and Iron, Tyssedal) slagg (se kap.2.2), mens QIT smelter sitt lavgehaltige (ca. 35%  $\text{TiO}_2$ ) ilmenittkonsentrat til et titanslagg som, i likhet med Tinfos-slagget, går til sulfatprosess  $\text{TiO}_2$ -framstilling.

Titania og QIT er de eneste produsenter av titanmineraler i verden som driver på forekomster i fast fjell. Mange sandforekomster drives på 4-6% ilmenitt med rutil, monasitt ( $\text{CaPO}_4$ ) og zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) som biprodukter i varierende grad, mens andre drives på under 1% rutil med ilmenitt, monazitt og/eller zirkon som biprodukter. Flere av dagens produsenter av titanmineraler fra sandforekomster vil neppe kunne drive lønnsomt uten bidraget fra biproduktmineralene. For produsenter av titanmineraler fra fast fjell, d.v.s. Titania og QIT, har biprodukter liten betydning; for Titania spiller en liten produksjon av magnetitt og Ni- og Cu-sulfider en viss rolle, mens QIT-gruvedriften visnok ikke har biprodukter.

Forekomster av mulig stor betydning i framtiden er i første rekke anatas i dypforvitrede Ti-rike pyroksenitter assosiert med karbonatittbergarter (Brasil) og rutil i eklogittbergarter (Italia, Norge, Russland og China). Ved Tapira (Brasil) er det visnok i dag forsøksdrift på anatas. Et problem er imidlertid at anatas er intimt sammenvokset med titanitt ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) samt inneholder inneslutninger av radioaktive mineraler. I praksis er det store problemer med å produsere et ikke-

radioaktivt anataskonsentrat med såpass lavt CaO-innhold at det kan benyttes i kloridprosess  $TiO_2$ -framstilling (kap 2.2).

Av rutilforekomster assosiert med eklogittbergarter er i første rekke én forekomst, Pianpaludo i Italia, godt kjent. Den er meget stor (> 400 mill. t.) og har ca 5-6% rutil. Et stort problem for Pianpaludo er at titanitt er sammenvokset med rutil slik at rutilkonsentratet får et for høyt CaO-innhold til å kunne benyttes i kloridprosess  $TiO_2$ -framstilling, og den er ikke satt i drift.

Tabell 2: Forekomsttyper av titanmineraler (etter Force 1991 med mindre forandringer).

Klasse	Type*	Typiske mineraler	Eksempler på forekomster
Eruptiv	Magmatisk ilmenitt <sup>a</sup>	Ilmenitt	Tellnes (Norge)
	Anortositt-margin <sup>c</sup>	Rutil, ilm.	Roseland (USA)
	Albititt <sup>c</sup>	Rutil	Lindvikkollen (Norge)
	Alkalisk <sup>c</sup>	Perovsk. m.m.	Magnet Cove (USA)
Hydrotermal	Porfyr Cu-forek. <sup>c</sup>	Rutil	Bingham (USA)
Sedimentær	Fluvial <sup>a</sup>	Ilm., rutil	Ghangbama (Sierra Leone)
	Glasiolakustrin <sup>c</sup>	Ilmenitt	Port leyden (USA)
	Strandsand <sup>a</sup>	Ilm., rutil	Strandbroke (Australia)
Forvitret	Alkaliske vertsberg. <sup>b</sup>	Anatas	Tapira (Brasil)
	Mafiske vertsbergarter <sup>c</sup>	Ilmenitt	Roseland (USA)
	Sandforekomster <sup>a</sup>	Leukoksen	Trail Ridge (USA)
Metamorf	Eklogitt <sup>b</sup>	Rutil	Pianpaludo (Italia)
	Aluminosilikat <sup>c</sup>	Rutil	Evergreen (USA)
	Ultramafisk kontakt <sup>c</sup>	Rutil	Dinning (USA)

\*: Forekomsttyper klassifisert etter økonomisk betydning.

(a) Av stor økonomisk betydning i dag, (b) av mulig økonomisk betydning i nær framtid og (c) av liten/moderat mulighet til å få økonomisk betydning.

## 2.2 Norges titanindustri

Norge har én produsent av titanmineraler (Titania A/S), én produsent av titanslagg (Tinfos Titan & Iron K/S) og én produsent av  $TiO_2$ -pigment (Kronos Titan A/S). Samlet omsetning i 1990 for disse bedriftene er ca 1 MRD kr. Titania A/S, som er en av verdens største produsenter av titanmineraler, produserte i 1990 i overkant av 800.000 tonn ilmenitkonsentrat (44.5 %  $TiO_2$ ) fra Tellnes forekomsten. Dette utgjør i  $TiO_2$ -ekvivalenter ca 11 % av verdens samlede produksjon av titanmineraler. Ca. 1/5-del av denne ilmenitten ble i 1990 videreforedlet til  $TiO_2$ -pigment ved Kronos Titan i Fredrikstad. Ca. 1/4-del ble levert til Tinfos Titan & Iron i Tyssedal hvor det via en smelteprosess ble produsert er høyverdig jernprodukt og titanslagg (TTI-slagg; 75%  $TiO_2$ ). Det øvrige av Titanias ilmenitt-produksjon eksporteres. Norge er således både en råvareprodusent av ilmenitt og driver videreforedling til  $TiO_2$ -pigment.

Både Titania og Tinfos er avhengige av å levere sine produkter, henholdsvis ilmenitt og titanslagg, til sulfatprosess-*framstilling*\* av  $TiO_2$ -pigment. Et mulig framtidig problem for disse bedrifter er en dreining i verden mot øket bruk av kloridprosessering på bekostning av sulfatprosessering av titanråstoffer. Dette kan føre til at Titania og Tinfos får problemer med å få solgt sine produkter i framtiden.

\* To prosesser benyttes for produksjon av  $TiO_2$ -pigment: Sulfatprosessen benytter ilmenitt og Ti-slagg mens kloridprosessen hovedsakelig benytter rutil, syntetisk rutil, klorerbart Ti-slagg og "Ti-anrikt ilmenitt" som råvare.

## 2.3 Markedssituasjonen for titanråstoffer

Rutil brukes hovedsakelig som råvare til produksjon av hvitt pigment ( $\text{TiO}_2$ ) for bruk i papir, maling og plast, titanmetall og i sveiseelektroder. Pigmentindustrien benytter ca 60% av den rutil som produseres mens titanmetall- og sveiseelektrodeindustrien hver benytter ca 20%. Når det gjelder pigment-industrien kan rutil kun benyttes av pigmentfabrikanter som benytter klorid-prosess teknologi. Det framtidige behovet for rutil vil derfor ikke bare avhenge av etterspørselen etter  $\text{TiO}_2$ -pigment men også av installert produksjonskapasitet til klorid-prosess fabrikkene. Rutil konkurrerer i så henseende med syntetisk rutil og klorerbart Ti-slagg.

Tabell 7 i Bilag 6 indikerer at det vil bli mangel på rutil i framtiden. Allerede i 1994 vil etterspørselen trolig bli 60.000 tonn større enn produksjonskapasiteten og i år 2000 i størrelsesorden 150.000 tonn. Med mindre tilgangen på rutil bedres vesentlig må  $\text{TiO}_2$ -pigment produsentene i større grad gå over til å benytte syntetisk rutil og klorerbare Ti-slagg. Dette blir mere inngående diskutert i Bilag 6.

Tinfos Titan & Iron i Tyssedal, Quebec Iron and Titan (QIT) i Canada og Richard Bay i Sør-Afrika (eid av QIT) er de eneste produsenter av Ti-slagg i verden. Mens Tinfos og QIT benytter ilmenitt fra forekomster i fast fjell som råvare er Richard Bays's Ti-slagg produksjon basert på ilmenitt fra sandforekomster. Kun Richard Bay slagget er klorerbart, d.v.s. at det tilfredstiller kloridprosess-fabrikkenes krav til lavt MgO-innhold m.m.

Av avgjørende betydning for den økonomiske vurdering av titanforekomster er kornstørrelsen og den kjemiske renhet av de mineralkonsentrater som kan produseres. De forskjellige  $\text{TiO}_2$ -produsenters detaljerte krav til råmaterialet er ikke tilgjengelig informasjon. Visse generelle kriterier er imidlertid vel kjent. For sulfatprosess-anlegg bør ikke MgO-innholdet i ilmenitt evt. Ti-slagg overstige 4-5%. Det stilles også krav til lavt innholdet av diverse sporelementer, hvorav krom visnok er viktigst. For kloridprosess-anlegg som kan benytte både rutil, klorerbart Ti-slagg og Ti-anrikt, omvandlet ilmenitt som råvare, bør  $\text{TiO}_2$ -innholdet være minst 70%, MgO- og CaO-innholdet bør ikke overstige henholdsvis 1.5 og 0.2%, og kornstørrelsen bør være over 0.1mm.

## 3 HOVEDTREKK VED DE NORSKE RUTILFOREKOMSTER

### 3.1 Geologi

To provinser med rutilforekomster er kjent i Norge: (1) Rutil i eklogittiske bergarter på Vestlandet og (2) Bamble-Arendal regionen hvor det forekommer en rekke forskjellige forekomsttyper: rutil i metasomatisk omvandlede basiske bergarter (hovedsakelig albititter og skapolittbergarter), i gangbergarter (pegmatitter og Ti-rike basiske ganger) og i prekambriske metasedimenter (cordieritt-gneiser).

En vurdering av hvorvidt rutilforekomster er drivbare kan ikke gjøres ut fra ren geologisk informasjon. For å kunne gjøre en god vurdering trengs inngående kjennskap til mulige arealkonflikter, oppredningsegenskaper og kvalitetene på de rutilkonsentrater som kan tenkes produsert. En komplisert eller lite effektiv oppredningsprosess kan lett stoppe den videre forekomstutviklingen. Det samme kan miljøinteresser.

$\text{TiO}_2$ -industrien er selv best kompetent til å evaluere rutilforekomster fordi den har informasjon om kvalitetskriterier og relaterte priser som offentligheten ikke har adgang til. Det er imidlertid ut fra den informasjon som er tilgjengelig, fullt mulig å gi en grov vurdering av de økonomiske muligheter og antyde hvilke forekomsttyper, områder og enkeltforekomster som er lovende og bør undersøkes videre.

I forhold til rutil i Bamble-Arendal regionen er rutil-provinsen på Vestlandet mere oversiktlig og enklere å vurdere ut fra et økonomisk/geologisk synspunkt. Årsaken er at rutilmineraliseringene på Vestlandet er knyttet til en distinkt bergartstype, eklogitt, mens rutil i Bamble-Arendal regionen forekommer anrikt i en rekke bergartstyper.

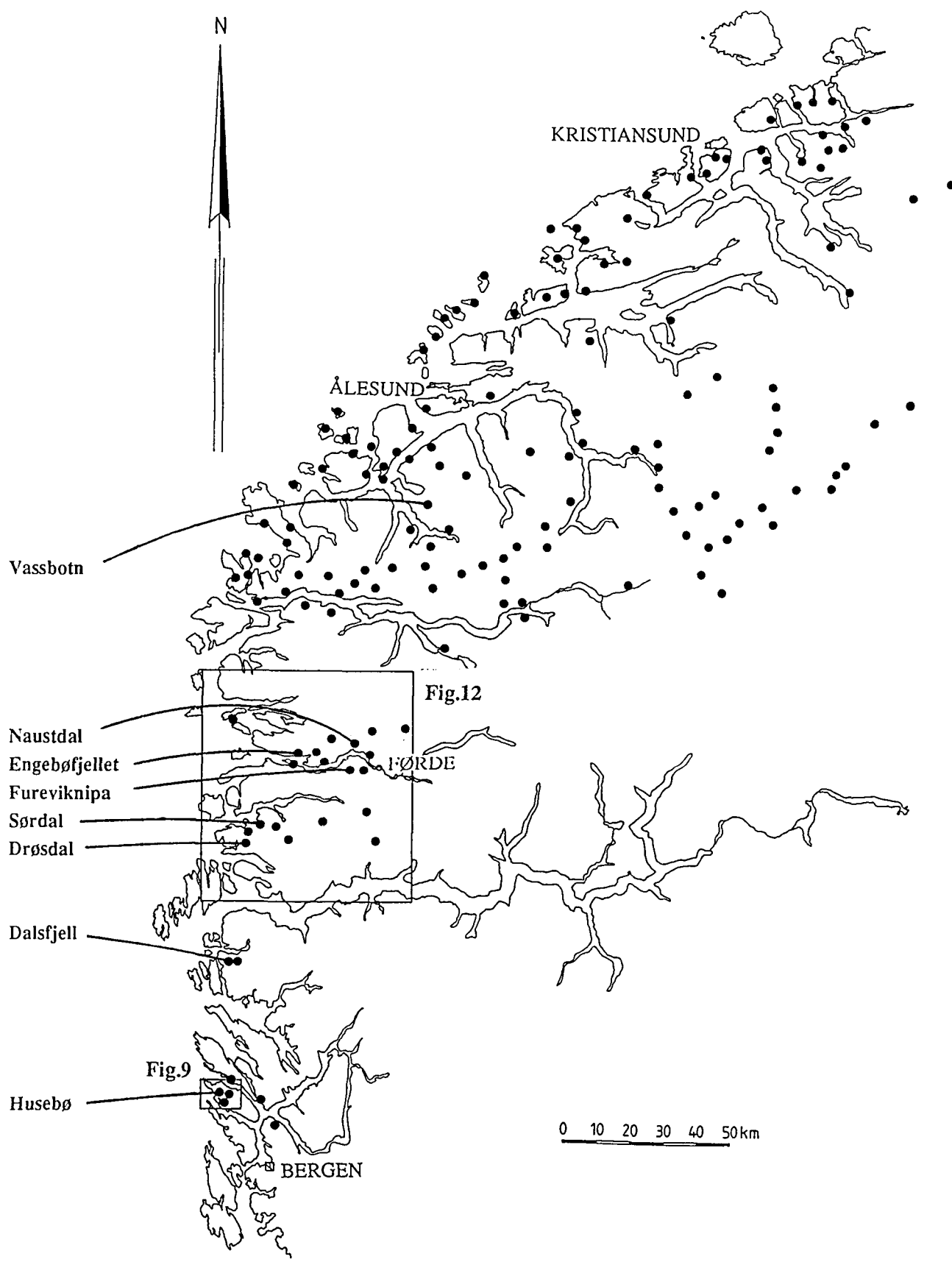


Fig.1: Opptreden av eklogittbergarter og rutilforekomster på Vestlandet. Kartet er for en stor del basert på Griffin og Mørk (1981) og Erambert (1991)



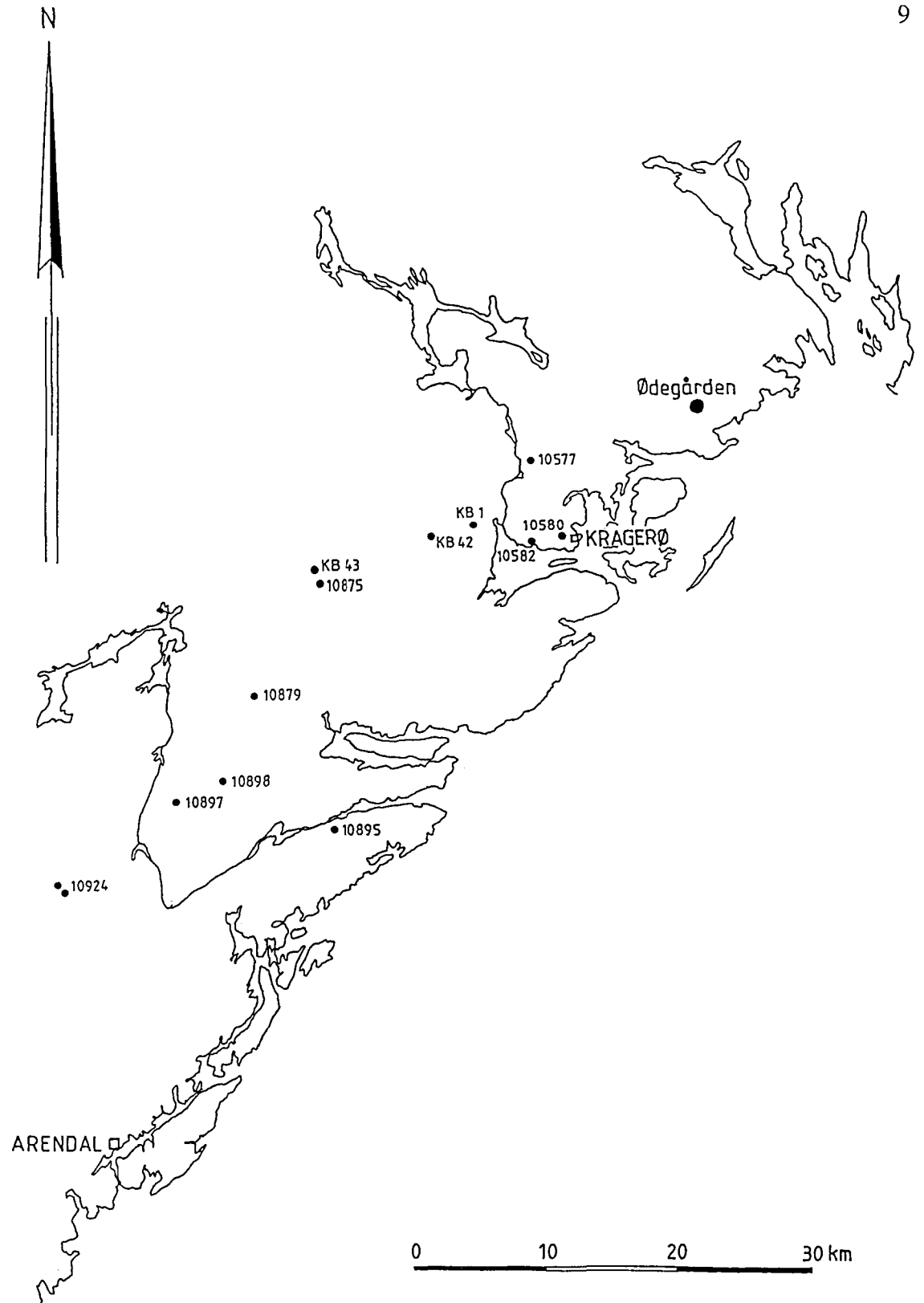


Fig.2: Rutilforekomster og lokaliteter med rutilførende bergarter i Bamble-Arendal regionen. 10xxx: Referansenr. i NGU's database for malmforekomster. Forekomster merket med KB+nr (feltnr.) er ikke tidligere registrert. Se forøvrig Tabell 6.

Tabell 3: Gjennomsnittsanalyser m.m. for endel undersøkte rutilforekomster.  
Gehaltene er i vekt%.

Fore- komst	Husebø	Fure- vknipa	Engebø- fjellet	Drøs- dal	Vass- botn	Øde- gård <sup>μ</sup>	Lindvik- kollen
Område	Holsnøy	Sunnfj.	Sunnfj.	Y.Sogn	Volda	Bamble	Kragerø
Bergart	ekl	ekl	ekl	ekl	ekl	skap	alb
SiO <sub>2</sub> *	48.64	42.18	47.64	47.95	40.22	48.21	64.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	13.24	11.08	11.59	12.58	11.66	14.50	19.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	14.31	19.95	12.71	9.70	18.43	7.41	.47
TiO <sub>2</sub> *	3.62	3.31	1.79	.68	2.31	2.69	2.90
MgO*	4.62	4.64	5.48	7.24	5.92	5.47	.33
CaO*	7.05	9.39	8.29	9.25	9.18	8.81	1.19
Na <sub>2</sub> O*	3.67	2.66	2.35	2.34	1.14	5.93	9.42
K <sub>2</sub> O*	1.84	.18	.51	.51	.45	.65	1.59
MnO*	.14	.28	.16	.14	.19	.06	.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	.07	1.45	.18	.09	.08	.64	.16
Cl*	-	-	-	-	-	1.70	-
TiO <sub>2</sub> <sup>#</sup>	1.49	1.21	.09	.09	.73	1.23	.14
Rutil-I <sup>1</sup>	2.13	2.10	1.70	.59	1.58	1.46	2.76
Rutil-II <sup>2</sup>	3.2	2.9	3.5	3.0	1.6	2.0	-
R-andel <sup>3</sup>	59	63	95	86	68	55	96
Ant.anal.	263	66	51	68	5	59	5
Prøvetype <sup>4</sup>	bk	bk	bk	bk	kn	bk	kn
Kommune	Meland	Førde	Naustdal	Hyllestad	Volda	Bamble	Kragerø
Kartbl.	1116.3	1217.4	1117.1	1117.1	1119.2	1712.4	1712.4
UTM-X	2805	3272	3105	2950	3519	5320	5214
UTM-Y	67253	68188	68232	67970	69922	65359	65254

\* : XRF-analyse

# : ICP-analyse (HCl-løst TiO<sub>2</sub>)

μ : Analyseverdiene for Ødegården er gjennomsnitt av både helt og delvis skapolittisert basisk bergart, d.v.s. av "malm" og "sideberg"

1 : Gjennomsnittsverdi for alle prøvene fra forekomsten

2 : Gjennomsnittsverdi for en rutilanrikt del av forekomsten med sannsynlig forekomststørrelse på > 1 mill. tonn.

3 : Gjennomsnittlig rutilandel (%) av det totale TiO<sub>2</sub>-innholdet i bergarten

4 : Bk - borkaksprøver, Kn - knakkprøver

Borkaks- og knakkprøve-analysene er utført på henholdsvis pressede og smeltede prøver.

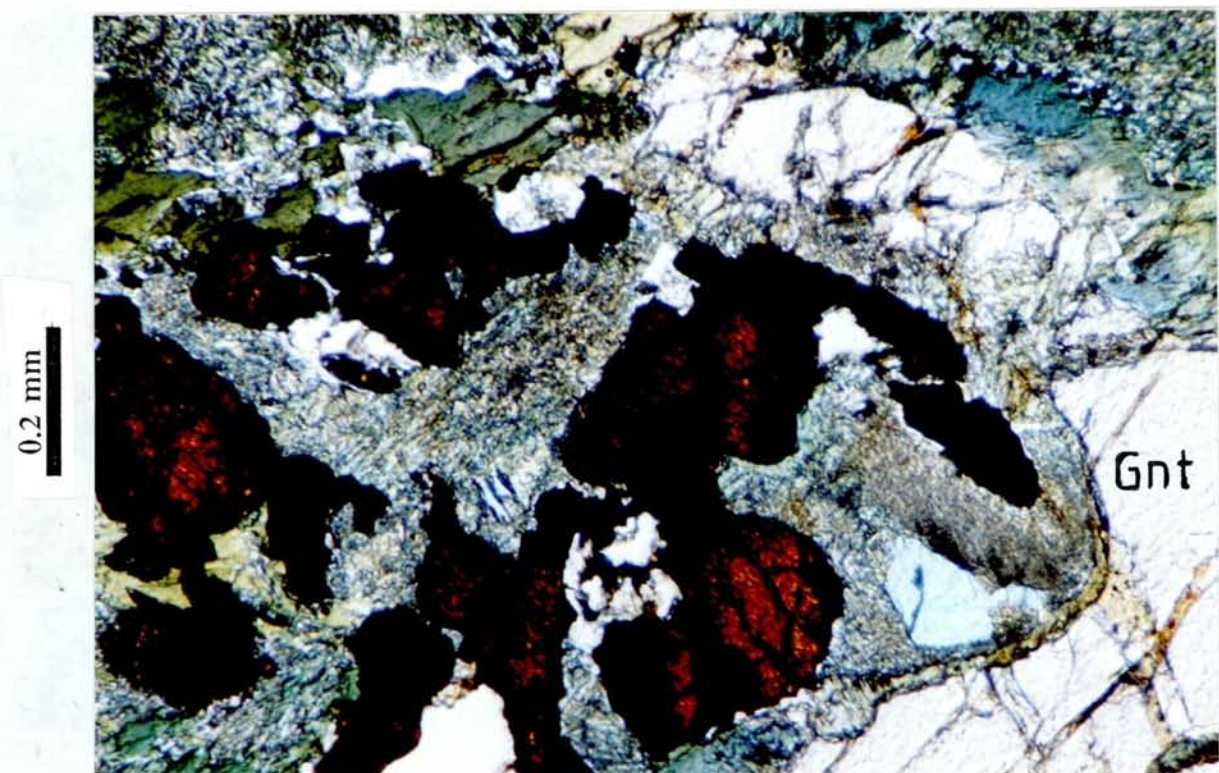
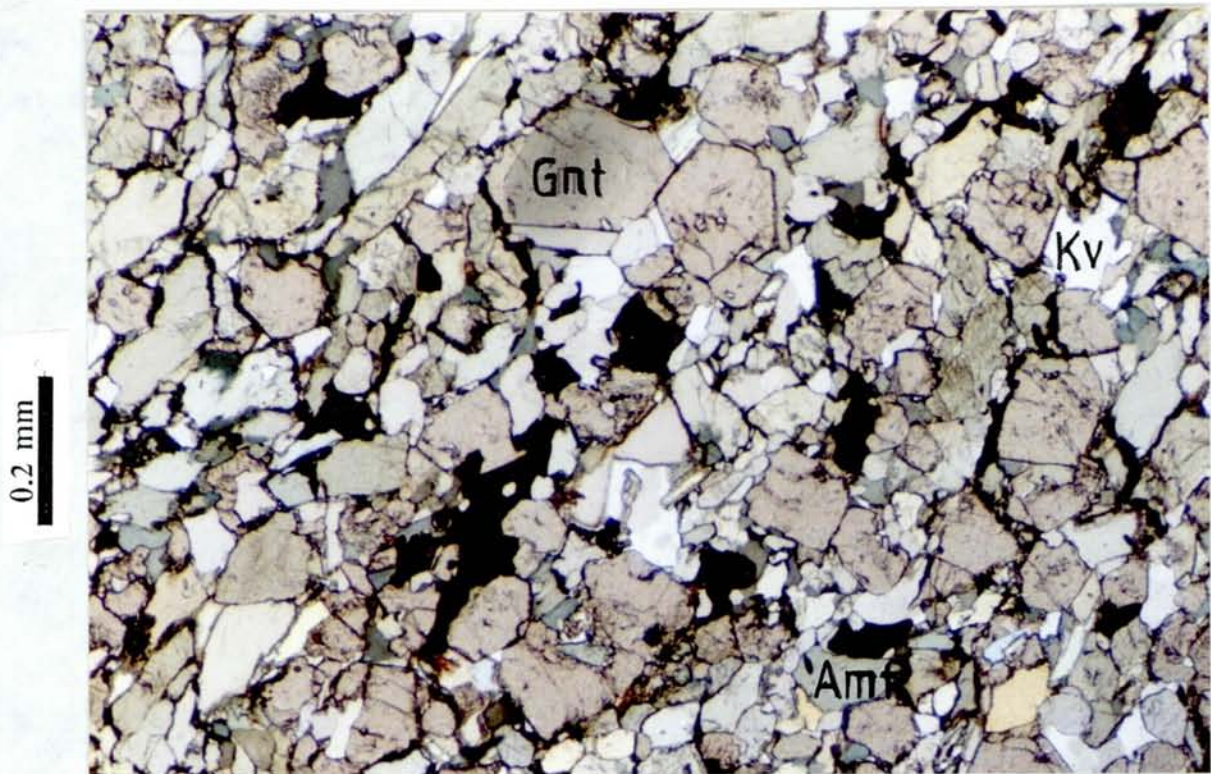
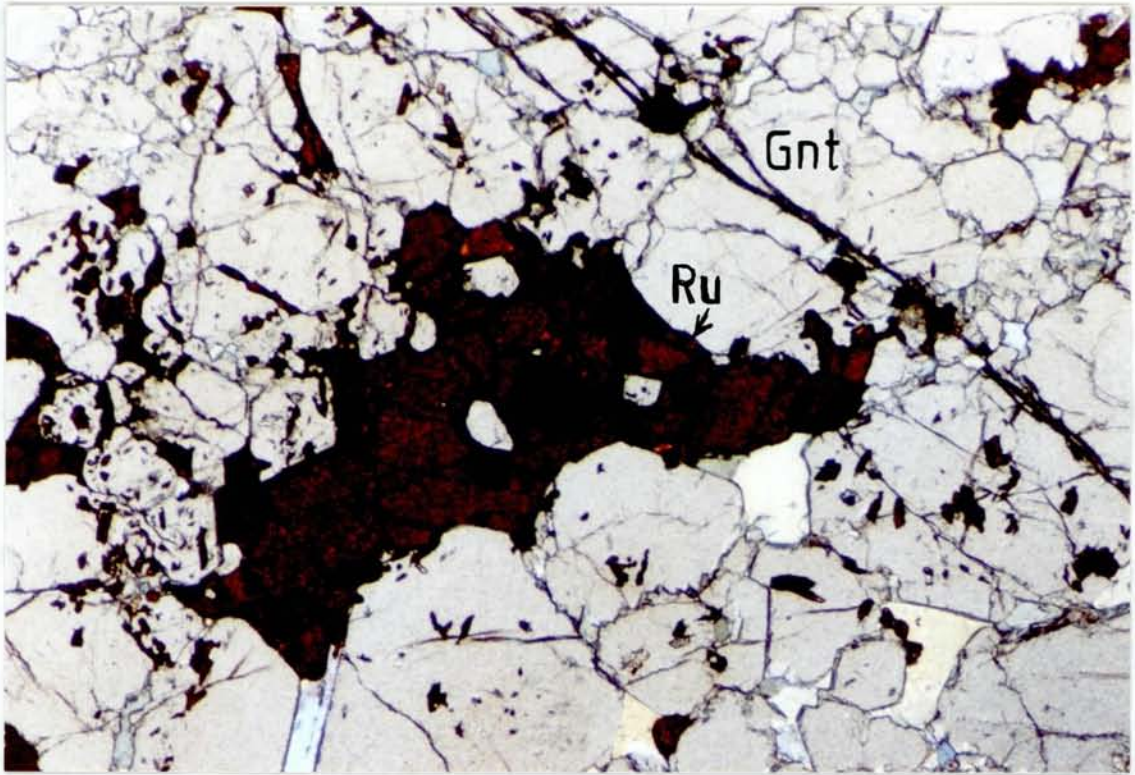


Fig.3: Rutil i Engerbøfjellet eklogittforekomst ved Førdefjorden (pr.V51.91; øverste bilde) og fra Husebø eklogittforekomst på Holsnøy (pr. P5.89; nederste bilde). Ilmenitt sammenvokset med rutil fra Husebø framstår som sorte partier i forhold til rutil som er rødbrunlig (nederste bilde). Rutilet fra Engerbøfjellet framstår som sort på bildet. Ru: rutil, Gnt: granat.

0.2 mm



0.2 mm

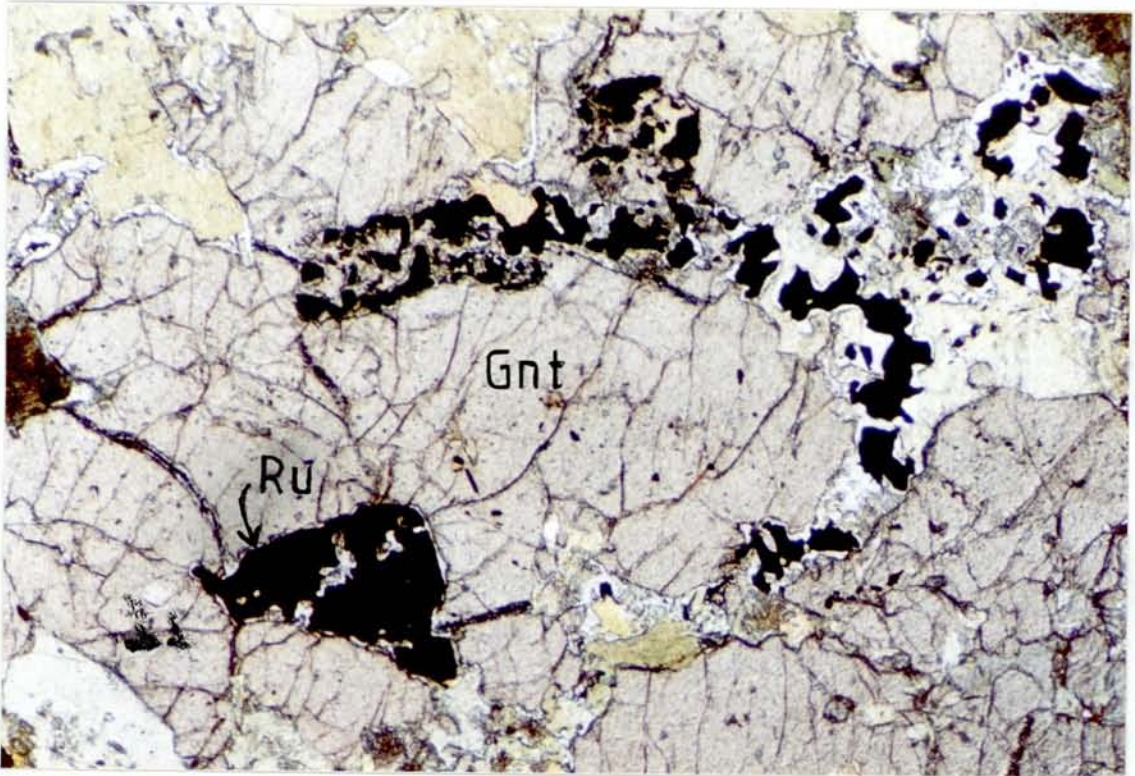


Fig.4: Rutil i eklogitt fra to meget granatrike eklogitter fra henholdsvis Sørdal ved Dalsfjorden i Sogn og Fjordane (øverste bilde) og Vassbotn ved Volda (nederste bilde). Ru: rutil, Gnt: granat, Amf: amfibol.

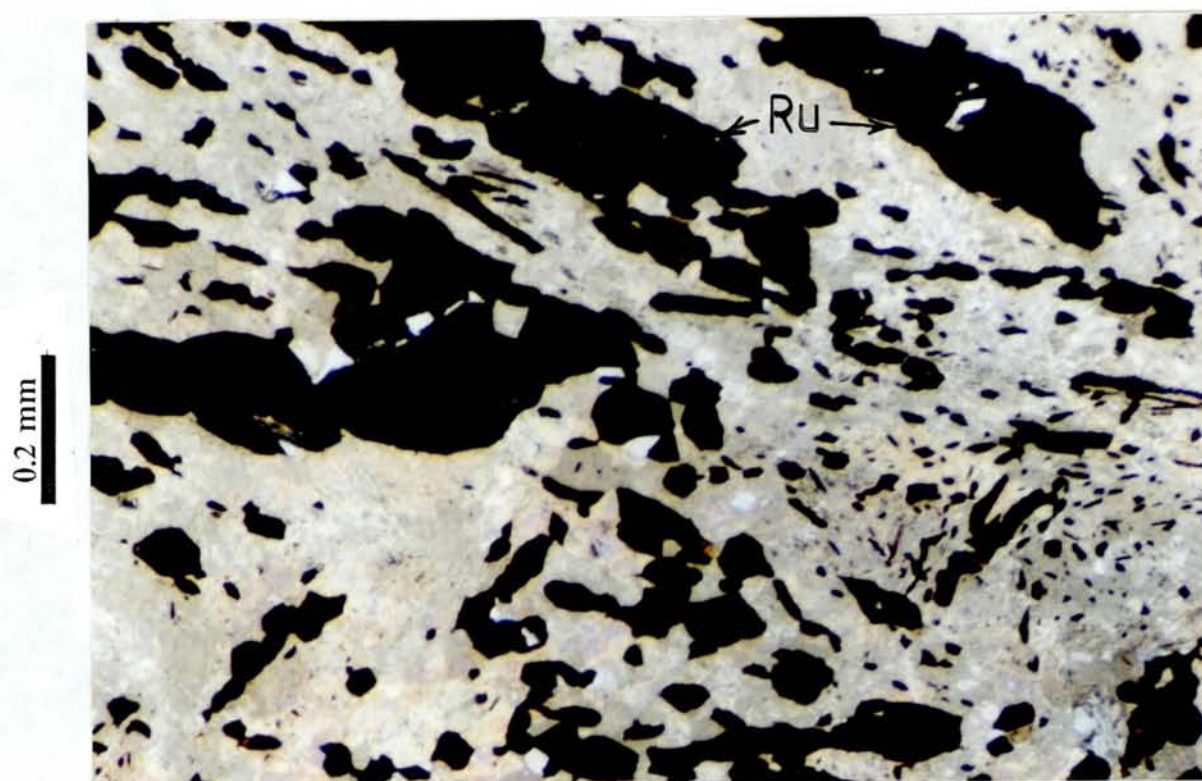
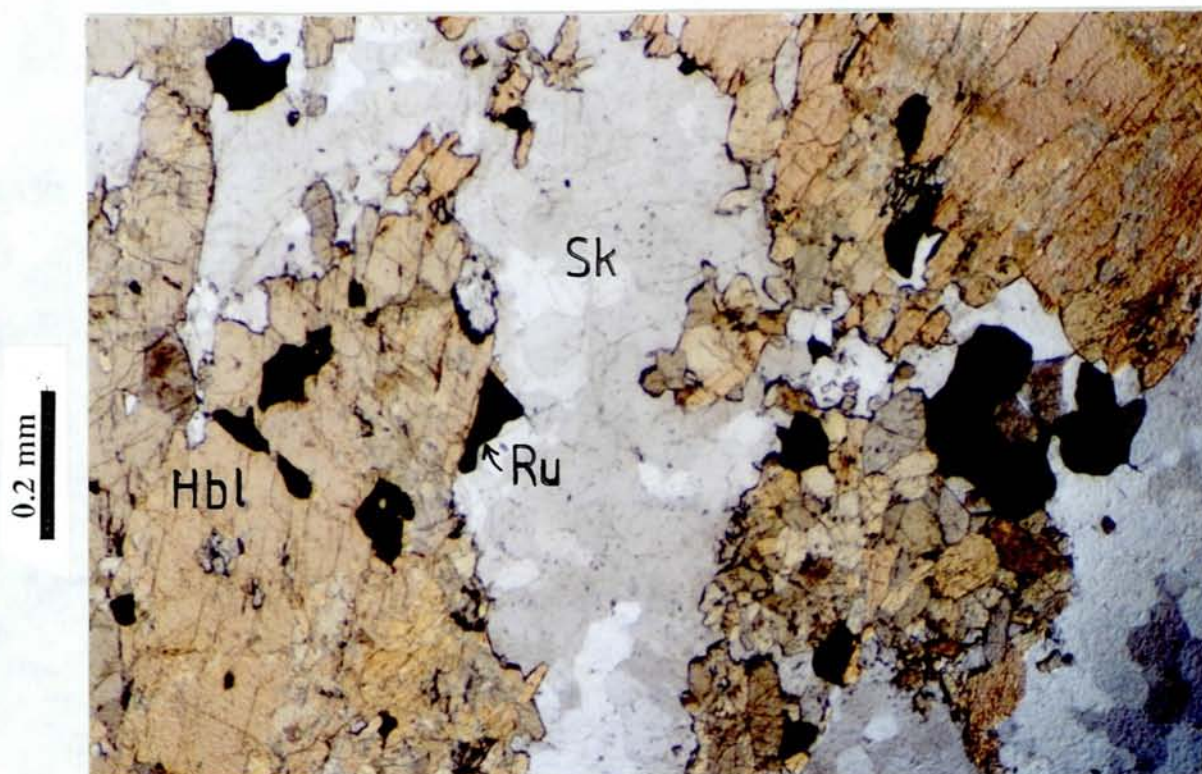


Fig.5: Rutil fra Ødegården rutil-apatitt forekomst i Bamble. Det øverste bildet er representativt for ødegårditt-bergarten (pr. Ø61a.89) hvor rutil opptrer disseminert sammenvokset med en jernfattig hornblende med mellomliggende partier med skapolitt. Det nederste bildet er fra en ekstremt rutilrik flogopitt-apatittprøve (Pr. KB12h.91). Prøven, som er en ca. 2 dm<sup>3</sup> stor løsblokk fra den nordvestligste av gruvetippene ved Ødegården, inneholder ca. 30% rutil. Den er på ingen måte representativ for bergartstypen, men viser at titan har vært mobilt i det malmdannende hydrotermalsystemet og har latt seg oppkonsentrert til en ekstremt rutilrik mineralisering. Ru: rutil, Sk: skapolitt, Hbl: hornblende.

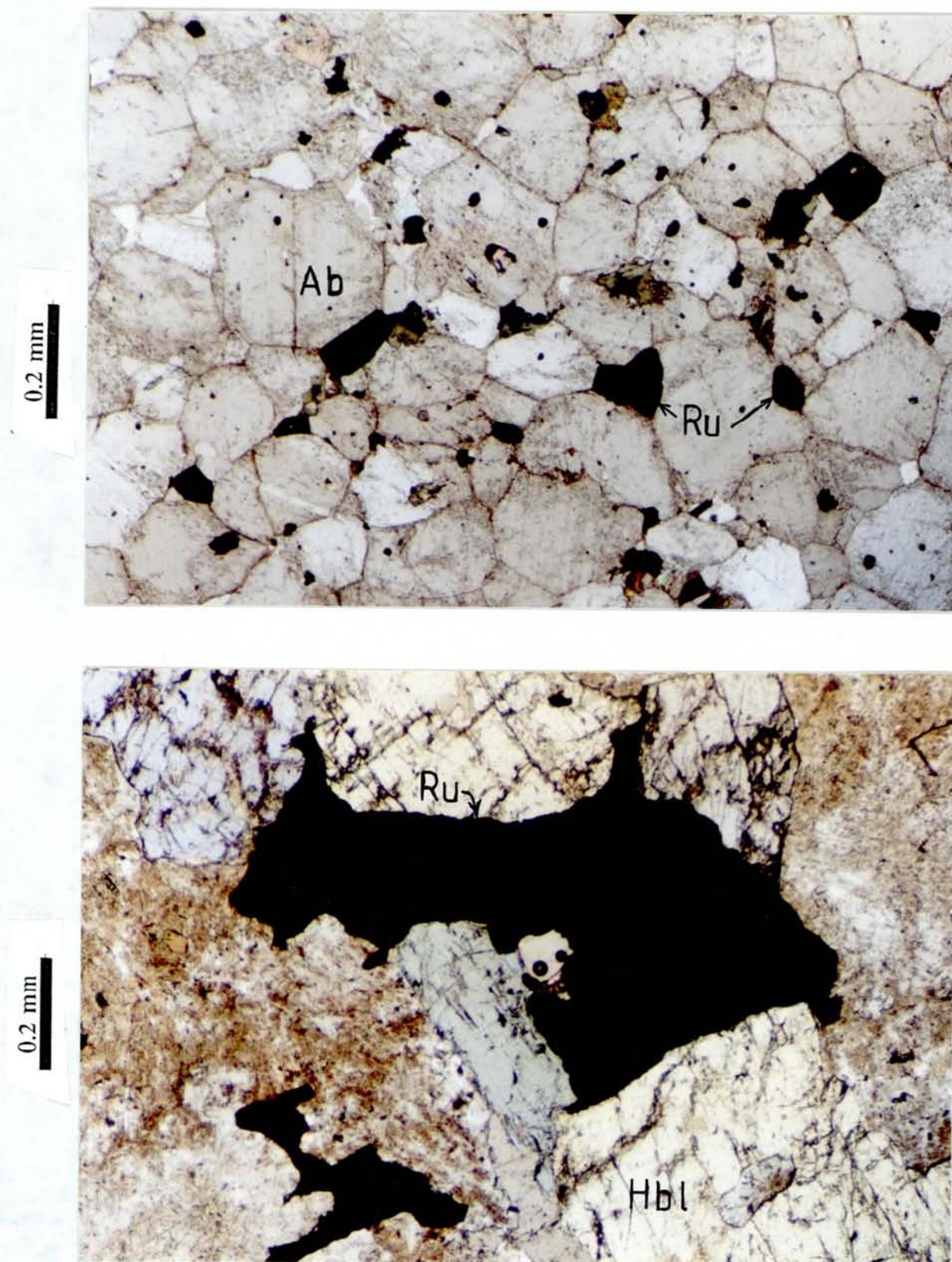


Fig.6: Rutilførende albititt fra henholdsvis Løfthaug ved Kragerø (Pr. KB1.91) øverste bilde) og fra en metasomatisk omvandlet amfibolitt ved Fone i Gjerstad (pr. KB5b.91; nederste bilde). Ru: rutil, Alb: albitt, Hbl: hornblende.

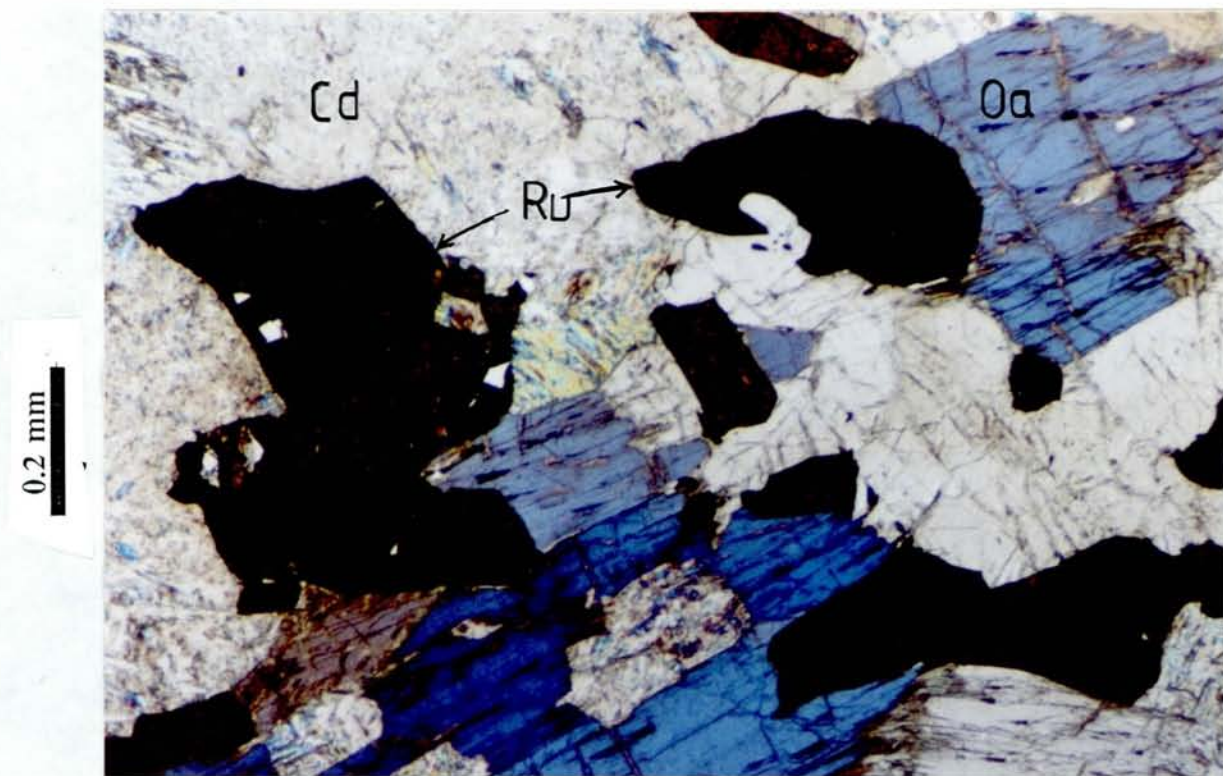
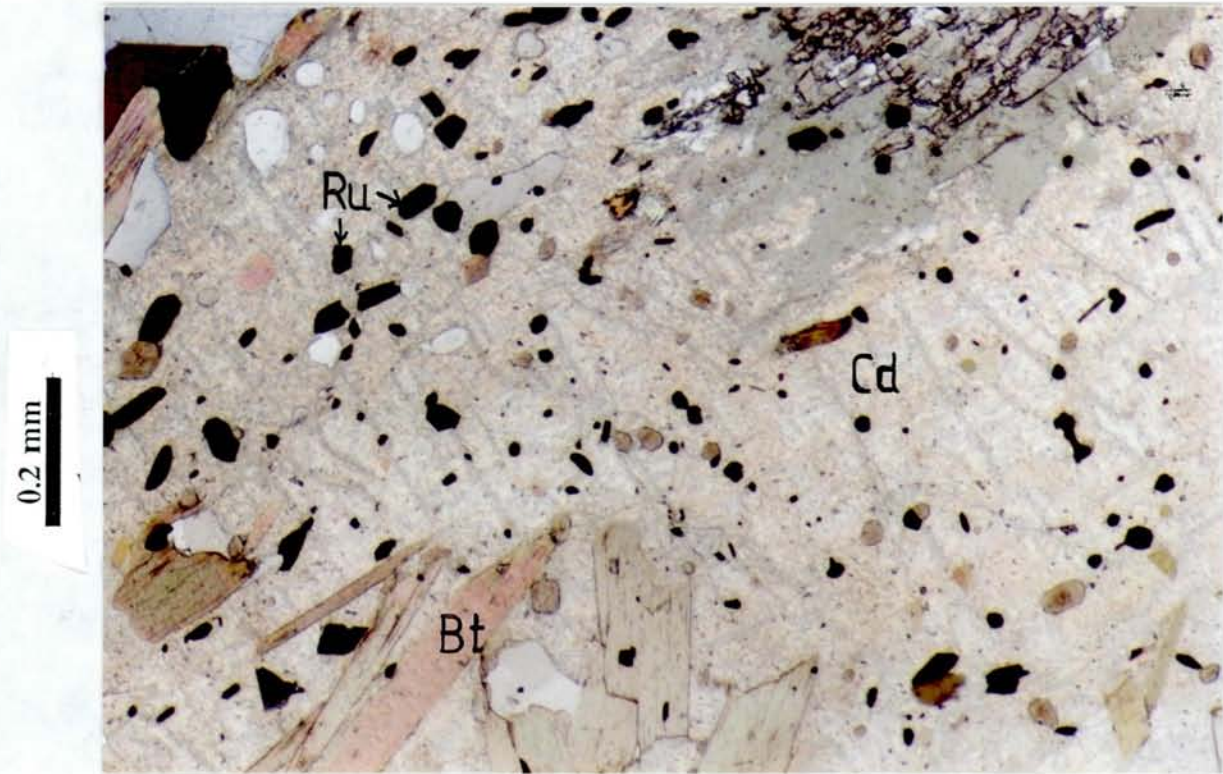


Fig.7: Rutil i en cordieritt-flogopitt bergart (metasediment) like syd for Ødegården rutil-apatitt forekomst (pr. KB37a.91; øverste bilde) og i en cordieritt-flogopitt-ortopyroksen bergart ved Gjerstadvatnet (pr. KB43a.91; nederste bilde)

### 3.2 Forekomststørrelser og gehalter

Rutilforekomstene på Vestlandet (eklogitter) kan være store (flere 10-talls millioner tonn), men er gjennomgående lavgehaltige (<3% rutil) selv om rikere partier forekommer. Med store forekomster menes forekomster med utgående på minst 100.000 m<sup>2</sup>. Regnet ned til 100m dyp gir dette en forekomststørrelse på ca 30 mill. tonn. Med små forekomster menes forekomster med utgående under 10.000 m<sup>2</sup>. Forekomstene i Bamble-Arendal regionen synes stort sett å være små. Ett unntak er Ødegårdenforekomsten i Bamble (skapolittomvandlet metagabbro kalt ødegårditt) som har et utgående på i størrelsesorden 100.000 m<sup>2</sup>, men er lavgehaltig (ca. 2% rutil). Videre er det en mulighet for store rutilforekomstene i metasedimenter. Det er imidlertid god grunn til å forvente at disse i så fall vil være lavgehaltige.

### 3.3 Mineralogi og mineralkjemi

TiO<sub>2</sub>-pigment industrien stiller krav til rutil-råvarens kornstørrelse og kjemiske renhet. Kravene vil trolig variere noe fra selskap til selskap, men visse generelle trekk er imidlertid gjennomgående. Grovkornige konsentrater er mere verdifulle enn finkornige. Rutilkonsentratets kornstørrelse bør ikke være under 0.1 mm; en viss andel korn ned til 0.02 mm kan dog aksepteres. Kornstørrelsen for rutil og eventuelle sammenvoksninger med ilmenitt i noen utvalgte rutilforekomster framgår av Fig.3.

Når det gjelder kjemisk renhet, har CaO-innholdet størst betydning - det må ikke overstige 0.2 %. Videre er radioaktive elementer (U og Th) uønsket fordi disse kan forårsake at TiO<sub>2</sub>-pigmentet blir radioaktivt. Kravene til lav radioaktivitet i TiO<sub>2</sub>-pigment blir etter hvert strengere i mange land, og det er grunn til å forvente at U- og Th-innholdet i rutilkonsentrater vil få stor innvirkning på hvor attraktive de respektive forekomster blir i framtiden.

Rutil er i mange av de norske forekomster sammenvokset med ilmenitt. Dette gjør at det i praksis blir vanskelig å produsere rutilkonsentrater med 85-95% rutil med god utvinningsgrad (75-85%). Høyt jerninnhold i rutilkonsentrater forårsaket av ilmenitt (FeTiO<sub>3</sub>) reduserer konsentratets salgsverdi, men jern er dog ingen kritisk faktor slik som kalsium.

Tabell 4: Mikrosondeanalyser av rutil.

Prøve	Bergart	Lokalitet	Ref.	Ant. anal.	TiO <sub>2</sub>	FeO	NbO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
6KH63.89	eklogitt	Sætrevik	4.1.1	4	99,20	0,36	0,02	0,40
P3.1	eklogitt	Husebø	4.1.1	4	99,36	0,27	0,01	0,37
Drøsdal	eklogitt	Drøsdal	4.1.2	1	98,59	0,66	0,00	0,51
KB1A91	albititt	Løfhaug	4.2.1	5	98,96	0,39	0,11	0,53
KB11E.91	albititt	Lindvikk.	4.2.1	1	98,75	0,36	0,00	0,94
KB12b.91	ødegårditt	Ødegården	4.2.4	4	98,39	0,09	0,12	1,43
KB12h.91	ødegårditt	Ødegården	4.2.4	4	97,95	0,03	0,05	2,01
KB12J	ødegårditt	Ødegården	4.2.4	3	98,34	0,09	0,02	1,59
KB10B.91	amfibolitt	Laget	4.2.1	3	97,76	0,99	1,01	0,27
KB5B	amfibolitt	Fone	4.2.1	5	99,06	0,46	0,13	0,33



Tabell 5 viser analyser av mineralkonsentrater av rutil fra noen utvalgte forekomster. Mineralseparasjonen er utført ved NGU med en kombinasjon av magnetisk separasjon og tunge væsker på kornfraksjonen 60-200 mesh. De fleste av konsentratene er trolig renere enn hva en kan regne med å oppnå i en industriell oppredningsprosess. Analysene gir imidlertid en pekepinn på hvilke elementer/urenheter som kan tenkes å by på problemer ved en eventuell drift på de respektive forekomster.

CaO er viktigst. Prøvene fra Fone, en av de to prøver fra Husebø og prøven fra Ødegården inneholder henholdsvis 0.45, 0.49 og 0.38% CaO, som er godt over maksimumsgrensen på 0.2% CaO. Dette antyder at CaO kan bli et problem ved eventuell rutilproduksjon fra de respektive forekomsttyper og enkeltforekomster, d.v.s. hovedsakelig fra de metasomatisk omvandlede bergarter. Prøven fra Sannidal har bare 0.05% CaO. Dette reflekterer at denne bergarten (cordieritt-gneisen) er utpreget CaO-fattig.

Tabell 5: Analyser av rutilkonsentrater. Konsentratene (60-200 mesh) er framstilt med hjelp av magnetseparasjon og tunge væsker av H.Hatling (NGU) med unntak av Sannidal-prøven som er utseparert av Jan Kihle (IFE). Analysert av Titania A/S.

Prøve *	% TiO <sub>2</sub> (tot)	% TiO <sub>2</sub> (HCl)	% Rutil	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% S	% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% CaO	% MgO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Sum
Sannidal	92.06	1.18	90.88	0.059	0.108	0.042	2.19	1.37	0.228	0.05	0.52	1.07	3.13	98.63
Fone	96.48	1.23	95.25	0.010	0.017	0.004	0.58	0.80	0.091	0.45	0.10	0.59	0.83	99.37
Gruvetjønn	97.41	1.29	96.12	0.012	0.018	0.020	0.58	0.45	0.180	0.30	0.03	0.49	0.83	99.74
Lindvikkollen	95.34	1.12	94.22	0.030	0.231	0.208	0.75	0.53	0.832	0.14	0.05	0.81	1.07	99.24
Engebøfjell-A	92.88	3.98	88.90	0.007	0.203	0.011	3.26	0.87	0.237	0.20	0.11	0.80	4.66	99.98
Engebøfjell-B	95.38	2.67	92.71	0.008	0.257	0.020	1.57	0.59	0.256	0.10	0.02	0.57	2.25	99.44
Engebøfjell-C	96.35	1.62	94.73	0.011	0.301	0.028	1.17	0.23	0.253	0.03	-	0.45	1.67	99.33
Husebø-A	91.91	3.29	88.62	0.012	0.208	0.017	3.01	1.53	0.237	0.49	0.25	0.95	4.30	99.91
Husebø-B	93.80	1.27	92.53	0.013	0.793	0.021	2.13	0.29	0.237	0.06	-	0.48	3.05	98.74
Ødegården	95.70	0.92	94.78	0.01	0.00	0.006	0.36	0.68	0.29	0.39	0.16	-0.2	0.52	97.6

\* Sannidal: Cordieritt-flogopitt gneis (Kap. 4.2.1).

Fone (KB5.91): Rutilrik metasomatisk omvandlet amfibolitt (Kap.4.2.1).

Gruvetjønn (KB6.91): Rutilrik metasomatisk omvandlet amfibolitt (Kap. 4.2.1).

Lindvikkollen (KB11.91): Rutilrik albititt (Kap. 4.2.1).

Engebøfjellet-A, B og C: Rutilrik eklogitt (Kap. 4.1.2). Prøvene fra Engebøfjellet representerer et (A) urent,

(B) et middels rent og (C) et ganske rent rutilkonsentrat laget fra borkaksprøvene 46-51 i den østlige delen av forekomsten (jfr. Korneliussen og Furuhaug 1991).

Husebø-A og B: Rutilrik eklogitt (Kap. 4.1.1). Prøvene fra Husebø representerer to relativt urene rutilkonsentrater laget fra borkaks.

Ødegården: Skapolitt-homblendebergart (ødegårditt; Kap. 4.2.4).

## 4 RUTILFOREKOMSTER OG RUTILFØRENDE BERGARTER

### 4.1 Vestlandet

Eklogitter er interessante av følgende grunner: (1) Opp til 95% av titanet i en eklogittbergart kan være bundet som rutil. I verdenssammenheng forekommer eklogittbergarter med  $\text{TiO}_2$ -gehalter på 5-6%. Slike forekomster kan, i de tilfeller hvor titanet hovedsakelig er bundet som rutil, bli drivbare hvis rutilet kan utvinnes fra bergarten med rimelig bra utvinningsgrad (>70%) samtidig som rutilkonsentratet tilfredstiller visse krav bl.a. til kjemisk renhet.

(2) Eklogittbergarter kan forekomme over store bergartsvolum. Mange forekomster er på flere hundre mill. tonn. I praksis vil slike store forekomster (f.eks. Engebøfjellet, Fureviknipa m.fl. i Sunnfjord) få relativt lave gjennomsnittsgehalter av rutil (ca 2%), men de kan inneholde partier (deler av forekomsten) som kan være vesentlig anrikt. En rådende oppfatning i 1970-80 årene har vært at slike rutilanrikede deler av store forekomster må utgjøre minst 10 mill. tonn med 5% rutil i gjennomsnitt for å representere en drivbar forekomst, og at en med et nedskrevet gruve- og oppredningsanlegg kan drive ned til ca. 3% rutil som marginalgehalt (K.Sandvik, pers. medd. 1987 og 1991). I de norske eklogitter er det kun påvist rutilanrikede partier med noen særlig størrelse med 3-3.5% rutil.

Den rikeste eklogittforekomst som er kjent i verden, og som samtidig er stor, er PianPaludo i Nord-Italia (Mancini m.fl. 1979). Den inneholder over 300 mill. tonn eklogitt med 6%  $\text{TiO}_2$  hvorav 4.8% i form av rutil. Grunnen til at denne forekomsten ikke er satt i drift er at den er meget finkornig og det har vist seg vanskelig å oppnå et rent nok rutilkonsentrat med tilstrekkelig god utvinning. Et problem ved Pianpaludo er at titanitt ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) forekommer sammenvokset med rutil og medfører at rutilkonsentratet får et for høyt CaO-innhold til at det kan benyttes til kloridprosess  $\text{TiO}_2$ -pigment framstilling.

Fig.8 viser  $\text{TiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fordelingen i eklogitter og assosierte mafiske bergarter på Vestlandet. Disse bergarter viser en tendens til å plotte langs en jernrik trend (kalt gabbro-trend i figuren) og en relativt jernfattig trend (kalt anortositt-trend). Ti-rike bergarter på Holsnøy, som er assosiert med Bergensbuenes anortosittkompleks, plotter langs anortositt-trenden. "T" i figuren viser  $\text{TiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sammensetningen av Tellnes ilmenittforekomst i Egersundfeltet, som er det andre større området i Norge med bergarter med tilsvarende opprinnelse som i Bergensbuene. Det er god grunn til å mene at Ti-rike bergarter i Egersundfeltet vil plotte langs den samme "anortositt-trenden" som bergartene på Holsnøy. Ti-rike bergarter utenfor Bergensbuene/Holsnøy synes alle å bli svært jernrike ved høyt titaninnhold og plotter langs det som i Fig.8 er kalt "gabbro-trenden".

Når det gjelder  $\text{TiO}_2$ - $\text{P}_2\text{O}_5$  relasjonen (Fig.8), er det en tendens til at eklogitter og assosierte bergarter (metagabbroer) fra Sunnfjord og visse granatpyroksenittiske bergarter fra Holsnøy er fosforrike og plotter langs en fosforrik trend. De to punktene med over 6%  $\text{P}_2\text{O}_5$  er fra en metagabbro (ikke rutilførende) i Dalsfjellmassivet i Gulen.

Husebø rutilforekomst er adskilt fra de øvrige lokaliteter på Holsnøy i Fig.10. Som det framgår av figuren er en granatpyroksenittisk bergart fra Sætreвика markant jernrik i forhold til titan (pkt. 1 i figuren). Pkt. 2 og 3 representerer ilmenittforekomster ved Alverstraumen og Lyseknappen på Radøy.

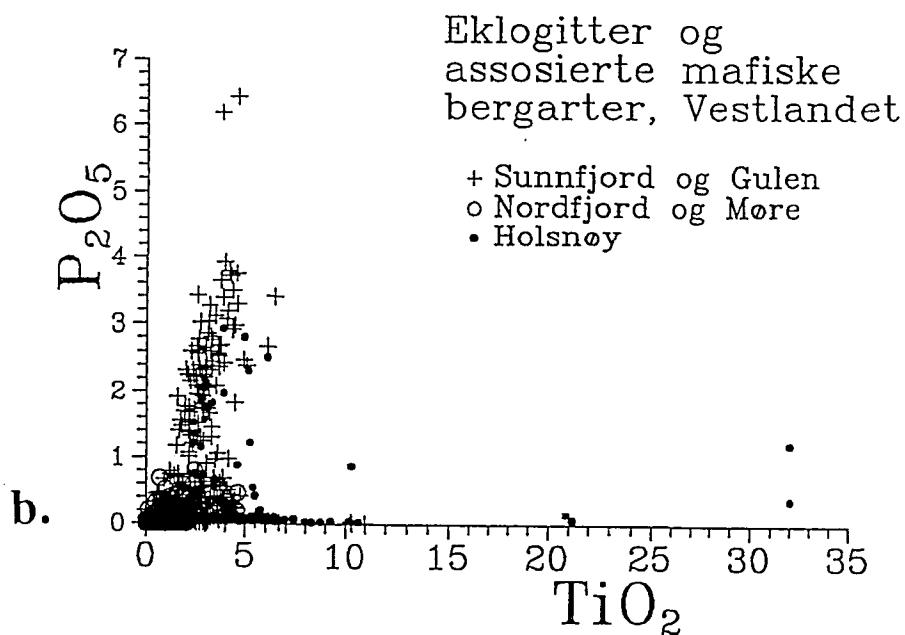
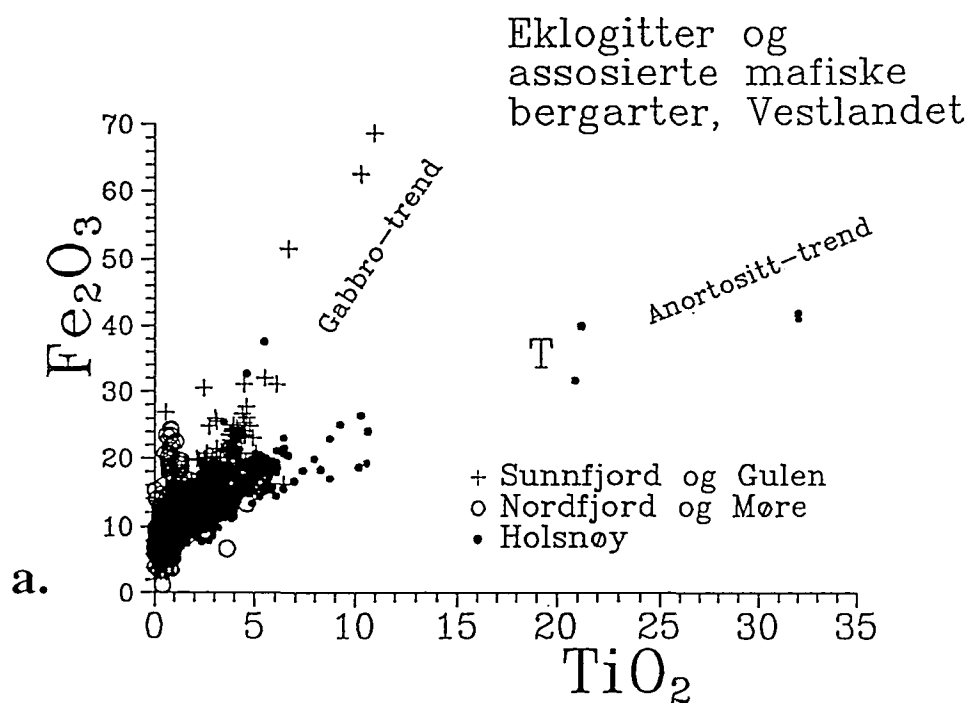


Fig.8: TiO<sub>2</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a) og TiO<sub>2</sub> - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b) fordelingen i eklogitter og assosierte mafiske bergarter på Vestlandet. Gehaltene er i vekt-%.

Fig.11 viser rutilinnholdet i de prøver som er analysert på rutil (jfr. Bilag 1). Prøvene merket 1,2,3 og 4 er fra henholdsvis Sætrevika (KH63E.89), Buldrevika (KH57.89), Husebø (B30B.88) og Ådnefjell (KH62.89). Negative rutilverdier skyldes analysefeil, d.v.s. at  $\text{TiO}_2$  (totalt; XRF-analyse) er for lavt, at  $\text{TiO}_2$  (HCl-løselig, ICP-analyse) er for høyt eller en har en kombinasjon av disse to årsakene. For noen av prøvene (de med negativ rutilverdi over 1%) er feilen svært stor. Men fordi de aktuelle prøver ikke representerer forekomster med stor utstrekning får feilen ingen betydning for den samlede økonomisk/geologiske vurderingen.

#### 4.1.1 Holsnøy og Radøy, Hordaland

HUSEBØ RUTILFOREKOMST (Fig.9): Forekomsten ligger på NV-siden av Holsnøy i et område med spredt bebyggelse. Ett bolighus og en hytte ligger direkte på forekomsten, og flere bolighus, gårdsbruk og hytter ligger like inntil. Forekomsten ble funnet i 1988, og den første rekognoserende prøvetaking utført i 1989 (Korneliussen m.fl. 1990) og en relativt grundig overflateprøvetaking (borkaks) i 1990 (Korneliussen m.fl. 1991). Forekomstens utgående (ca 100.000 m<sup>2</sup>) har et gjennomsnittlig  $\text{TiO}_2$ -innhold på 3.62% hvorav 2.13% er som rutil. Et rutilanrikt område på ca. 10.000 m<sup>2</sup> i den østlige delen av forekomsten inneholder gjennomsnittlig 3.2% rutil. Regnet ned til 100m dyp utgjør dette en forekomststørrelse på ca 3 mill. tonn med en sannsynlig rutilgehalt på ca. 3.2%. Hele det rutilmineraliserte området er på over 100.000 m<sup>2</sup> og vil ned til 100m dyp utgjøre en forekomst på ca. 30 mill. tonn med en sannsynlig gjennomsnittlig rutilgehalt på ca 2%.

Sammenvoksning mellom rutil og ilmenitt (Fig.3) vil trolig gjøre det vanskelig å produsere et rent rutilkonsentrat (jfr. Osland, Rynning og Skirstad 1990). Det er god grunn til å hevde at en trenger minst 5% rutil over 10 mill. tonn for at Husebø-forekomsten skal bli drivbar (jfr. Korneliussen m.fl.1991). Ut fra den overflateprøvetaking som er utført synes det som om forekomsten på ingen måte kan tilfredstille dette kravet. Det vurderes som mest sannsynlig at rutilen mot dypet opptrer i tilsvarende geohalter som i overflaten.

To rutilkonsentrater, Husebø-A og -B (Tabell 5) er laget fra borkaksprøver. Husebø-A er relativt urent med 88.62% rutil mens Husebø-B har 92.53% rutil. Hovedforskjellen mellom konsentratene er at det første har 0.49% CaO mens det andre har 0.06% CaO. Det sistnevnte er godt innenfor det akseptable (<0.2% CaO) mens det første inneholder for mye CaO. Det høye CaO-innholdet for det ene konsentratet antyder at CaO kan bli et problem ved eventuell utnyttelse av forekomsten.

#### RUTILFOREKOMSTER VED SÆTREVIKA, ÅDNEFJELL OG ODLAND (Fig.9):

I området Sætrevika - Ådnefjell - Odland forekommer flere rutilanrikede mindre partier i anortositt. Noen av disse forekomstene har karakter av å være relatert til basiske titanrike ganger i anortositt som har gjennomgått eklogittisering, mens andre synes å representere mere eller mindre uregelmessige Ti-anrikninger i eklogittisert anortositt. 4 slike forekomster er avmerket i Fig.9, ved henholdsvis Buldrevika, Sætrevika, Ådnefjell og Odland. Området inneholder flere forekomster av samme type.

Rutilgehaltene basert på punkttellinger av tynnslip viser geohalter på fra 2-3 til 14% rutil i enkeltprøver (Korneliussen m.fl. 1990). Analyser av sammenslåtte, representative prøver for mektigheter på 3-4m viser geohalter på fra 2 til 6% rutil (Bilag 1). En prøve (KH57.89) fra Buldrevika inneholder 6.89% rutil.

Med utgangspunkt i deres begrensede utgående areal, vurderes disse forekomster å være for små til å ha økonomisk interesse. Overdekningsgraden (skog og myr) er tildels betydelig, og det er godt mulig at området inneholder flere og større forekomster enn de som hittil er påvist.

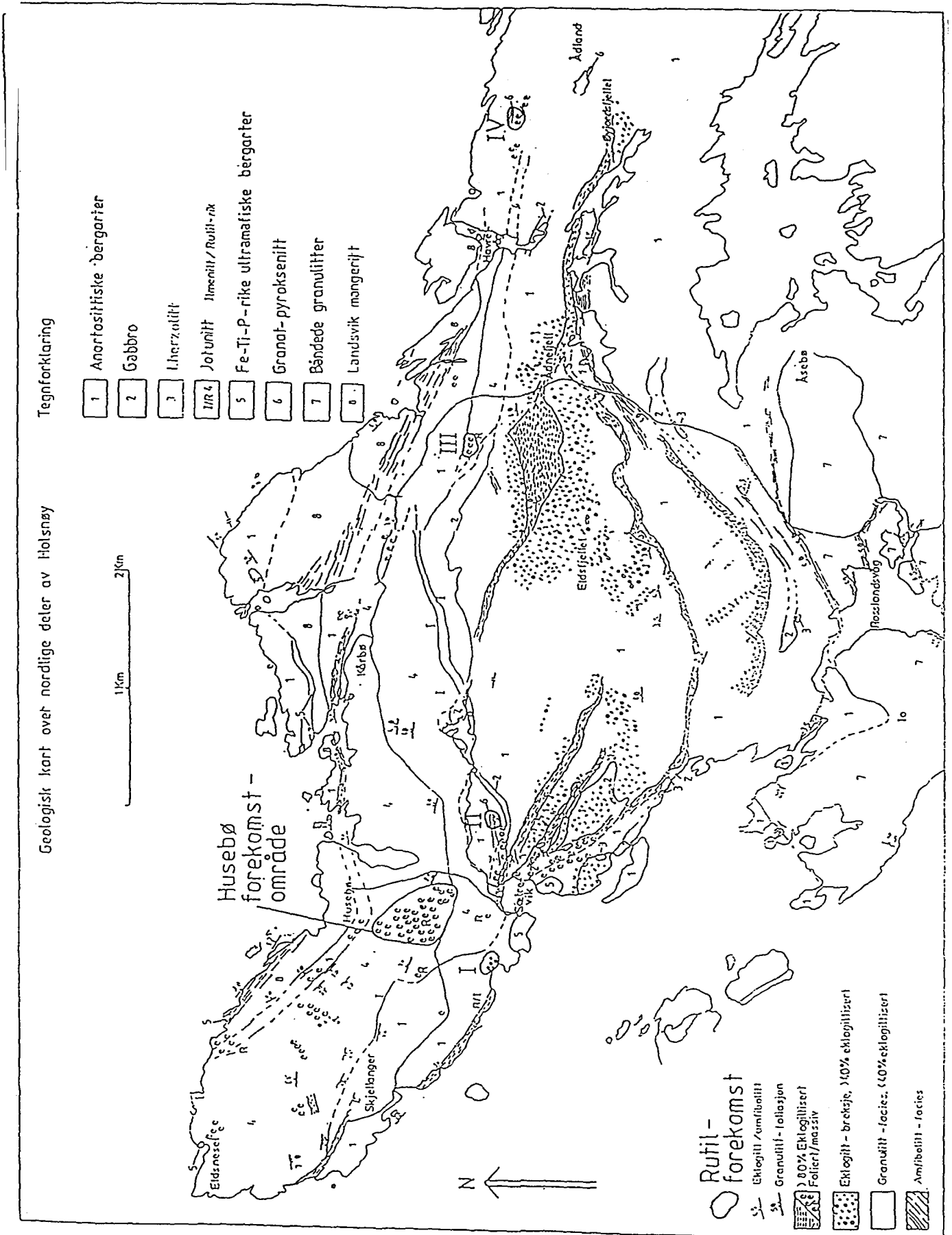


Fig.9: Forenklet geologisk kart over NV-lige del av Holsnøy med rutilforekomstene Husebø, Buhellarvika (I), Sætrevik Øst (II), Ådnefjell (III) og Mjåvatn (IV) avmerket.

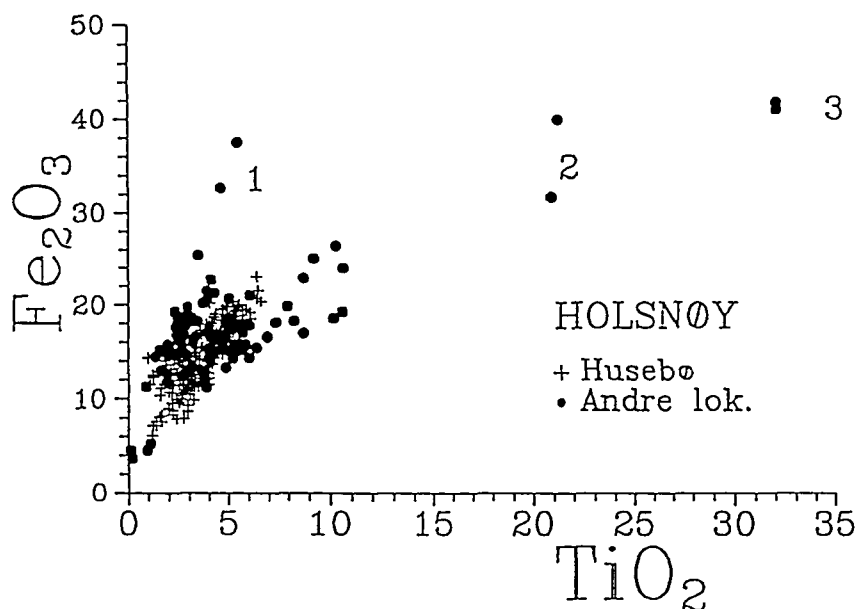


Fig.10  $\text{TiO}_2$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -fordelingen i eklogitter og assosierte mafiske bergarter på Holsnøy og Radøy. For økende jerninnhold plottes prøvene langs én Ti-rik og én Ti-fattig trend. Prøvene langs den Ti-fattige trenden er fra en granatpyroksenittisk bergart ved Sætrevika (merket 1), mens de Ti-rikeste prøvene langs den Ti-rike trenden er fra ilmenitt-forekomster ved Alverstraumen og Lyseknappen på Radøy (merket henholdsvis 2 og 3). Gehaltene er i vekt-%.

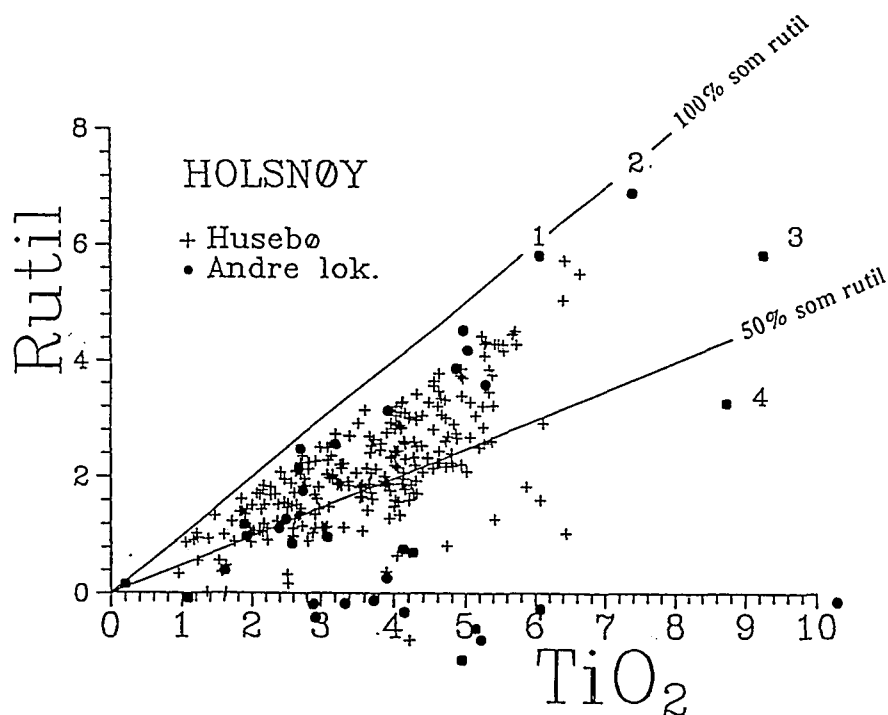


Fig.11: Rutil- og  $\text{TiO}_2$ -innholdet i eklogittbergarter fra Husebø og andre lokaliteter på Holsnøy. Prøvene merket 1, 2, 3 og 4 i figuren er fra henholdsvis Sætrevik, Buldrevik, Husebø og Ådnefjell (jfr. Korneliussen m.fl. 1990). Negative rutilverdier for enkelte prøver skyldes analysefeil (se teksten). Gehaltene er i vekt-%.

## RUTILMINERALISERINGER I EKLOGITT VED KVISTE PÅ RADØY:

Området mellom Storneset og Skutevika ved Kviste på Radøy består for en stor del av rutilholdig eklogitt som tildels er noe retrogradert. Mindre partier med eklogittiske/granat-amfibolittiske bergarter med ilmenitt og rutil opptrer i lia på vestsida av Kvitsteinfjell. Området er ikke kartlagt i detalj. Den eneste delen av området som inneholder eklogitt med noe særlig størrelse (20-30.000 m<sup>2</sup>) er mellom Storneset og Skutevika. Med utgangspunkt i 4-5 tynnslip vurderes rutilgehalten å være gjennomgående 2-3%.

### 4.1.2 Sunnfjord og Ytre Sogn

Ved siden av Holsnøy er Sunnfjord det området hvor det er utført systematisk leting etter rutilførende eklogitter. Eklogittene i Sunnfjord og Ytre Sogn opptrer som linser og uregelmessige soner i gneisbergarter. Størrelsen varierer fra noen få dm til 3-4 km. Eklogittene ved Førdefjorden er relativt finkornige med vanlig kornstørrelse på granat på omkring 0.1-0.5 mm. Foruten granat er hovedmineralene en hornblendeliknende amfibol (barroisitt) og omfasittisk klinopyroksen, med lys glimmer, kvarts, rutil, ilmenitt, apatitt og svovelkis i mindre mengder.

Ved svak retrograd omvandling av eklogitt omvandles den omfasittiske klinopyroksen til aggregater av diopsidisk klinopyroksen og plagioklas, og ved noe sterkere retrogradering til hornblende. Den barroisittiske hornblenden omvandles til vanlig hornblende og rutil til ilmenitt. Granat er relativt stabil, men vil ved intens retrogradering omvandles til aggregater av hornblende + magnetitt +/- epidot +/- biotitt. På dette stadium foreligger normalt ingen rester av rutil i bergarten. Den siste retrograde begivenhet er klorittisering som er assosiert med magnetittdannelse (Korneliussen og Foslie 1985).

Rutil opptrer som avrundede og ujevne korn som i størrelse varierer fra 0.01 mm til 1.0 mm i diameter; 0.1 - 0.3 mm er typisk størrelse for forekomstene Fureviknipa og Engebøfjellet.

Fig.13 viser TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sammensetningen for eklogitter og assisierte mafiske bergarter i Sunnfjord (Førdefjordområdet) og Ytre Sogn (Hyllestad og Gulen). Punktene merket 1,2,3 og 4 i figuren er fra henholdsvis Naustdal (pr. 101757 i Binns 1967), Sellevoll (pr. 582 i Korneliussen 1979, og Løland (pr. 632 og 634 i Korneliussen 1979).

Rutilinnholdet i de av prøvene fra Sunnfjord og Ytre Sogn som har gjennomgått fullstendig rutilanalyse (XRF + ICP<sub>HCl-løselig</sub>) framgår av Fig. 14. Et markant trekk er at rutil- og TiO<sub>2</sub>-innholdet i prøvene fra Engebøfjellet er meget godt korrelert. Faktisk er gjennomsnittlig 96% av TiO<sub>2</sub>-innholdet i Engebøfjell-prøvene bundet som rutil. For de øvrige forekomster er rutilandelen av det samlede TiO<sub>2</sub>-innhold i bergarten sterkt vekslende.

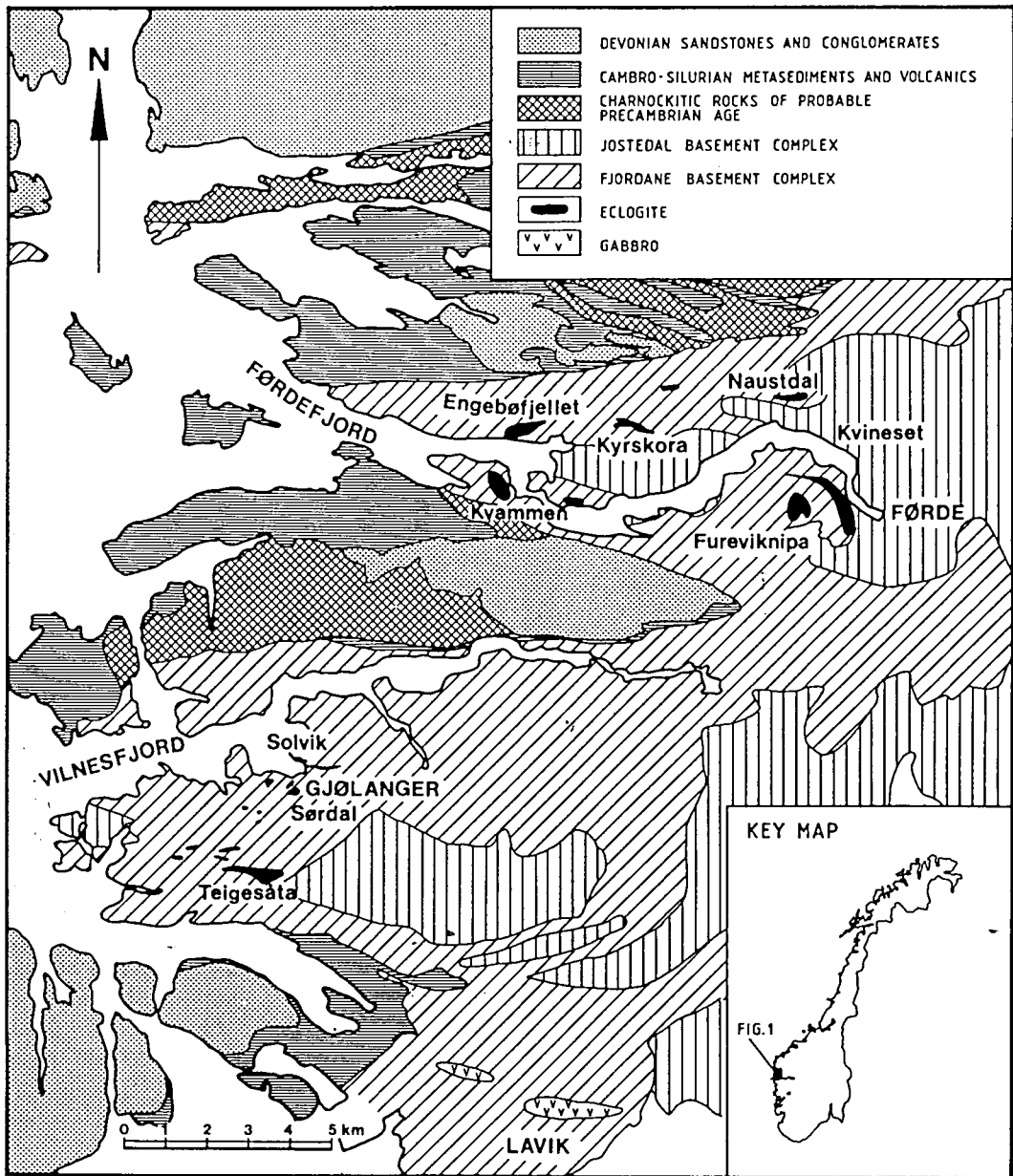


Fig.12: Opptreden av eklogittforekomster i Sunnfjord og Ytre Sogn (unntatt Gulen).  
 Etter Korneliussen og Foslie (1985).



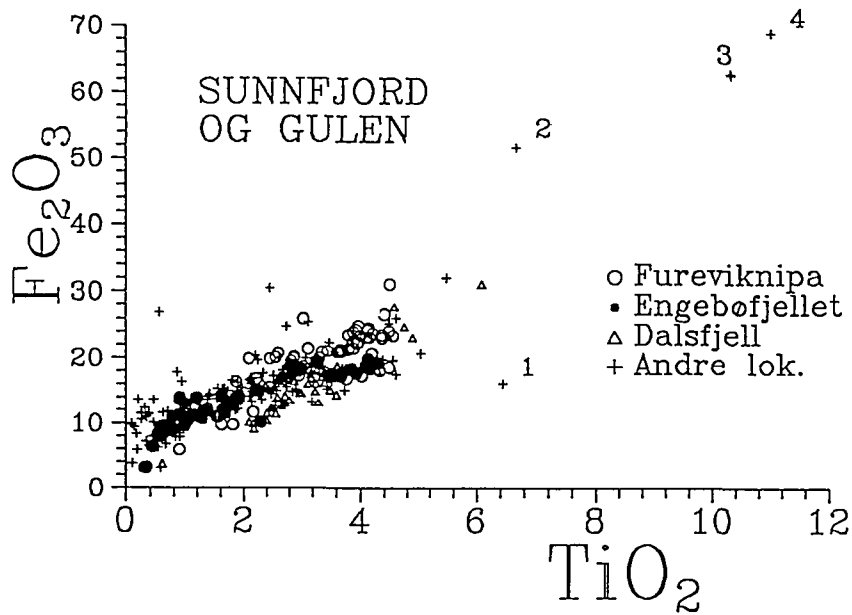


Fig.13: TiO<sub>2</sub>- og Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-innholdet i eklogitter og assosierte mafiske bergarter i Sunnfjord og Gulen. prøvene merket 1,2,3 og 4 i figuren er fra henholdsvis Naustdal, Sellevoll og Løland (3 og 4). Jfr. teksten. Gehaltene er i vekt-%.

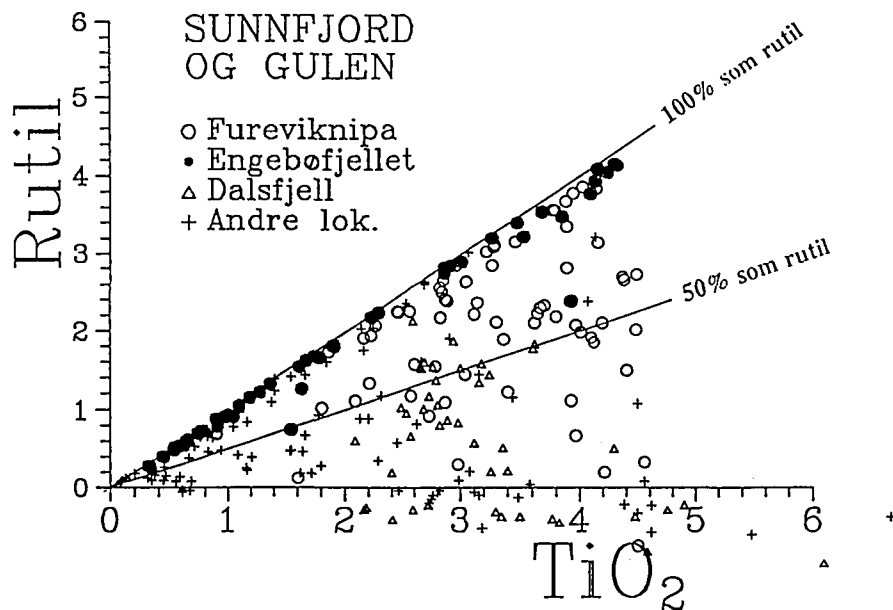


Fig.14: Rutil- og TiO<sub>2</sub>-innholdet i eklogittbergarter fra Sunnfjord og Gulen. Negative rutilverdier skyldes analysefeil (se teksten). Gehaltene er i vekt-%.

## DE VIKTIGSTE AV DE UNDERSØKTE RUTILFOREKOMSTER I SUNNFJORD OG YTRE SOGN

**FUREVIKNIPA** i Førde kommune (Fig.12; se også Tegning 1 i Korneliussen og Furuhaug 1991): Forekomsten er beskrevet av Foslie (1981). Prof. Sandvik, Oppredningslaboratoriet ved NTH, har utført oppredningsforsøk på prøvemateriale fra Fureviknipa og foretatt en økonomisk vurdering av forekomsten i samarbeid med Norsk Hydro i 1985-86. Dette arbeidet konkluderte med at forekomsten var for fattig på rutil til å kunne bli drivbar (K.Sandvik, pers. meddelelse 1991). NGU utførte i 1990 en ny prøvetaking av forekomsten for å oppnå mere presis informasjon om rutilgehalten (Korneliussen og Furuhaug 1991). Denne undersøkelsen viste at innholdet av ilmenitt sammenvokset med rutil er høyere enn tidligere antatt. Ilmenitt/rutil-sammenvokningen er hovedgrunnen til at Fureviknipa-forekomsten er vanskelig/kostbar å opprede. Dette forhold kombinert med lav rutilgehalt gjør den lite interessant fra et økonomisk synspunkt.

**ENGEBØFJELLET** i Naustdal kommune (Fig.12 se også Tegning 2 i Korneliussen og Furuhaug 1991): Denne forekomsten har tidligere vært undersøkt av NGU, Elkem og Norsk Hydro. NGU foretok i 1990 ny prøvetaking (borkaks) i et 1800m langt profil langs forekomsten for å innhente mere presis informasjon om rutilinnholdet (Korneliussen og Furuhaug 1991). Gjennomsnittlig rutilinnhold i forekomsten, som er meget stor, synes å være ca. 1.7%. Rutil forekommer imidlertid anriket til 3-4% nivå i deler av forekomsten. Et karakteristisk trekk for Engebøfjellet, i motsetning til Fureviknipa, er at en meget stor andel av titanet (95%) er bundet som rutil. Dette betyr at den vil være enklere å opprede enn de fleste andre rutil/eklogitt-forekomster fordi en ikke vil få problem med ilmenitt i rutilkonsentratet. I så henseende er Engebøfjellet trolig en mere attraktiv rutilforekomst enn Fureviknipa.

**NAUSTDAL** i Naustdal kommune (Fig.12, se også Tegning 2 i Korneliussen 1978): Forekomsten er beskrevet av Eskola (1921) og Binns (1967), og ble første gang prøvetatt m.h.p. rutil av Elkem i 1977 og videre prøvetatt av NGU i 1978 (Korneliussen 1980). Den østlige del av forekomsten er dekket av et nytt boligfelt.  $TiO_2$ -gehalten i forekomsten varierer fra 1 til 6-7%. Det foreligger ingen god informasjon om rutilinnholdet slik som for Fureviknipa og Engebøfjellet, men det er sannsynlig at store deler av forekomsten inneholder 3-4% rutil.

**FOREKOMSTER I GJØLANGER-OMRÅDET** i Fjaler kommune (Fig.12, se også Tegning 3 og 7 i Korneliussen 1980 og Tegn 6 i Erichsen og Trønnes 1988): Dette området inneholder en rekke eklogitt-forekomster med 1-2% rutil. Ved en forekomst, Solvik, forekommer gehalter på i størrelsesorden 5% rutil i mindre partier. Denne forekomsten er ikke kartlagt og prøvetatt i detalj. Sannsynlig gjennomsnittsinnhold av rutil over 20000m<sup>2</sup> er 2-3% med lokale anrikninger til 3-5% rutil.

**DRØSDAL** (Teigesåta) i Hyllestad kommune (Fig.12, se også Tegning 3 i Korneliussen 1980): Dette er den største eklogitt-forekomst som er kjent i Sogn og Fjordane med en lengdeutstrekning på 3.5 km. Største bredde er 0.9 km. Forekomsten har et kyanitt-innhold som varierer fra 5 til 20%. Forekomsten kan bli økonomisk interessant som en granat- + kyanitt-forekomst. Rutilinnholdet er gjennomgående under 1%, men kan i 50-100 m mektige soner være anriket til 2-3%.

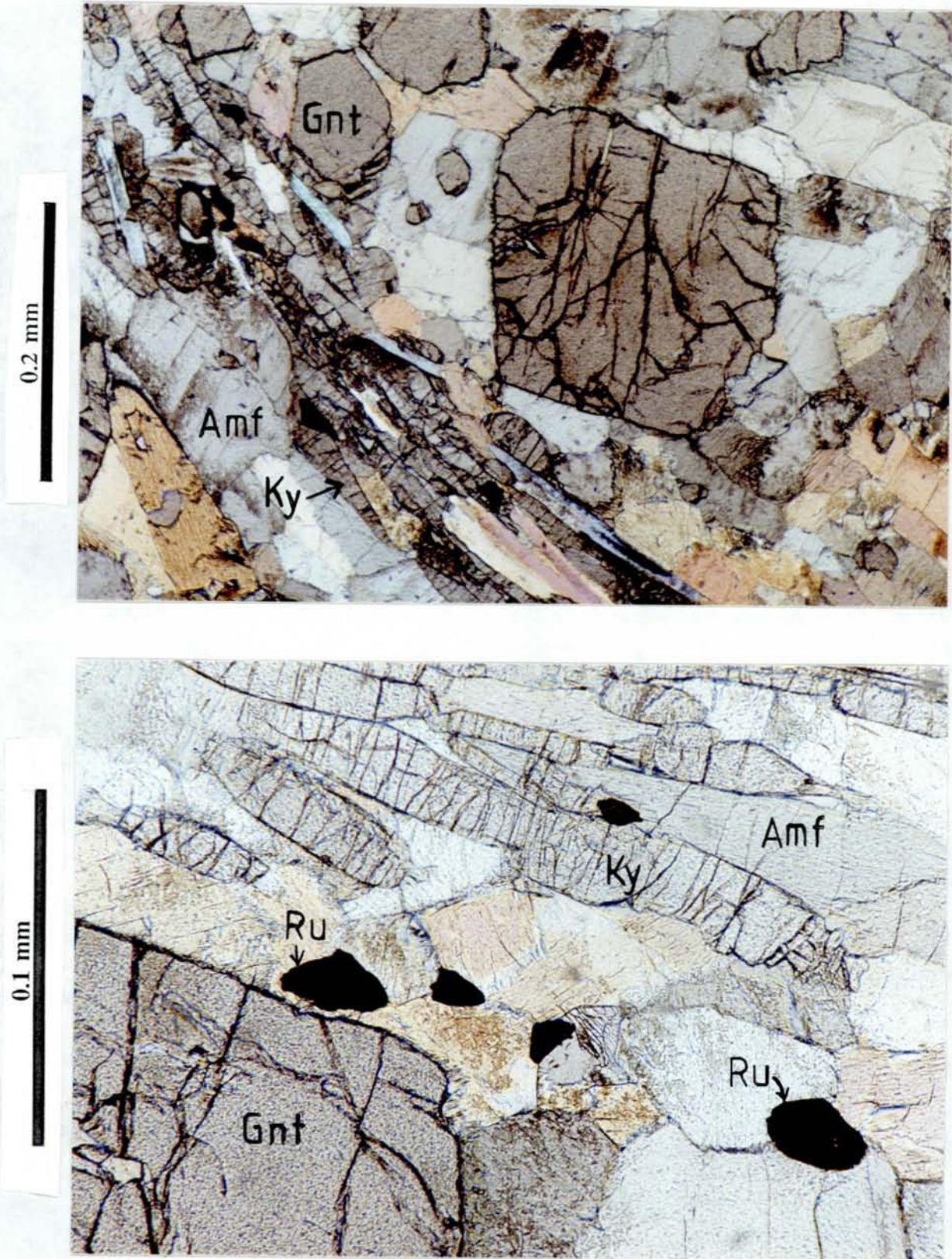


Fig.15: To mikroskopi-bilder av rutil, granat og kyanitt, Drøsdal (Teigesåta) eklogitt. Ru: rutil, Gnt: granat, Ky: kyanitt, Amf: amfibol.

DALSFJELL i Gulen kommune (Fig.2 i Korneliussen 1989): En metagabbro øst for Dalsøyra (Dalsfjellmassivet) er i sterkt vekslende grad omvandlet til eklogitt. Rutilinnholdet i eklogittbergarten er gjennomgående 1-2.5%. De enkelte eklogittforekomster innen Dalsfjellmassivet, hvorav de største er Slengesol, Norddal og Kjelby med et areal på 5-10.000 m<sup>2</sup> hver, er små og med lavere gjennomsnittsgehalter av rutil enn i rutilanrikede deler av forekomster som Husebø på Holsnøy og Fureviknipa og Engebøfjellet i Sunnfjord. Dalsfjellets eklogitter og metagabbroer har imidlertid et relativt høyt P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-innhold på 1-6% (alle gehalter over 4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> er fra metagabbro uten rutil). Forekomstene synes ikke å ha økonomisk interesse.

#### 4.1.3 Nordfjord og Møre og Romsdal

Eklogitter i Nordfjord- og Møre og Romsdal-regionen (Fig.1) er praktisk talt ikke undersøkt med henblikk på rutil. Årsaken er at disse er blitt ansett å ha et gjennomgående lavere titaninnhold og følgelig også et lavere rutilinnhold enn eklogitt i Sunnfjord/Ytre Sogn og på Holsnøy. Det foreligger et stort antall vitenskapelige avhandlinger om eklogitter i regionen. Ut fra de tilgjengelige kjemiske analyser av eklogitter (Erambert 1991) er titaninnholdet lavere enn for eklogitter i Sunnfjord/Ytre Sogn og fra Holsnøy. Det er imidlertid viktig å ta i betraktning at de titanrike prøver fra Sunnfjord/Ytre Sogn og Holsnøy er innsamlet ved en systematisk prøvetaking av noen utvalgte titanrike eklogitter, mens analysene fra Nordfjord og Møre representerer prøver som er innsamlet for helt andre formål. De foreliggende TiO<sub>2</sub>-analyser fra de forskjellige områder bør derfor ikke sammenliknes ukritisk. Innenfor Nordfjord-Møre og Romsdal-regionen kan det meget vel forekomme Ti-rike eklogitter som kan vise seg vel så interessante som de rutilrike eklogitter i Sunnfjord.

Erambert (1991) har ut fra sin gjennomgang av tilgjengelige informasjon om eklogitter i Nordfjord-Møre og Romsdal-regionen, konkludert med at ingen av de kjente eklogitt-forekomster inneholder rutilmineraliseringer av økonomisk interesse. Hun presiserer imidlertid at i vitenskapelige studier av eklogitt-facies mineralselskaper vil en gjerne unngå Fe- (og også Ti)-rike prøver fordi de lettere vil amfibolittiseres. Det er derfor sannsynlig at de publiserte TiO<sub>2</sub>-analyser ikke gir et representativt bilde av TiO<sub>2</sub>-innholdet i de aktuelle eklogitter, men er for lave\*.

Det kan være en mulighet for rutilmineraliseringer i følgende situasjoner:

- (1) Ti-anrikede lag, som også vil være granatrike, i meta-anortosittiske/meta-troktolittiske eklogitter. De beste eksempler er fra Bugen-dalsfjord området (Ytre Sogn). En lokaliteter er kjent i Grøndalen-Lesjaskog området (lok.36 i Muriel 1991), men p.g.a. ufullstendig eklogittisering samt retrogradering er den sannsynligvis av mindre interesse.
- (2) Lag anrikt på Ti og Fe (granatrike) i ultramafiske/mafiske eklogittiske lagdelte komplekser. Det beste eksemplet er Eiksunddalen, men forekomststørrelsen er trolig liten.
- (3) Eklogitter med gabbroiske eller dolerittiske protolitter. De beste områder for slike forekomster er Sunnfjord og Nordfjord.

\* Eklogittundersøkelser i gneisregionen nord for Nordfjord har fokusert hovedsakelig på ultramafiske/mafiske bergartsserier eller eklogitter med uvanlige mineralogiske karakteristika. "Vanlige" eklogitter med gabbroisk kjemisk sammensetning, som vanligvis vil være de Ti-rikeste og samtidig utgjøre de største volum, er stort sett neglisjert. Det er grunn til å mene at slike kropper bare unntaksvis er undersøkt og analysert.

Situasjon (3) er rimelig godt testet i Sunnfjord, og en kjenner her til flere store forekomster med opptil 3-4% rutil i deler av forekomsten. Med unntak av Holsnøy er det ikke drevet systematisk leting etter rutilrike eklogitter i andre områder på Vestlandet.

Fig.16 viser  $\text{TiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -sammensetningen av eklogitter fra Nordfjord- og Møre-regionen. Prøvene merket 1,2 og 3 i figuren er fra henholdsvis Flemsøy (koronittisk metagabbro) og Liset. Det er sannsynlig at ingen av disse prøvene inneholder særlig med rutil. De viser imidlertid at  $\text{TiO}_2$ -rike bergarter forekommer i Nordfjord-Møre og Romsdal-regionen.

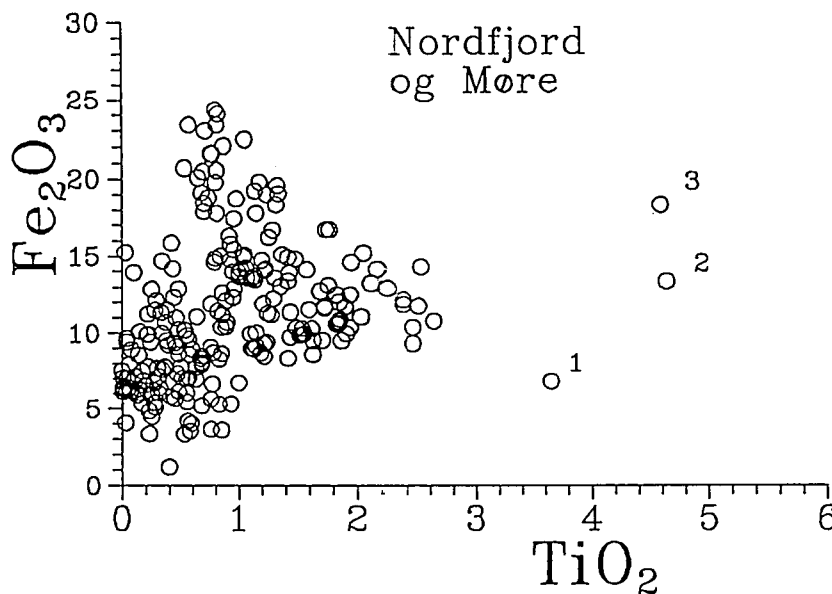


Fig.16:  $\text{TiO}_2$ - og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - innholdet i eklogitter og assosierte mafiske bergarter nord for Nordfjord og fra Møre. Prøvene merket 1, 2 og 3 er fra henholdsvis Flemsøy (pr. GE3b i Bilag 3) og Liset (pr. K22 og K46 i Bilag 3).

## 4.2 Bamble-Arendal regionen

Bamble-Arendal området tilhører det såkalte "Kongsberg-Bamble shear belt" (Starmer 1991) som igjen er en del av det Telemarkiske grunnfjellsområdet. Hovedtrekkene i områdets geologiske utvikling er som følger:

De eldste kjente bergarter i området er metasedimenter (kvartssitter, kvarts-feltspat gneiser, cordieritt-gneiser) av antatt alder 1700-1500 mill.år (Starmer 1991). Disse bergartene har gjennomgått en kompleks metamorf utvikling, bl.a. med to granulitt-facies episoder (Kihle 1989). Metasedimentene/gneisene er intrudert av en serie basiske og sure intrusjoner i flere generasjoner og med mellomliggende deformasjonsperioder (Starmer 1991). Den yngste store eruptive spisdoden er intrusjoner av post-tektoniske granitter for omtrent 1000 mill. år siden. Store hydrotermalsystemer med henholdsvis Cl- og Na-rike løsninger har gitt skapolittisering og albittisering av amfibolittiske/gabbroide bergarter. Starmer antyder at disse hydrotermale begivenheter skjedde for 1100-1200 mill. år siden.

Tabell 6: Rutilforekomster i Bamble-Arendal regionen.

Forekomst	Nr. i B.arkiv*	Nr. i felt	Forek. type	UTM X	UTM Y	Kart blad
Lindvikkollen	10582	KB11.91	albititt	5214	65254	1712.4
Løfthaug	-	KB1.91	albititt	5164	65278	1712.4
Laget	10895	KB10.91	amfibolitt	5044	65046	1612.2
Fone	10875	KB5.91	amfibolitt	5042	65229	1612.1
Gruvetjønn	10879	KB6.91	amfibolitt	4978	65148	1612.1
Haukåsen	-	KB9.91	pegmatitt	4940	65052	1612.2
Sannidal	-	KB42.91	metasedim.	5126	65272	1612.1
Gjerstadvt.	-	KB43.91	metasedim.	5035	65244	1612.1
Ødegård	-	divers	ødegårditt	5318	65357	1712.4
Flaten <sup>#</sup>	10924	-	?	4813	65008	1612.3
Sandtjern	10897	-	?	4916	65065	1612.2
Verland	10898	-	?	4955	65084	1612.2
Landsverk	10577	-	albititt	5209	65323	1712.4
Frydenborg	10580	-	albititt	5236	65260	1712.4

\*: Forekomstens nr. i NGU's database for mineralressurser. Manglende nr. betyr at forekomsten ikke tidligere er registrert i NGU's arkiv.

<sup>#</sup>: Fe, Ti, rutil.

#### 4.2.1 Metasomatisk omvandlede bergarter

**a. Albititter:** En rekke albitittbergarter i Kragerø-Arendal området er rutilførende. Forekomstene er gjennomgående små og uregelmessige og ansees å ha liten økonomisk interesse. Følgende to forekomster er befart:

**LINDVIKKOLLEN** (Rekevik, Sjøen): En rutilførende albitittforekomst ved i Lindvikkollen var gjenstand for gruvedrift i begynnelsen av dette århundret. Forekomsten ble undersøkt av A/S Sydvaranger i 1973, og det ble da konkludert med at den er for liten og for lavgehaltig til å være drivbar (Tor Sverdrup, pers. medd. 1987).

**LØFTHAUG:** Forekomsten som består av rutilførende albititt, er kartlagt og beskrevet av Halvorsen (1973). Rutilgehalten varierer fra 1 til 3-4%. Det er nødvendig med mere detaljert prøvetaking før det kan gis noen god vurdering av gjennomsnittlig rutilgehalt og mulig forekomststørrelse.

**b. Skapolittomvandlede bergarter:** Skapolittomvandlede amfibolitter og metagabbroer i Bamble-Kragerø området er gjennomgående rutilførende. En forekomst ved Ødegården i Bamble har et såpass stort utgående (> 100000 m<sup>2</sup>) og med såpass høye rutilgehalter (varierer fra 0 til 4-5%) at den er vurdert som økonomisk interessant. Denne forekomsten har i tillegg apatitt (Y-rik) som ved århundreskiftet var gjenstand for gruvedrift på apatitt. Alle disse mineraler er i prinsippet interessante ved en eventuelt kombinert gruvedrift. Ødegården-forekomsten blir nærmere beskrevet i Kap. 4.2.4.

**c. Andre metasomatisk omvandlede bergarter:** Flere forekomster har anrikninger av relativt grovkornig rutil i lys grønne og relativt jernfattede amfibolitter/hornblenditter. De geologiske relasjoner er komplekse med innslag av albititt og pegmatitt. I visse tilfeller er slike forekomster omgitt av granitoid bergarter. Forekomststypen har liten økonomisk interesse fordi forekomstene synes å være små. Følgende forekomster er befart:

**LAGET:** Rutilmineraliseringen er tilknyttet dm- til m-store fragmenter og uregelmessige soner av en lys, jernfattig amfibolitt i en granitt. Flere stoller er drevet ovenfor hverandre langs den steiltstående, uregelmessige forekomstsstsonen som er ca. 5m mektig. Uregelmessige albitittiske til pegmatittiske partier/årer er syn- til epigenetisk i forhold til den rutilførende amfibolitten. Inntrykket fra felt er at granitten har intrudert og delvis absorbert en amfibolittisk bergart. Amfibolitten i forekomsten representerer trolig metasomatisk omvandlede rester av den opprinnelige amfibolittiske/gabbroide bergarten, hvor titanet nå er bundet som rutil. Uregelmessige anrikninger av rutil antyder at titan har vært noe mobilt, men vesentlig mindre mobilt enn jern som i stor grad har gått ut av systemet. Mikrosondeanalyse av rutil (pr. KB10b.91, Tabell 5) viser at rutilmineraliseringen er utpreget NbO-rik. En sannsynlig forklaring er at Nb er tilført fra den intruderende granitten ved forekomstdannelsen.

**FONE:** Forekomsten har visse likhetstrekk med Laget med innslag av en lys grønnlig, rutilmineralisert amfibolitt, en albitittisk til pegmatittisk bergart, og med amfibolitt/metagabbro og granitt i omgivelsene. Rutilmineraliseringene er sannsynligvis dannet ved metasomatiske prosesser.

**GRUVETJØNN:** Forekomsten er svært lik Fone. "Gruveanlegget" består av flere vannfylte røsker.

#### 4.2.2 Pegmatitter

Enkelte Na-rike pegmatitter i Bamble-Arendal regionen er rutilførende. Rutilgehalten kan i dm-1/2m store partier komme opp i over 5%, men er gjennomgående lavere. Forekomststypen har liten økonomisk interesse. Følgende forekomst er befart:

**HAUKÅSEN:** Forekomsten består av en apatitt- og rutilførende Na-rik, 2-3m mektig pegmatitt i en glimmergneis. Det er drevet en liten stoll mot øst og røsket i flere mindre pegmatitter i området. Rutil opptrer som opptil flere cm store klyser i en grov pegmatittvariant og som finkornig (<3mm) disseminasjon i en finkornigere variant av pegmatitten.

### 4.2.3 Metasedimenter

Rutil opptrer i en rekke cordierittførende metasedimenter (gneiser) i Bamble-Arendal regionen med gehalter på 1-2 vol.%, lokalt forekommer gehalter på 2-5 vol.% rutil (Kihle 1989, pers.medd. 1991). Stedvis opptrer rutil sammen med zirkon, monazitt, ilmenitt og apatitt som bånd i cordieritt-gneisen. Dette indikerer at mineraliseringen representerer en tungmineralanrikning i den opprinnelige sedimentære bergarten.

Denne type forekomst er interessant fordi det er en mulighet for store forekomster. I verdensammenheng er sedimentære rutilforekomster (umetamorfe) de eneste som er i drift i dag. Slike forekomster kan ha betydelig størrelse (strand-sand avsetninger), men er ofte lavgehaltige, med ilmenitt, monazitt og zirkon som mulige biprodukter.

Aktuelle biprodukt-mineraler er monazitt, zirkon og apatitt fra det opprinnelige tungmineralselskapet, cordieritt og muligens også ortopyroksen (gedritt) fra det metamorfe mineralselskapet. Disse mineralene blir nærmere diskutert i Kap.5. Prøvetatte lokaliteter er:

**SANNIDAL:** I en ca 200m lang veiskjæring ved E18 opptrer flere varianter av en rutilførende kvarts-cordieritt-flogopitt-ortoamfibol(gedritt) gneis. Forekomsten er påvist av Kihle (1989) og er tolket å være et kvartsittisk til pelittisk sediment som har gjennomgå granulittfacies metamorfose ved relativt lavt trykk, for senere å retrograderes. Forskjellige varianter av denne forekomsttypen en rekke steder i Bamble-Arendal regionen er beskrevet av Kihle (1989).

**GJERSTADVATNET:** I blotninger langs stranden av Gjerstadvatnet opptrer rutilførende metasedimenter av samme type som beskrevet ovenfor.

**ØDEGÅRDEN (Lok. KB37a.91):** En liknende bergart som ved Gjerstadvatnet opptrer i en 5-10m mektig sone noen hundre meter syd for Ødegården rutil-apatitt forekomst. Rutilgehalten er 3-3%.

### 4.2.4 Ødegården rutil-apatitt forekomst

Forekomsten består av en rutilførende skapolitt-hornblende bergart som gjennomsettes av opptil 1m mektige soner med flogopitt, enstatitt og apatitt. Brøgger (1934) kalte skapolitt-hornblende bergarten ødegårditt og beskrev den som et metasomatisk omvandlingsprodukt dannet ved at Cl-rike løsninger har skapolittisert plagioklasen i en gabbroid bergart. Ødegårditten består hovedsakelig av skapolitt, en jernfattig hornblende og rutil (1-4%). Området er kartlagt av Ryan (1966) og Brickwood (1980).

Ødegårditten opptrer langs en NØ-SV sone med relativt ujevn avgrensning til den omkringliggende metagabbro/amfibolitt (Fig.17). Den gjennomkjæres av en rekke apatittrike flogopittsoner. Apatitt fra disse soner var i rundt århundreskiftet gjenstand for en etter datidens målestokk betydelig gruvedrift (Brøgger 1934). Forekomsten inneholder også mindre partier/soner med albititt.



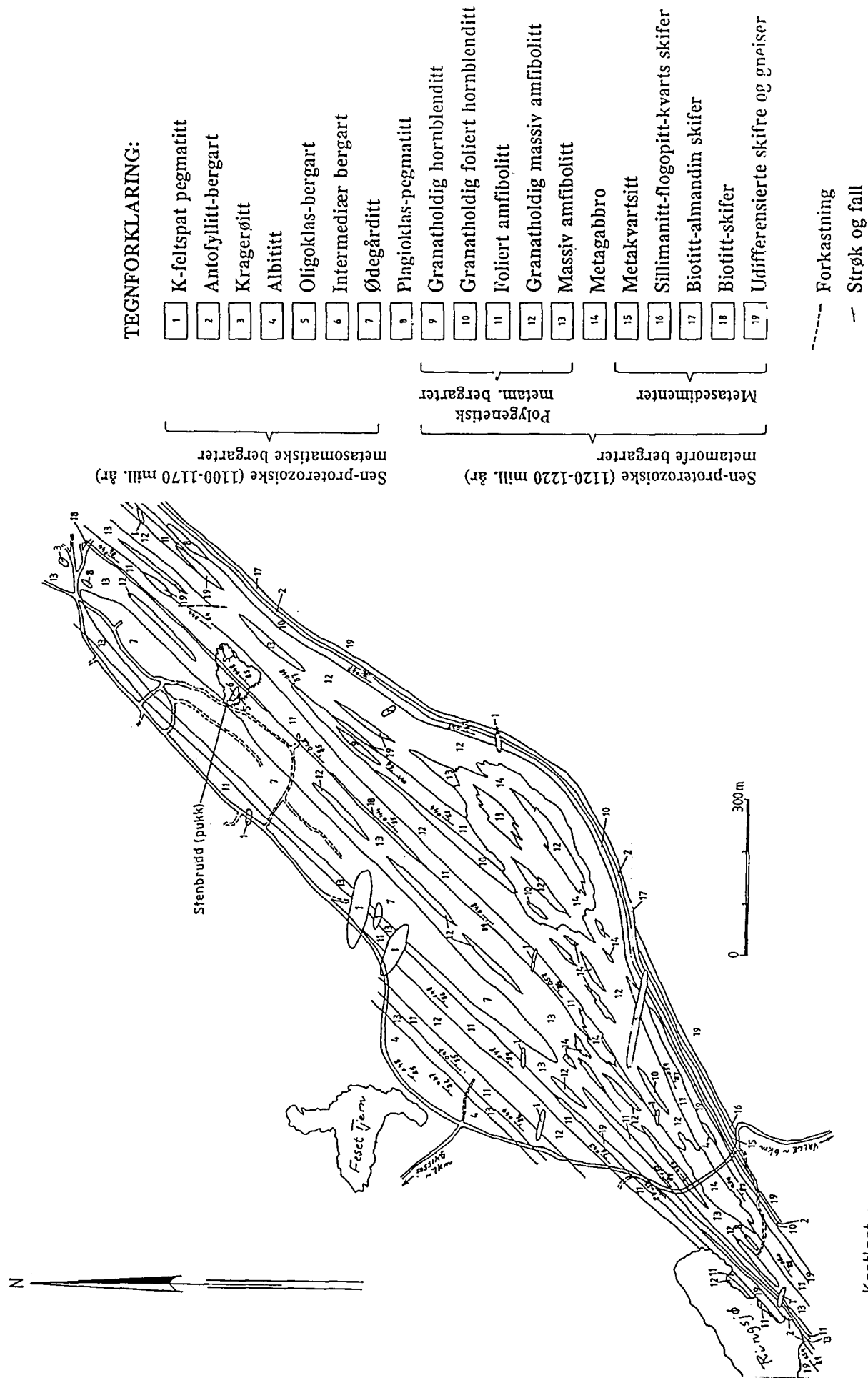


Fig.17: Geologisk detaljkart over Ødegården-området (etter J.Brickwood 1980).

De geologiske relasjoner antyder at forekomsten er dannet gjennom flere geologiske episoder: (1) Gjennomstrømming av Cl-rike løsninger trolig langs en stor skjærsone i metagabbro/amfibolitt forårsaket en omfattende skapolittomvandling av bergarten. Under denne prosessen ble jern transportert ut av systemet (trolig som FeCl), plagioklas ble omvandlet til skapolitt, mørke mineraler som pyroksen og en jernrik hornblende til en jernfattig hornblende og ilmenitt til rutil.

(2) Deretter har en ny episode med hydrotermale løsninger strømmet langs svakhetssoner i den allerede skapolittomvandlede bergarten (ødegårditt) og har avsatt flogopitt-apatitt mineraliseringen.

(3) En senere hydrotermalepisode, denne gang med Na-rike løsninger, har gitt albittisering av ødegårditt i smale, uregelmessige soner.

Borkaksprøvetraking over forekomsten og sidebergart (1990) viser at rutilgehalten varierer fra 0 til ca 4%, med gjennomsnitt i størrelsesorden 2%. Analyseresultatene fra borkaksprøvene framgår av Fig.4. Forekomsten vil bli detaljert beskrevet i en særskilt rapport.

Forekomstens utgående er i størrelsesorden 100.000 m<sup>2</sup>. regnet ned til 100m dyp vil dette tilsvare en forekomststørrelse på 27 mill. t. Gjennomsnittlig rutilgehalt i borkaksprøver er 1.46% rutil. Ca. 1/3 av prøvene representerer sidebergart (metagabbro/amfibolitt) uten nevneverdig rutil. Gjennomsnittlig rutilinnhold i ødegårditt er trolig ca. 2%.

Det er laget et rutilkonsentrat som har et CaO-innhold på 0.39% (Tabell 5). Dette er såpass mye at det er rimelig å forvente at det, ved en eventuell drift, vil bli problemer med å produsere et rutilkonsentrat med tilstrekkelig lavt CaO-innhold (under 0.2% CaO). Dette gjør forekomsten mindre attraktiv m.h.p. rutil.

Undersøkelsen av forekomsten er ikke kommet langt nok til at det kan gis noen god vurdering av de økonomiske muligheter. Forekomsten vil bli beskrevet i større detalj i en senere rapport.

Tabell 6: Representativ kjemisk sammensetning av ødegårditt, albititt og metagabbro/amfibolitt fra Ødegården.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	Rutil
Metagabbro	47.80	12.42	13.85	2.70	3.51	8.26	4.34	.87	.14	.85	.68	.16
Ødegårditt	48.50	15.61	4.25	2.96	6.51	9.25	6.89	.43	.02	.50	2.33	2.45
Albititt	68.77	17.35	1.12	.27	.63	2.43	11.37	.12	.01	.13	.10	.03

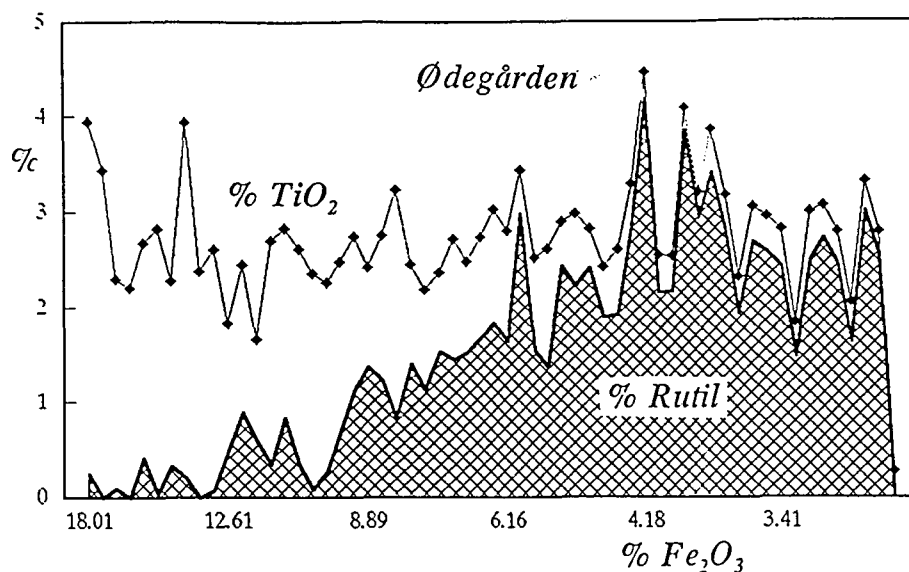


Fig.14: Grafisk presentasjon av rutilgehalten i borkaksprøver fra Ødegården. Prøvene er sortert etter minkende jerninnhold.

## 5 ANDRE MINERALPRODUKTER

En rekke rutilforekomster inneholder mineraler som kan tenkes å kunne utnyttes som biprodukt ved eventuell rutilproduksjon. For eklogitter gjelder dette granat og tildels også kyanitt og apatitt. Enkelte eklogitter har i tillegg gode egenskaper som forbygningstein, pukk eller naturstein. Cordieritt, flogopitt og muligens også gedritt er aktuelle som bi-produkter ved eventuell rutilproduksjon fra rutilførende metasedimenter (cordieritt-gneiser) i Bamble-Arendal regionen.

### 5.1 Granat

Granat [ $A_3B_2(SiO_4)_3$ ; på A-plass kan inngå Ca, Mg, Fe<sup>2+</sup> og Mn<sup>2+</sup>; på B-plass kan inngå Al, Fe<sup>3+</sup> og Cr<sup>3+</sup>] er en vanlig bestanddel i mange bergarter, men relativt få forekomster egner seg for kommersiell utnyttelse.

Granat brukes til forskjellige formål som benytter seg av mineralets hardhet og sliteegenskaper. En mindre, men økende mengde brukes i filtermedia. Mest anvendt er granattypen almandin med hardhet mellom 7 og 8, men kommersielle produkter kan omfatte også andre granattyper og kan inneholde andre mineraler. Markedet er delt i to hovedkategorier - høykvalitetsgranat med høy pris, og produkter av vesentlig lavere kvalitet med lavere priser.

U.S.A. dominerer verdensproduksjonen av høykvalitetsgranat, og den desidert betydeligste leverandør er Barton gruve i New York. Forekomsten er en metamorf hornblende-granat bergart hvor granaten opptrer som store subhedrale krystaller bestående av en blanding av almandin (Fe-Al-granat), pyrop (Mg-Al-granat) og også litt grossular (Ca-Al-granat). Granaten fra denne forekomsten har eksepsjonelle egenskaper, med hardhet 8 (vs. 7 for glass) og en latent spaltepandeling som gjør at selv etter meget fin nedmaling, består pulveret av skarpe flisaktige korn. Produktet brukes til sliping av halvlederkomponenter og glass (inkludert optisk glass) og til

slipebelegg på papir og duk til pussing av møbler og andre materialer.

Størstedelen av granatforbruket går til anvendelser hvor kvalitetskravene er vesentlig lavere. Mye av produksjonen i denne kategori er utvunnet fra forekomster av sand og grus, delvis som bi- eller ko-produkt fra drift på andre tungminerale. Det meste går til sandblåsing i petroleumsindustrien og overflatebehandling i fabrikasjon av transportmidler (kjøretøyer, jernbanevogner, skip, fly). Et viktig moment forbundet med bruk av granat til sandblåsing i stedet for silikasand er at granat ikke medfører silikosefare. Den har også større egenvekt (3.7-4.0 g/cm<sup>3</sup> mot 2,65 for kvarts), og bruker dermed mindre energi i forhold til effekten.

Den eneste andre anvendelse av betydning for granat er til filtermedia i vannrensing, et marked i vekst. Andre anvendelser er av liten betydning, men det er tiltagende interesse for bruk av granat til vann-jetskjæring.

Markedet for granat er relativt beskjedent, men stigende. Utviklingen i produksjon de siste 25 år kan resymeres slik: Mellom 1966 og 1978 varierte produksjonen noe opp og ned men i gjennomsnitt lå den på rundt 22.000 t/år. mellom 1979 og 1986 steg den fra 30.000 t/år til 45-50.000 t/år, lå på 80.000 t/år i 1987, 95.000 t i 1988 og 1989, og 96.500 t i 1990. I begynnelsen av 25-årsperioden var USA's andel av totalen ca. 95%, men sank gradvis til 65% i 1986, 48% i 1987 og 45% i de påfølgende år fram t.o.m. 1990. Denne trenden reflekterer ikke reduksjon i USA's produksjon (som i 1990 lå på vel 44.000 t vs. 20.000 t i 1966) men en sterk økning i India, Australia og Kina fra ubetydelige tonnasje til nå tilsammen over halvparten av totalen. I 1990 sto disse land for henholdsvis 18.8%, 15.0% og 18.8% av verdens produksjon, hvor det meste ble solgt til Japan og andre industriland i Øst-Asia. Europa har ingen produksjon.

Verdens reserver av granat, utenom Kina, er anslått til 13 mill. tonn, hvorav det tidligere Sovjetunionen og USA er størst med 5 mill. tonn hver. Inklusive økonomisk marginale tonnasje er totalreserven, utenom Kina, anslått til vel 60 mill. tonn. Reservene i Kina er betegnet som moderate til store.

Granatprodukter varierer sterkt i pris avhengig av kvalitet - for 1990 fra \$60 til \$2000 pr. tonn (kr. 390 - kr. 13 000,- etter kurs 6,50). De fleste produsenter driver på forekomster som gir produkter begrenset til den lavere kvalitetskategori - sandblåsing og filtermedia. Veiledende pris for et godt produkt i denne kategori er granat fra Idaho, som er utvunnet fra grus: Pr. mars 1991 \$215-280 pr.t. (ca. 1400-1800 kr./t.).

I rutilundersøkelsene på Vestlandet er granat gitt relativt stor oppmerksomhet fordi den utgjør 20-40% av eklogittbergarten. Produksjon av granat i tillegg til rutil kan være en mulighet for visse forekomster.

## 5.2 Apatitt

Mineralet apatitt [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3\text{OH})(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl}, 1/2\text{O})$ ] er den viktigste bæreren av fosfor (P) i jordskorpa. Fosfor er et helt nødvendig næringsstoff for plante- og dyreliv.

Apatitt finnes i små mengder i en rekke bergartstyper. Mineralet er på grunn av sitt fosforinnhold råstoff for fosforsyrer, fosfater og tilskudd i kunstgjødsel. På verdensbasis går ca. 90 % av all fosfor til kunstgjødselindustrien. Resten benyttes til metallurgiske formål, i vaskemidler, dyrefor, tannlegemidler, drikkevarer, insektmidler osv.

Apatitt fra eklogittbergarter har lavt innhold av spormetaller og er i så henseende attraktiv m.h.p. landbruksformål. Imidlertid er apatitt et typisk lavverdi-mineral og gehalter på 1 til 4-5% apatitt, som er vanlig i eklogittforekomstene, er for lite til at apatitt kan få noen vesentlig betydning i biprodukt-sammenheng.

Apatitt fra Ødegården-forekomsten i Bamble inneholder Y og sjeldne jordartsmetaller. Hvilken betydning dette kan få for apatittens verdi er i øyeblikket ukjent. Apatittinnholdet er imidlertid lavt, uten at en sitter inne med eksakte opplysninger i denne sammenheng. Apatitt vurderes å få relativt liten betydning for den samlede vurderingen av forekomsten.

### 5.3 Kyanitt

Kyanitt ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) er et mineral som gjerne opptrer som blålige lange stengler i en rekke metamorfe bergarter. To andre mineraler med samme kjemiske sammensetning er sillimanitt og andalusitt. Sammen går de under fellesbetegnelsen sillimanittmineraler. Av disse er kyanitt det viktigste i industriell sammenheng.

Mineralene kjennetegnes ved at de har et høyt innhold av aluminiumoksyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), og at de tåler meget høye temperaturer. Derfor brukes mineralene mye i ildfast stein i smelteovner. Ca. 80 % av verdensproduksjonen brukes til dette formålet. Ellers brukes de til framstilling av elektrisk og teknisk porselen, som dekkmaterialer for sveiseelektroder, isolasjonsmateriale i tennplugg og i keramiske fliser. Mineralene har også flere ganger vært vurdert som en mulig aluminiumskilde, men har hittil ikke klart å konkurrere med bauxitt på dette området.

Drøsdal eklogittforekomst i Sogn og Fjordane inneholder 5-20% kyanitt over et utgående på i størrelsesorden  $1 \text{ km}^2$ . Forekomsten er følgelig av formidabel størrelse, men er fattig på rutil. En mulighet er at utnyttelse av kyanitt og granat (20-30%) kan kombineres og gjøre forekomsten økonomisk attraktiv.

### 5.4 Glimmer

Glimmer ( $\text{K}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) er en fellesbetegnelse på en samling flakmineraler med varierende innhold av Al, Mg og Fe., men liknende krystallstruktur og fysiske egenskaper. Mineralene er vanlig i nær sagt alle typer bergarter.

Felles for alle glimmervariantene er deres enestående gode spalteeenskaper som gjør at de kan spaltes i ekstremt tynne flak. De er bøyelige, har stor mekanisk styrke, er gjennomskinnelige, tåler høye temperaturer og er lite kjemisk reaktive.

I produksjonssammenheng skilles det mellom to typer glimmer: (1) *Plateglimmer* (muskovitt;  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ). Det brukes til isolasjonsmateriale i produkter som utsettes for ekstra høye temperaturer (strykjern, lysrør, tennplugg, elektriske måleinstrumenter, transformatorer, sikringer, etc.). Forbruket av plateglimmer har avtatt drastisk de siste årene.

(2) *Malt glimmer* (muskovitt og tildels flogopitt ( $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ) er et industriprodukt som produseres ved at en bergart knuses, males og oppredes i et anlegg. Denne typen har i motsetning til plateglimmer hatt en mer positiv markedsutvikling. Våtmalt og mikronisert glimmer anvendes som smøremiddel og antiklebestoff i maling, plast og gummi, og i tapeter hvor glimmeret gir overflaten en sølvglinsende effekt. I maling vil glimmerplatene legge seg parallelt med malingen, slik at de danner et beskyttende lag mot kjemiske angrep og solstråler. Det brukes også i sement for å gi betongen en glatt overflate.

Prisene varierer for de forskjellige kvalitetene og produksjonssteder fra £90 til £600 pr. t. (900 - 6.000 kr) (Industrial Minerals, sept. 1991).

En mulig framtidig anvendelse av glimmer (biotitt og flogopitt) er som jordforbedringsmiddel i landbruket (K- og Mg-kilde). Dette kan være aktuelt for de rutilførende metasedimenter i Bamble-Arendal regionen som tildels inneholder 10-30% flogopitt (/ biotitt).

### 5.5 Cordieritt

Cordieritt ( $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ) er vanlig i høy-temperatur metamorfe pelittiske sedimenter, ofte sammen med antofyllitt (gedritt). Mg-rik cordieritt har smeltepunkt på  $1465^\circ\text{C}$  og tåler termiske sjokkbelastninger meget godt. Det blir benyttet til diverse keramiske formål. Det meste av den cordieritt som er på markedet er laget syntetisk. I praksis er naturlig cordieritt relativt uren og har av den grunn begrenset industriell anvendelse.

Rutilførende metasedimenter i Bamble-Arendal regionen inneholder 10-20% cordieritt med varierende renhet. Spørsmålet er om cordieritt fra disse forekomstene kan produseres i gode nok kvaliteter til å bli salgbar. I så fall representerer disse forekomster en betydelig ressurs av rutil,

cordieritt og flogopitt/biotitt (se ovenfor).

## 5.6 Naturstein

Som naturstein regnes blokkstein og skifer. Dette er bergarter som brytes ut av fjellet og formes til blokker og plater for bruk til bygningsfasader, innvendige gulv og vegger, og til diverse utsmykningsformål.

Produksjonen av norsk naturstein er økende. Ca. 95 % av all blokkstein som produseres går til eksport. Årlig eksportverdi ligger på rundt 300 mill. kr.

Så godt som all eksport består av ubearbeidet blokk. I og med den økende etterspørselen etter dimensjonert naturstein (flis o.l.), ligger det her en stor utfordring for norsk steinindustri. Men det er store problemer med å komme inn på de store markedene og konkurrere med innarbeidede selskaper.

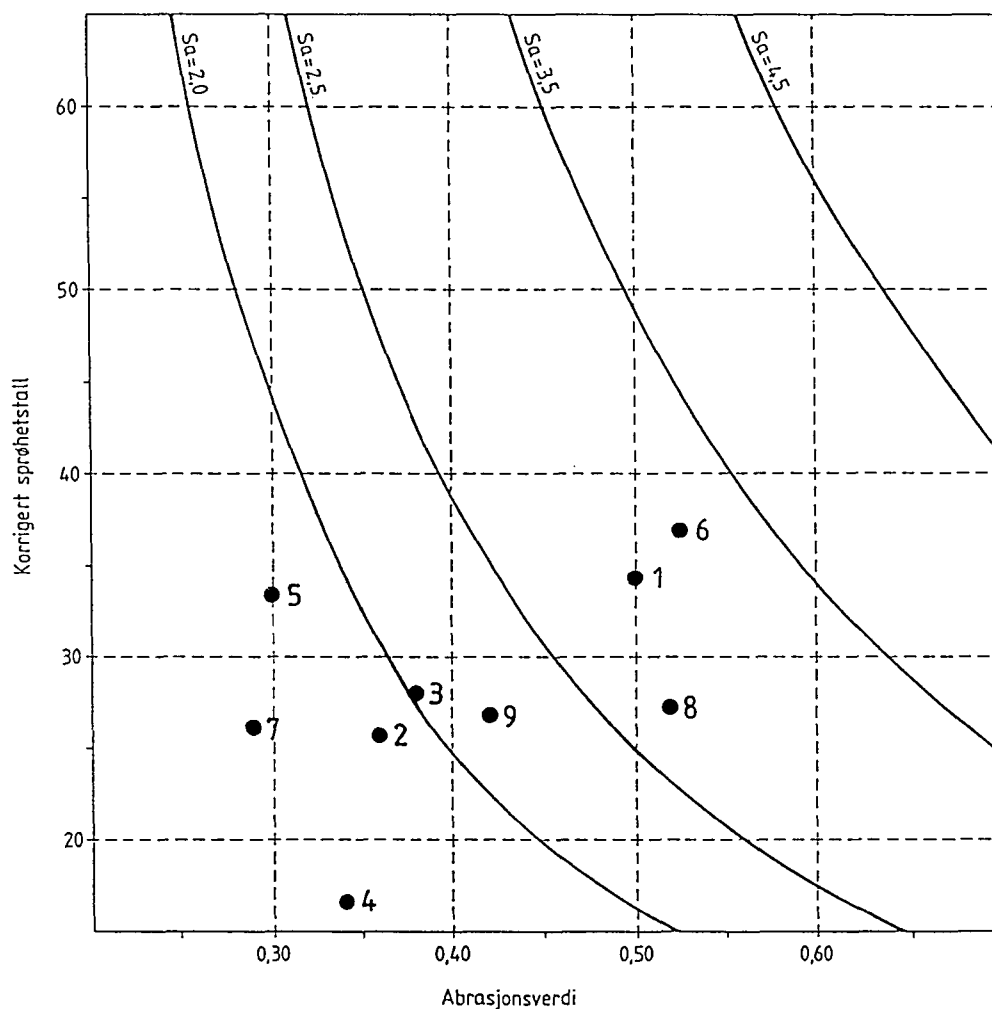
Ved Gjølanger i Sogn og Fjordane ble det i 1991 satt igang drift på en (rutilførende) eklogittforekomst m.h.p. naturstein.

## 5.7 Pukk

For at en bergart skal være brukbar til pukk ved veibygging, kreves gode slitasje-egenskaper. Basiske bergarter som gabbro og amfibolitt har ofte de beste egenskaper for norske forhold. I land hvor en ikke benytter piggedekk stilles andre krav enn i Norge, og en rekke bergarttyper kan være anvendbare. Pukk-produksjonen i Norge går hovedsakelig til innenlands forbruk.

Ut fra norske kvalitetskrav har visse eklogittforekomster meget gode pukkeegenskaper og kan brukes i slitasjedekker på de mest trafikkerte veier. Slitasjemotstand for diverse prøvetatte eklogittforekomster er vist i Fig. 17. Alle prøver med slitasjemotstand bedre enn 2.0 er meget bra. Ulempen er imidlertid at eklogitter er mørke\* (lyse bergarter er ofte mere etterspurt) og tunge bergarter (sp.v. 3.1-3.6). Den høye egenvekten gjør at transportutgiftene øker, som er en betydelig ulempe.

\* Eklogittiserte anortositter (prøve 2, 4 og 5 i Fig.17) er imidlertid relativt lyse som eklogitt betraktet og har også noe lettere enn andre eklogitter (henholdsvis sp.v. 3.1-3.2 og 3.3-3.6) og kan være attraktiv som pukk. Disse eklogittbergarter har en tendens til å opptre i breksjeaktige vekslinger med lyse granulittiske anortositter på Holsnøy. En mulighet er at slike eklogitt/granulitt områder kan brytes til pukk som består av fragmenter av eklogitt og svært lys granulitt.



Sa-verdi	Klassifisering
< 2,0	Meget god
2,0-2,5	God
2,5-3,5	Middels
3,5-4,5	Svak
> 4,5	Meget svak

Rangering etter Sa-verdi

## SLITASJEMOTSTAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

INGENIØRGEOLOGI

Fig.19: Slitasjemotstand for eklogittforekomster i Hordaland og Sogn og Fjordane. Prøvene fra Hordaland er: Husebø (1), Ådnefjell (2 og 4) og Odland (5). Prøvene fra Sogn og Fjordane er: Drøsdal (6), Gjøllanger (7), Kvammen (8), Kroken (9). Prøvene fra Ådnefjell og Odland (2,4 og 5) er eklogitt dannet fra anortositt. De øvrige prøvene er eklogitt dannet fra forskjellige basiske bergarter.

## 5.8 Forbygningstein

Forbygningsstein brukes ved bygging av moloer, diker o.l. Når det gjelder slitasjeegenskaper, er kravene her lignende som for pukk. I tillegg må bergarten være lite oppsprukket slik at stor, massiv blokk kan tas ut, og egenvekten må være høy. Eklogitt er absolutt en aktuell bergart i denne sammenheng. Prisen for forbygningsstein er vesentlig høyere enn for pukk og den vil derfor bedre tåle transportutgiftene til utenlandske markeder.

I 1992 vil det bli satt igang produksjon av forbygningsstein (inntil 500.000 t. pr år) og pukk (småblokker som ikke kan selges som forbygningsstein) fra Engebøfjellet eklogittforekomst i Naustdal kommune, Sogn og Fjordane. Denne forekomsten, som også er en rutilforekomst, blir nærmere omtalt i Kap. 4.

## 6 PROSPEKTERINGSMETODER

*Geologi:* Den rutilprospektering som hittil er utført i Norge har vært av rekognoserende natur ved at det er gått profiler i terrenget mens en har lett etter rutilførende eklogitter. Kun i deler av Sunnfjord, Gulen og Holsnøy er det foretatt systematisk rutil-leting. I de øvrige aktuelle områder på Vestlandet og i Bamble-Arendal regionen har en kun foretatt befaringer av tidligere kjente lokaliteter. Meget store områder med mulige rutilforekomster har således unngått systematisk letevirsomhet. Når en i tillegg tar i betraktning at noen få % rutil er lite iøynefallende enten det er i eklogitt på Vestlandet eller i metasedimenter/gneiser i Bamble-Arendal regionen, er det store muligheter for at økonomisk meget interessante rutilforekomster ikke er oppdaget. Rutilforekomster assosiert med eklogittbergarter vil trolig være enklere å påvise enn rutilforekomster tilknyttet gneisbergarter, hovedsakelig fordi eklogittbergarter er karakteristiske bergarter som er rimelig godt kartlagt i Norge.

*Systematisk prøvetaking* er en velegnet letemetode etter rutilmineraliseringer i større forekomster eller veldefinerte mindre områder som en ut fra andre metoder vet inneholder eller har gode muligheter for å inneholde rutilmineraliseringer. Denne metoden som er god, men kostbar og arbeidskrevende, er benyttet ved undersøkelsen av eklogittforekomstene Husebø, Drøsdal, Fureviknipa, Engebøfjellet og av Ødegården-forekomsten (skapolitt-hornblende-bergart).

Det er ved disse undersøkelser tatt knakkprøver, borkaksprøver v.h.a. en bærbar boremaskin og utført  $\text{TiO}_2$ -analyser direkte på fjell med et bærbart XRF analyseinstrument. Borkaksprøvene har vist seg å gi de mest representative og beste resultater.

*Analyser.* Kvantitativ bestemmelse av rutilinnhold i bergartsprøver er utført ved punkttellinger av slip og ved en kjemisk analysemetode hvor rutilinnholdet er representert som differansen mellom  $\text{TiO}_2$  (XRF) og  $\text{TiO}_2$  (ICP; HCl-løst). Den siste metoden har vist seg å være mest pålitelig fordi knuste knakkprøver og i enda større grad borkaksprøver, representerer en større og mere representativ prøve enn tynnslip. I rutil analyseprosedyren inngår samtlige hovedelementer (XRF) og en rekke sporelementer (ICP). For visse forekomster og bergarter er det i tillegg utført XRF sporelement-analyser og i noen tilfeller også neutronaktivering sporelement-analyser. Det foreligger derfor et stort analysemateriale for de respektive forekomster og bergarter.

*Magnetometri* er benyttet i detaljundersøkelser på bakken av Husebø rutilforekomst (eklogitt) på Holsnøy og av Ødegården rutilforekomst (skapolitt-hornblende bergart) i Bamble. Metoden er



relevant i de tilfeller hvor en har en klar kontrast mellom rutilmineralisert og ikke-rutilmineralisert bergart. På Holsnøy er det en tendens til at magnetfeltet øker over rutilanrikede bergarter fordi disse samtidig også er anrikt på ilmenitt (svakt magnetisk). Ved Ødegården er situasjonen motsatt; magnetismen avtar over den rutilmineraliserte bergarten fordi denne har lavere ilmenittgehalt og er fri for magnetitt.

Magnetometriske helikoptermålinger vil avgjort være en relevant prospekteringsmetode i områder hvor en vet at det er en korrelasjon mellom rutilinnhold og magnetisme. Dette gjelder i første rekke Holsnøy og Ødegårdenområdet i Bamble. For de øvrige områder med kjente rutilforekomster er sammenhengen med magnetisme for uklar til at denne metoden uten videre vil kunne anbefales.

*Radiometri* er ikke forsøkt benyttet. Analyser har vist at rutilførende skapolitt-hornblende bergarter ved Ødegården i Bamble har et noe høyere U-innhold enn de omkringliggende ikke-rutilførende bergarter. Radiometriske målinger, kombinert med magnetometri, kan derfor gi nyttig tilleggsinformasjon i leting etter den type forekomster.

*Fjernmåling*: Flybilder er benyttet i forbindelse med kartlegging av eklogittbergarter på Holsnøy og i Sunnfjord og Ytre Sogn. Det har imidlertid vist seg vanskelig å skille eklogitt fra de omkringliggende bergarter, og en har med denne metoden ikke hatt mulighet til å skille rutilrik eklogitt fra rutilfattig eklogitt.

Mere interessant er bruk av digitale satelittbilder (Landsat TM eller SPOT) fordi disse inneholder informasjon om den elektromagnetiske utstrålingen fra bakken også på andre bølgelengder enn synlig lys. Ved tolkning av digitale satelittbilder kan man i et billedbehandlingsanlegg filtrere bort effekter fra vegetasjon og en har i prinsippet en vesentlig bedre mulighet til å skille ut karakteristiske bergartstyper enn ved flybilder. Prøver av eklogitt og andre bergarter fra Holsnøy er undersøkt i laboratorium ved Fjernanalyaselaboratoriet ved Stockholms universitet. Dette har konkludert med at eklogitter fra Holsnøy i prinsippet kan skilles ut fra de omkringliggende bergarter rimelig lett, men at det trolig vil by på problemer å skille rutilrike fra rutilfattige eklogitter (G.Bax, pers. meddelelse 1990).

En vesentlig ulempe med Landsat og SPOT er at de kun henter sin billedinformasjon på noen få kanaler i det synlige og usynlige elektromagnetiske spektrum, samt at oppløsningen er dårlig, henholdsvis 30x30m og 20x20m. Dette er viktige grunner til at bruk av fjernanalyse i mineralressursundersøkelser ikke har fått særlig utbredelse. En trenger i praksis større oppløselighet og flere kanaler. Dette kan oppnås ved målinger fra fly med velegnede spektrometre. Med slik utrustning er det god mulighet til å kartlegge blotninger med eklogitt i relativt godt blottede områder på Vestlandet, og en vil også ha en god mulighet til å kunne skille Fe-rike (og samtidig Ti-rike) eklogitter fra Fe-fattige eklogitter.

I 1991 ble det i regi av Nansen Senter for Fjernmåling i Bergen fløyet et spektrometer testprofil over nordlige deler av Holsnøy. Hensikten var å få vite om denne metoden er egnet for påvisning av Ti-rike eklogitter. Måleresultatene er i øyeblikket ikke ferdig tolket.

## 7 ANBEFALTE VIDERE UNDERSØKELSER

VESTLANDET: Oppredningsegenskapene og rutilkonsentratenes kvalitet er avgjørende for hvorvidt rutilforekomster er utnyttbare. Å oppnå mere presis kunnskap om oppredningsegenskapene for enkelte allerede påviste forekomster har derfor høyeste prioritet. Den mest aktuelle forekomsten for videre oppredningsforsøk er Engebøfjellet ved Førdefjorden. Mineralkonsentrater fra denne forekomsten har lavt CaO-innhold, 95% av titanet i bergarten er

bundet som rutil og forekomsten er meget stor. Det er usikkert hvor alvorlig areal-/miljøkonflikten vil være ved en eventuell gruvedrift. Selskapet Norwegian Eclogite A/S setter i 1992 igang produksjon av forbygningsstein (inntil 500.000 t./år) fra den samme forekomsten. En mulighet er at rutil-produksjon kan forenes med denne produksjonen ved at det drives på forskjellige deler av forekomsten. Begge anvendelsene kan profitere på dette.

BAMBLE-ARENDAL regionen: Kunnskapen om rutilforekomster i metasedimenter i Bamble-Arendal regionen er svært mangelfulle. Den sedimentære forekomsttypen tilsier at det er mulighet for store forekomster fra hvilke det kan lages rutilkonsentrater med lavt CaO-innhold. Det er derfor berettiget å videreføre undersøkelsene og letingen etter nye forekomster inntil en får en rimelig god geologisk oversikt over denne forekomsttypens muligheter.

## 8 KONKLUSJON

Systematisk rutilprospektering er hittil utført i liten grad i Norge, og kun visse deler av områder som inneholder rutilførende eklogittbergarter er rimelig bra undersøkt, i første rekke Førdefjord- og Dalsfjordområdene i Sogn og Fjordane og Holsnøy i Hordaland. Forøvrig foreligger kun sporadisk informasjon om rutilforekomster og rutilførende bergarter.

Mulighetene for at det finnes mere attraktive forekomster enn de som allerede er påvist, ansees som gode.

I de videre rutilundersøkelser er det viktig å operere på flere plan, d.v.s. samtidig vurdere flere sett av faktorer. Det er for eksempel viktig at en ikke setter all innsats inn på å finne nye rutilforekomster uten at man samtidig (1) vurderer oppredningsegenskapene for de forekomsttyper en arbeider med, (2) vurderer kvalitetskriterier og markedsforhold for de mineralkonsentrater som kan tenkes produsert og (3) vurderer hvilke arealkonflikter en kan forvente seg i de forskjellige områder. *Betydningen av at de videre undersøkelser utføres av eller i samarbeide med kompetente industribedrifter kan neppe undervurderes.*

Professor Knut Sandvik's (NTH) oppredningsforsøk og teknisk/økonomiske beregninger på 1980-tallet i samarbeid med Norsk Hydro, antydte at det trengs omtrent 5% rutil over en forekomststørrelse på 10-20 mill. t bergart for at investeringene ved et nytt gruve- og oppredningsanlegg skal kunne nedskrives (K.Sandvik, pers. medd. 1991). Ut fra dette kravet er det ikke kjent drivbare rutilforekomster i Norge.

Etter undertegnedes oppfatning kan forekomster med 2.5-4% rutil bli økonomisk interessante hvis de (1) har lavt CaO-innhold (<0.2% CaO) i rutilkonsentrater, (2) har gunstige oppredningsegenskaper som gjør relativt rimelig oppredning mulig, (3) er av betydelig størrelse med mulighet for stor-skala drift i dagbrudd, og (4) at areal-/miljø-konflikten ved en eventuell gruvedrift ikke blir for stor.

Flere av de eksisterende forekomsttyper kan være økonomisk interessante hvis en kan kombinere rutil med andre mineralprodukter. Det er i den forbindelse interessant å legge merke til at rutil i verden i dag i stor grad produseres fra sandforekomster hvor andre mineraler som ilmenitt, zirkon og monazitt har økonomisk betydning som bi- eller koprodukter. Mineraler som kan tenkes produsert i store mengder som biprodukt til rutil fra norske forekomster er i første rekke granat fra eklogittforekomster, og cordieritt og flogopitt/biotitt fra rutilførende metasedimenter (cordierittgneiser).

I første omgang er oppredningsforsøk viktigst for å komme videre i forekomstutviklingen. Dette har da også fått høyeste prioritet når det gjelder anbefalte videre undersøkelser i Kap.7.

**Sluttkommentarer:** En rekke personer har deltatt i NGU's rutilundersøkelser. Stor takk rettes til følgende NGU-medarbeidere: H.Kalvøy, M.Ødegård, E.Høibråten, B.Søberg, U.Lysholm, R.Nilssen, T.Sivertsen, B.I.Vongraven og O.Muhle. Prosjektet har også hatt stor nytte av kontakt og diskusjoner med en rekke representanter fra industribedrifter, i første rekke Svein Parr (Stokke Industri), Ørnulf Valla (Tinfos Titan & Iron), Ragnar Hagen (Titania) og Roger McLimans (DuPont).

## 9 LITTERATURREFERANSER

- Brickwood, J.D. 1980: Scapolitization, Apatite Mineralization and Associated rocks at Ødegaardensverk, Bamble, South Norway. Unpubl. B.Sc. avh., Portsmouth Polytechnic.
- Brickwood, J.D. and Craig, J.W., 1987: Primary and reequilibrated mineral assemblages from the Sveconorwegian mafic intrusions of the Kongsberg and Bamble areas, Norway. *Norges Geol Unders., Bull.*, 410: 1-23.
- Bugge, J.A.W. 1943: Geological and petrological investigations in the Bamble-Kongsberg Formation. *Nor. geol. unders.* 160, 149 s.
- Erambert, M. 1991: Titanium in eclogites from the Western Gneiss Region. A compilation of published whole-rock data. NGU-rapport nr. 91.135, 35s.
- Erichsen, E. & Trønnes, E. 1988: Forprosjekt for undersøkelse av eklogitter i Sogn og Fjordane. NGU-rapport 88.066, 47 s.
- Force, E.R. 1991: Geology of titanium-mineral deposits. *Geol. Soc. America Special paper* 259, 112 s.
- Halvorsen, A. 1973: En malmgeologisk undersøkelse av rutilforekomster ved Lofthaug, Kragerø kommune. Diplom, NTH. 55 s. + bilag.
- Kihle, J. 1989: Polymetamorf utvikling av cordieritt-førende metapelitter i Bamble-sektoren, Syd-Norge. *Cand. scient.-avh., Inst. Geol., Univ. Oslo*, 193 s. + bilag.
- Korneliussen, A. og Foslie, G. 1985: Rutile-bearing eclogites in the Sunnfjord region. *Nor. geol. unders.* 402., 65-71.
- Korneliussen, A., Geis, H.P., Gierth, E., Krause, H., Robins, B. & Schott, W. 1985: Titanium ores: an introduction to a review of titaniferous magnetite, ilmenite and rutile deposits in Norway. *Nor. geol. unders.* 402, 7-23.
- Mancini, A. et. al. 1979: Valorization of new titanium resource; Titaniferous eclogites: Proceedings IV-15, 10th World Mining Congress, Istanbul, 19 s.
- Griffin, W.L. og Mørk, M.B.E. 1981: Eclogites and basal gneisses in Western Norway. Excursion guide, Uppsala Caledonide Symposium, 88 s.
- Osland, R., Rynning, M. og Skirstad, R. 1990: Vurdering av eklogittbergarter fra Holsnøy. Prosjektoppgave i faget malmgeologi, NTH.
- Ryan, M.,J. 1966: The geology of the area around Ødegaardensverk, South Norway. Unpubl. Ph.D.-avh., Univ. of Nottingham, 1966.
- Starmer, I.C. 1991: The Proterozoic evolution of the Bamble Sector shear belt, southern Norway: correlations across southern Scandinavia and the Grenvillian controversy. *Precambrian Research* 49, 107-139.
- Turekian, K.K. 1977: Geochemical distribution of elements, *in McGraw-Hill encyclopedia of science of technology*: New York, MacGraw-Hill, 627-630.

Bilag 1: Analyser av eklogitter og assosierte mafiske bergarter fra Holsnøy og Radøy i Hordaland. XRF-analyser på pressede prøver er merket \*. De øvrige prøver er XRF-analysert på smeltede prøver. Rutil er bestemt som differansen mellom  $TiO_2$  (XRF) og  $TiO_2$  (ICP; HCl-løst). Negative rutilverdier skyldes analysefeil. Prøver som ikke er ICP-analysert og rutilverdier ikke foreligger, er merket i.a. i rutilkolonnen. ICP-analysene er ikke vist i tabellen.

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
Knakkprøver 1988:											
B20.88	45.92	14.06	17.39	5.22	4.62	4.52	4.07	1.76	0.11	1.22	-0.79
B21.88	59.26	17.26	5.29	1.09	1.84	3.43	5.10	4.83	0.08	0.37	-0.09
B22A.88	48.55	14.20	13.04	2.93	4.28	6.14	4.47	1.71	0.15	2.17	-0.42
B22B.88	48.63	15.37	12.98	1.61	6.19	7.97	4.20	0.46	0.17	0.03	0.39
B23.88	45.38	11.04	18.59	4.95	5.63	6.29	2.96	1.99	0.17	2.80	-1.13
B24.88	50.85	24.10	3.72	0.20	3.63	10.61	3.99	0.44	0.05	0.05	0.15
B25.88	44.49	10.60	16.09	2.58	7.52	8.87	2.74	1.92	0.24	0.43	0.87
B26.88	46.57	10.79	15.72	1.93	8.47	9.11	2.67	0.65	0.26	0.31	0.99
B27.88	36.79	9.84	21.49	3.91	6.35	10.91	2.15	1.11	0.34	2.92	0.26
B28.88	51.10	13.03	11.83	1.89	6.48	7.52	4.69	1.54	0.15	0.25	1.19
B29.88	48.53	12.94	13.20	3.10	5.25	6.18	4.11	2.17	0.14	1.73	0.98
B30B.88	38.37	10.27	25.03	9.25	7.86	7.07	1.88	0.78	0.14	0.05	5.81*
B30C.88	43.31	13.44	16.78	4.86	6.81	7.69	2.76	1.80	0.13	0.06	3.85*
B30D.88	48.25	13.42	15.65	5.29	5.59	6.25	4.40	1.54	0.09	0.04	3.57*
B31.88	46.91	10.47	14.67	2.90	6.04	8.09	3.21	1.86	0.19	2.04	-0.19
B32A.88	46.08	10.17	18.47	5.15	6.16	7.14	3.22	1.97	0.17	2.31	-0.60
B32B.88	41.99	11.11	18.28	2.68	7.14	9.01	2.55	0.75	0.26	0.47	2.14
B33A.88	44.68	10.50	17.63	2.74	7.37	8.72	3.44	0.62	0.24	1.15	1.76
B33B.88	45.48	11.65	16.75	2.40	7.46	8.65	3.38	0.77	0.26	1.22	1.13

\*: Prøvene B30B,C og D ble innsamlet fra Husebøforekomsten ved en rekognosering i området i 1988 og ble foranledningen til Husebø-undersøkelsen i 1989 og 1990.

Borkaksprøver 1979 (Korneliussen m.fl. 1990):

P1.29	49.25	15.26	12.96	3.78	5.17	6.91	3.95	1.78	0.09	0.04	i.a.
P1.44	38.13	10.81	24.02	10.65	6.35	6.52	2.24	1.01	0.13	0.04	"
P1.15	46.15	14.58	15.05	5.43	5.09	6.79	3.14	1.90	0.11	0.05	"
P2.1	43.71	15.13	16.98	8.73	4.47	6.32	3.19	1.28	0.10	0.04	"
P2.12	47.91	13.59	11.28	0.87	8.20	12.08	2.24	1.86	0.16	0.07	"
P3.4	44.59	14.64	16.80	4.05	6.62	9.57	2.71	0.75	0.21	0.24	"
P3.55	40.48	14.44	18.63	10.19	5.19	7.88	2.50	0.78	0.12	0.06	"
P4.6	46.38	14.32	14.49	1.35	9.10	9.64	3.17	0.50	0.19	0.24	"
P5.12	42.19	14.14	19.89	7.94	4.90	5.82	2.45	2.03	0.13	0.04	"
P5.28	44.50	17.13	15.63	5.86	4.43	6.14	2.58	3.05	0.10	0.05	"

Knakkprøver 1979 (Korneliussen m.fl. 1990):

KH1A	51.69	17.11	11.20	3.87	3.93	6.19	4.19	2.12	0.08	0.04	"
KH2A	45.49	15.87	15.79	5.84	4.62	7.51	3.20	1.42	0.13	0.04	"
KH2B	45.97	16.53	15.12	4.96	4.83	7.11	3.52	1.81	0.12	0.04	"
KH2C	46.11	15.87	15.42	6.41	4.60	7.26	2.71	1.88	0.10	0.04	"
KH3	49.54	13.79	15.42	4.73	4.30	5.76	4.22	1.53	0.15	0.03	"
KH4	47.77	16.09	14.37	6.06	3.87	5.98	3.90	1.92	0.09	0.04	"
KH8A	45.70	16.05	14.30	5.23	5.02	6.34	3.51	2.64	0.08	0.06	"
KH8B	44.68	14.65	18.27	8.27	3.98	5.58	3.73	1.15	0.10	0.03	"
KH10	45.19	14.78	17.04	5.72	5.86	6.94	3.76	0.81	0.16	0.06	"
KH9A	39.69	11.42	25.37	3.49	8.26	8.21	1.41	0.38	0.31	0.66	"
KH9B	44.43	15.15	17.62	2.36	5.81	8.68	2.89	0.97	0.23	1.52	"
KH9C1	32.27	6.12	37.53	5.47	9.42	6.90	1.06	0.17	0.25	0.42	"

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
KH9C2	34.68	9.01	32.65	4.61	7.83	7.52	1.44	0.45	0.29	0.88	"
KH9D	42.43	13.27	18.95	2.93	6.44	9.64	3.11	0.60	0.32	1.57	"
KH9E	43.78	15.25	17.71	2.82	5.36	8.54	3.19	0.88	0.32	1.87	"
KH9F	40.17	14.97	20.65	3.94	5.56	8.38	2.64	0.65	0.31	1.97	"
KH9G	43.58	14.44	19.30	2.31	6.03	9.46	2.76	0.78	0.22	1.19	"
KH9H	44.59	14.95	18.09	2.44	5.61	8.96	3.00	1.03	0.24	1.36	"
KH20	47.25	14.38	15.25	5.71	4.37	5.80	3.53	2.31	0.13	0.19	"
KH21	58.11	19.92	4.55	0.94	1.84	4.20	6.41	2.35	0.04	0.39	"
KH22	44.40	13.83	19.72	2.93	5.78	9.27	3.23	0.26	0.26	0.73	i. a.
KH23	48.68	16.64	15.12	1.60	5.72	8.12	3.64	0.66	0.17	0.04	"
KH24	44.77	13.23	18.64	3.12	6.32	10.17	3.29	0.44	0.37	0.31	"
KH25	44.89	12.85	18.20	3.21	6.39	10.74	3.36	0.53	0.32	0.26	"
KH26	49.58	15.32	14.78	2.40	4.98	7.17	3.45	1.46	0.19	0.75	"
KH27	45.89	14.83	18.75	2.44	6.31	8.62	3.20	0.21	0.26	0.21	"
KH28	49.99	15.22	15.20	1.56	6.93	7.95	3.41	0.54	0.20	0.06	"
KH7A	48.10	15.52	13.31	4.89	3.83	6.18	3.59	2.40	0.11	0.04	"
KH7B	40.88	13.82	19.27	10.59	4.52	7.38	3.11	0.36	0.15	0.04	"
KH12	44.84	15.97	17.57	2.63	7.48	10.34	2.13	0.05	0.22	0.03	"
KH13	48.92	24.74	4.52	0.13	6.22	11.16	3.21	0.16	0.05	0.02	"
KH14A	45.84	13.24	18.26	3.45	5.73	7.32	3.12	1.57	0.26	0.56	"
KH15	46.55	14.59	16.57	6.94	4.79	6.28	3.35	1.11	0.11	0.07	"
KH16	48.39	14.47	14.63	1.98	5.97	9.94	3.55	0.90	0.21	0.30	"
KH17	42.15	14.35	17.94	5.74	7.76	9.94	2.27	0.11	0.20	0.05	"
KH50A.89 <sup>a</sup>	8.32	3.13	41.00	32.03	1.60	1.32	0.61	0.43	0.18	0.38	3.56
KH50B.89 <sup>a</sup>	40.07	10.94	21.03	6.07	6.48	6.53	2.40	0.76	0.20	2.51	-0.27
KH51A.89 <sup>b</sup>	5.93	2.36	41.77	32.01	1.64	2.44	0.34	0.29	0.14	1.22	0.82
KH51B.89 <sup>b</sup>	22.78	7.96	31.67	20.89	2.31	2.78	1.95	1.03	0.14	0.17	0.21
KH51C.89 <sup>b</sup>	36.38	11.50	26.40	10.29	4.46	5.01	2.66	1.76	0.17	0.88	-0.14
KH52A.89 <sup>c</sup>	42.84	11.93	20.19	3.73	6.06	10.71	2.27	0.72	0.29	0.36	-0.12
KH52B.89 <sup>c</sup>	45.88	13.13	16.57	3.34	3.86	6.54	3.72	2.09	0.19	1.82	-0.18
KH52C.89 <sup>c</sup>	15.14	7.18	39.91	21.19	2.27	1.57	1.10	1.10	0.13	0.08	0.52
KH54D.89	45.29	13.24	17.04	3.93	6.20	9.94	3.44	0.20	0.22	0.22	3.13
KH55.89	43.99	15.93	16.34	2.50	7.00	8.30	3.33	0.41	0.32	0.22	1.28
KH57.89 <sup>d</sup>	40.45	13.60	18.13	7.38	7.13	11.27	2.11	0.03	0.15	0.08	6.89
KH58.89 <sup>e</sup>	41.54	14.09	20.67	5.03	6.45	10.78	1.95	0.17	0.24	0.06	4.17
KH59.89	36.98	13.52	22.70	4.13	8.58	8.46	1.64	0.21	0.17	0.05	0.78
KH60.89	41.58	14.53	21.30	4.26	6.25	8.72	2.14	0.19	0.27	0.06	0.71
KH61.89	43.24	14.98	16.70	2.71	8.92	10.90	1.72	0.06	0.25	0.30	2.47
KH62.89	39.61	11.60	22.92	8.73	7.10	8.99	1.82	0.08	0.20	0.04	3.26
KH63A.89 <sup>f</sup>	42.97	15.33	16.86	4.15	7.03	9.83	2.49	0.37	0.20	0.08	-0.32
KH63B.89 <sup>f</sup>	42.62	14.29	17.85	4.97	7.14	10.19	2.52	0.26	0.19	0.07	4.52
KH63C.89 <sup>f</sup>	43.34	14.74	15.98	3.21	9.05	10.77	2.05	0.35	0.19	0.07	2.55
KH63E.89 <sup>f</sup>	41.63	14.99	17.83	6.06	7.61	10.18	2.03	0.03	0.19	0.11	5.80

- a: KH50, Alverstraumen (UTM 925/227, Kbl. 1116.2). Prøve A: massiv ilmenittmalm. Prøve B: ilmenittimpregnert sidebergart til massiv ilmenittmalm.
- b: KH51, Lyseknappen (UTM 2898/67285, Kbl. 1116.2). Prøve A: rik ilmenittmalm. Prøve B: rik ilmenittimpregnasjon. Prøve C: ilmenittimpregnasjon i mangerittisk sidebergart til ilmenittmalm.
- c: KH52, Askeland (UTM 2887/67295, Kbl. 1116.2). Prøve A: Ilmenittimpregnasjon i mangerittliknende bergart. Prøve B: Ilmenittimpregnasjon i mangerittliknende bergart. Prøve C: rik ilmenittmineralisering i granatholdig amfibolittisk bergart.
- d: KH57, Buldrevika (UTM 2802/67244, Kbl. 1116.3). Ca 1m<sup>2</sup> stor blotning av rutilrik eklogitt i et område med eklogittisert anortositt som er relativt Ti-fattig.
- e: KH58, Buldrevika (UTM 2800/67247, Kbl. 1116.2). Prøve fra en 1m mektig sone med rutilanrikt eklogitt i et område med eklogittisert anortositt. En rekke rutilanrikede partier av mindre størrelse forekommer i området.
- f: KH63, Sätrevik (UTM 2814/67238, Kbl. 1116.3). Prøvene A,B,C og E er fra Ti-anrikede lag eller bånd av opptil ca. 5m mektighet i eklogittisert anortositt.

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
Knakkprøver 1990:											
K11.90	55.46	18.22	5.91	1.09	3.99	6.72	4.99	2.13	.07	.10	
K12.90	48.35	14.83	12.76	3.37	5.80	8.05	3.64	1.28	.12	.08	
K13.90	48.49	15.23	14.66	2.80	5.60	7.67	3.03	1.56	.17	.09	
K14.90	50.86	16.09	10.29	2.95	4.86	6.88	4.34	1.74	.09	.08	
K15.90	47.24	14.99	13.85	3.09	6.12	7.67	3.41	1.65	.15	.08	
K20.90	49.90	24.45	5.22	.24	4.18	9.95	3.88	.53	.07	.12	
K21A.90	51.05	16.93	9.68	1.20	7.65	8.99	3.44	.46	.14	.09	
K22A.90	49.37	18.20	8.00	.78	8.00	10.49	3.15	.62	.12	.08	
K22B.90	47.13	17.36	10.77	1.27	8.18	10.43	2.80	.41	.15	.09	
K23.90	38.70	19.10	26.84	3.48	4.87	7.61	1.03	.04	.17	.06	
K24B.90	47.57	16.26	14.63	1.71	6.13	9.20	3.29	.26	.16	.07	

## Borkaksprøver, Husebø 1990: (Korneliussen m.fl. 1991):

1	49.89	13.56	14.06	2.97	4.28	7.01	4.13	1.52	0.16	0.06	1.82
2	48.84	12.21	13.04	2.84	4.93	7.27	3.74	1.88	0.15	0.07	2.25
3	51.91	14.36	10.02	2.61	3.68	6.49	4.29	1.89	0.10	0.08	1.72
4	51.44	15.21	8.27	1.63	3.51	5.76	3.63	3.13	0.10	0.06	0.49
5	51.04	14.76	9.54	2.53	3.57	6.86	4.06	2.20	0.11	0.06	0.16
6	51.57	15.19	7.62	1.62	3.25	6.99	4.03	2.32	0.10	0.07	0.01
7	53.17	15.87	8.09	1.52	3.27	6.90	4.58	2.37	0.11	0.07	0.56
9	47.34	9.65	15.48	2.61	6.92	9.14	2.39	1.03	0.24	0.06	1.72
10	51.49	14.05	11.48	2.98	3.92	6.59	3.79	2.06	0.12	0.06	1.44
11	53.48	16.61	7.19	1.36	2.93	6.95	4.56	2.75	0.10	0.06	0.02
12	49.69	15.38	12.52	3.09	3.69	5.51	4.06	2.24	0.17	0.06	1.15
13	48.24	12.38	16.81	3.67	4.94	6.63	3.55	1.55	0.26	0.04	1.87
14	50.52	15.12	10.85	2.82	3.54	5.97	4.92	2.40	0.09	0.07	0.91
15	47.64	9.25	15.32	2.68	6.90	9.56	2.87	0.97	0.24	0.06	1.34
16	51.32	14.34	10.66	1.98	4.10	6.92	4.82	2.10	0.12	0.05	0.89
17	50.00	14.43	14.68	4.73	3.69	5.38	4.29	1.84	0.10	0.07	0.83
18	52.22	15.67	9.90	2.60	3.47	6.02	5.03	2.24	0.09	0.08	0.99
19	50.73	12.93	11.43	2.51	4.93	7.94	3.94	1.91	0.14	0.06	1.47
20	46.39	11.81	19.21	6.07	4.92	6.53	3.40	1.58	0.14	0.06	1.60
21	49.83	13.57	11.50	1.75	4.66	8.02	4.68	1.66	0.15	0.10	0.90
22	51.31	14.21	12.40	3.06	3.42	5.46	4.47	2.25	0.12	0.06	1.13
23	51.21	14.97	10.63	2.70	3.94	5.68	4.61	2.48	0.11	0.07	1.40
24	49.15	13.75	15.16	4.31	3.90	5.38	3.80	2.27	0.11	0.07	2.97
25	50.84	13.63	12.12	2.74	4.10	6.94	3.99	1.91	0.14	0.06	1.16
26	50.05	13.96	13.35	3.26	4.56	6.57	4.09	1.96	0.16	0.06	1.89
27	53.03	14.96	9.52	2.16	3.96	6.82	4.67	2.13	0.11	0.07	1.06
28	50.46	13.27	12.05	2.89	4.42	7.32	4.10	1.84	0.13	0.06	1.05
29	50.06	13.34	12.52	2.63	4.57	7.64	4.86	1.72	0.15	0.05	1.28
30	52.30	16.77	9.84	3.24	2.76	5.09	5.06	2.48	0.08	0.07	1.86
31	53.78	17.86	7.93	2.37	2.49	5.50	5.65	2.51	0.07	0.06	1.25
32	52.26	14.40	11.39	2.65	3.11	5.88	4.22	2.18	0.11	0.06	1.53
33	46.01	9.96	19.79	4.96	5.59	7.93	2.77	1.13	0.20	0.05	3.68
34	46.44	13.33	12.56	1.23	6.14	9.30	2.99	1.23	0.24	0.07	0.97
35	48.14	9.80	15.83	3.15	6.23	8.73	2.53	1.21	0.24	0.06	2.35
36	56.29	12.85	10.82	2.92	3.27	4.59	2.69	2.51	0.11	0.06	1.68
37	48.38	15.95	10.37	2.60	3.88	6.85	3.37	3.14	0.10	0.07	1.13
38	49.75	12.44	11.34	2.18	4.73	8.50	4.19	1.79	0.13	0.07	1.52
39	46.92	11.22	14.83	2.07	6.30	9.98	3.12	0.77	0.23	0.07	1.71
40	53.70	16.79	7.23	1.23	2.99	5.16	4.73	3.01	0.06	0.08	0.57

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
41	50.15	12.56	12.51	2.58	5.31	7.19	3.68	1.94	0.14	0.05	1.50
42	51.01	14.04	13.14	3.68	4.12	6.54	3.93	2.06	0.14	0.06	2.40
43	47.82	14.02	16.22	4.71	4.10	6.55	3.45	2.19	0.13	0.08	3.00
44	48.52	14.57	12.80	2.47	4.53	7.09	3.94	2.39	0.16	0.07	1.56
45	48.23	12.34	17.76	5.07	4.55	7.04	4.02	1.38	0.13	0.05	2.67
46	49.44	14.20	14.04	3.94	3.95	5.73	4.27	2.17	0.11	0.07	1.87
47	47.53	13.77	16.14	4.54	4.16	6.17	3.45	2.33	0.13	0.06	2.14
48	47.49	13.07	15.15	3.84	4.24	7.15	4.56	1.55	0.16	0.06	2.56
49	47.81	14.62	15.07	4.30	3.45	6.31	4.55	1.98	0.12	0.05	3.02
50	46.89	12.82	18.30	5.34	4.33	6.05	3.59	1.77	0.14	0.05	3.44
51	46.16	14.22	16.20	4.75	4.19	6.56	3.28	2.38	0.12	0.06	2.69
52	49.13	13.31	15.05	4.14	4.13	6.80	4.45	1.79	0.11	0.05	1.97
53	49.27	11.43	14.00	2.71	5.56	8.03	4.51	1.32	0.16	0.05	1.39
54	50.83	14.39	13.90	3.95	3.67	5.22	3.77	2.64	0.10	0.06	1.30
55	49.52	14.70	13.87	4.09	3.67	6.31	4.48	2.18	0.11	0.06	1.35
56	49.23	14.86	14.75	4.39	3.57	5.98	3.94	2.37	0.10	0.06	2.07
57	47.56	14.60	14.40	4.32	4.05	6.67	3.19	2.23	0.10	0.06	1.71
58	45.99	11.21	21.53	6.45	4.82	5.71	2.81	1.54	0.15	0.06	1.05
59	49.72	13.19	15.76	4.27	4.19	6.10	3.57	2.09	0.15	0.07	1.73
60	49.92	12.65	14.93	3.39	4.69	7.83	4.25	1.51	0.18	0.06	1.84
61	44.88	10.29	19.84	4.88	6.56	8.14	2.68	1.27	0.21	0.06	2.66
62	46.55	10.25	17.94	3.88	5.99	8.77	3.11	0.77	0.25	0.07	2.00
63	45.67	12.83	16.62	2.81	5.50	8.89	3.07	1.04	0.24	0.07	2.23
64	48.63	12.83	13.88	2.57	5.23	8.27	3.66	1.26	0.20	0.07	1.88
65	50.73	14.88	11.09	2.93	3.54	6.49	4.45	2.24	0.10	0.06	1.35
66	44.81	10.08	19.51	4.72	6.45	8.16	2.74	1.22	0.21	0.06	2.61
67	50.96	14.22	11.81	3.17	4.19	6.58	4.15	2.20	0.13	0.07	2.01
68	46.93	12.93	13.58	1.86	5.75	8.68	3.26	1.49	0.22	0.07	1.40
69	49.18	14.12	11.54	2.23	4.60	7.71	4.73	2.24	0.12	0.07	0.93
70	46.77	7.57	17.33	3.58	7.59	9.96	2.44	0.68	0.22	0.06	1.66
71	48.79	11.85	14.39	2.78	4.95	7.94	2.82	1.64	0.19	0.07	1.84
72	46.25	14.82	15.47	4.31	3.85	6.77	3.49	2.55	0.13	0.08	2.51
73	46.60	8.56	17.70	4.03	7.39	8.75	2.67	0.98	0.19	0.07	1.60
74	49.42	13.58	14.33	4.12	3.82	6.09	4.07	2.00	0.12	0.06	1.88
75	50.20	14.85	12.48	3.69	3.68	5.94	4.29	2.30	0.11	0.07	1.73
76	44.85	5.62	20.20	4.05	9.70	10.16	1.52	0.25	0.28	0.05	0.66
77	46.88	11.47	17.75	4.04	5.79	7.72	3.29	0.92	0.27	0.05	2.88
78	47.50	9.28	17.18	3.97	6.36	8.35	2.85	0.97	0.20	0.05	2.33
79	47.25	11.57	19.53	5.87	4.42	6.05	3.02	1.53	0.16	0.06	1.83
80	47.98	10.89	15.53	3.70	5.78	8.72	3.41	1.20	0.19	0.05	2.52
81	48.06	12.43	17.71	4.82	4.40	6.56	3.77	1.57	0.13	0.06	2.18
82	48.90	12.98	15.89	4.16	4.98	6.77	3.29	1.64	0.19	0.06	1.79
83	49.88	9.87	12.54	1.98	6.16	10.42	1.86	1.57	0.18	0.06	1.05
84	49.85	13.59	15.16	4.07	4.02	5.05	3.16	2.67	0.13	0.05	1.58
85	50.83	13.46	11.94	2.52	4.70	7.03	4.21	2.00	0.14	0.07	1.54
86	48.99	13.28	15.85	4.55	3.91	6.79	4.45	1.64	0.11	0.07	2.81
87	46.30	14.39	13.56	3.38	5.00	7.59	2.99	2.44	0.12	0.07	1.91
88	51.24	16.63	11.51	4.02	2.70	4.18	4.46	2.70	0.08	0.06	1.50
89	47.10	11.90	18.38	5.07	5.11	6.64	3.73	1.31	0.14	0.05	3.27
90	50.64	14.26	12.22	3.61	3.84	5.58	3.70	2.51	0.10	0.07	1.82
91	46.42	12.92	17.13	4.94	4.44	6.45	3.49	2.09	0.12	0.08	2.20
92	47.95	13.66	16.89	4.79	3.99	6.46	3.96	1.92	0.14	0.05	2.23
93	51.42	10.35	13.18	1.93	5.79	8.50	3.35	0.95	0.21	0.05	1.45
94	47.93	16.68	11.80	3.29	3.97	6.17	3.97	3.06	0.09	0.08	1.84
95	47.86	14.71	14.35	3.13	4.28	5.94	3.65	2.03	0.18	0.07	1.98
96	50.73	14.39	11.63	3.11	3.90	6.66	4.15	2.18	0.10	0.06	1.49
97	47.23	13.61	17.92	5.27	4.37	5.94	3.39	1.92	0.13	0.05	2.57
98	48.42	13.31	16.20	4.63	4.15	6.33	3.64	1.89	0.12	0.06	2.23
99	47.61	10.50	14.88	2.16	7.20	9.78	2.30	0.99	0.24	0.05	1.77
100	48.56	12.68	17.79	5.43	4.41	5.84	3.09	1.89	0.14	0.06	1.28
101	46.73	12.65	15.47	2.64	5.32	8.59	2.96	1.22	0.24	0.08	2.08
102	49.04	14.46	14.63	4.22	3.71	5.59	4.17	2.22	0.11	0.06	1.60
103	53.99	15.48	8.93	1.98	3.76	5.97	3.63	2.87	0.10	0.07	1.12
104	52.28	14.72	11.65	3.72	3.10	5.18	3.51	2.75	0.09	0.06	1.62
105	48.10	12.27	17.26	4.24	5.03	7.40	3.62	1.56	0.17	0.06	1.86
106	49.41	13.49	14.15	3.55	4.46	6.93	4.28	1.81	0.19	0.06	1.64
107	50.66	15.38	12.70	4.03	3.30	5.11	4.77	2.19	0.08	0.07	1.61

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
108	49.17	12.43	13.15	2.11	5.76	8.44	3.17	1.51	0.20	0.07	1.08
109	48.36	13.12	16.36	3.17	3.84	7.71	5.13	0.90	0.17	0.06	1.97
110	49.72	12.63	13.53	2.70	4.81	8.25	4.17	1.24	0.17	0.06	2.03
111	49.89	15.00	11.62	3.27	3.94	6.00	3.67	2.75	0.11	0.08	2.19
112	43.51	12.86	19.27	5.41	5.56	7.60	1.73	2.33	0.15	0.07	3.22
113	43.74	11.96	18.10	4.84	6.37	8.28	1.59	2.20	0.14	0.07	2.90
114	44.72	11.83	16.93	4.12	6.48	8.52	2.03	1.75	0.16	0.06	2.84
115	47.14	11.05	17.04	4.55	5.59	8.69	3.91	1.12	0.16	0.05	3.63
116	44.55	12.90	19.29	5.31	4.75	7.00	3.17	1.53	0.14	0.06	4.33
117	46.18	15.02	14.17	3.91	4.75	7.04	3.02	2.61	0.13	0.11	2.75
118	51.51	16.32	11.20	3.29	3.13	5.62	4.77	2.50	0.09	0.07	2.14
119	49.24	13.42	15.67	4.70	3.85	6.05	4.18	1.88	0.12	0.06	3.31
120	47.59	12.72	17.68	5.43	4.20	6.31	4.01	1.51	0.13	0.06	4.29
121	46.81	11.01	15.25	2.27	6.93	8.36	2.67	1.28	0.25	0.06	1.82
122	50.49	14.44	13.51	4.04	4.12	5.45	4.31	2.19	0.11	0.06	3.11
123	50.34	13.13	16.26	4.94	4.31	6.25	4.27	1.61	0.12	0.07	3.84
124	44.35	12.46	16.34	4.11	5.96	8.95	1.92	1.79	0.16	0.07	3.26
125	42.98	15.87	17.06	5.25	4.35	6.34	1.71	3.31	0.12	0.08	3.21
126	45.92	12.83	18.88	5.26	5.37	7.24	3.17	1.93	0.14	0.06	2.84
127	48.97	11.83	13.20	3.21	5.66	7.77	2.88	1.98	0.14	0.07	1.95
128	50.08	14.14	13.36	3.96	3.69	6.11	4.14	2.05	0.11	0.05	1.76
129	49.74	14.75	12.52	3.33	4.05	6.38	4.53	2.25	0.12	0.07	1.14
130	47.69	10.55	12.30	1.21	7.23	10.01	2.19	0.86	0.20	0.07	1.05
131	48.70	12.64	14.36	3.10	5.32	7.27	3.28	1.74	0.20	0.06	2.27
132	45.22	9.00	18.73	4.28	6.89	9.04	2.52	0.75	0.24	0.05	2.59
133	47.12	11.94	18.41	5.19	4.48	6.65	3.66	1.45	0.14	0.07	2.50
134	49.27	14.93	13.44	3.92	3.60	6.01	4.93	2.07	0.10	0.07	1.90
135	49.99	11.65	12.79	2.38	4.67	8.75	3.94	1.35	0.16	0.18	1.53
136	47.18	13.97	14.54	4.16	4.31	6.42	3.40	2.49	0.12	0.05	2.30
137	47.65	13.68	16.03	4.62	4.02	6.47	3.92	1.90	0.11	0.06	2.43
138	51.87	12.63	13.26	2.95	4.17	7.21	3.99	1.57	0.17	0.07	1.62
139	50.26	12.45	11.62	2.03	5.18	8.71	4.30	1.59	0.13	0.07	1.09
140	46.24	10.84	19.01	4.38	6.21	7.15	2.77	1.26	0.24	0.06	2.53
141	48.38	12.56	16.31	4.46	4.75	7.39	4.25	1.43	0.14	0.06	2.31
142	46.88	12.80	16.67	4.72	4.39	7.14	3.48	1.84	0.13	0.06	2.16
143	47.49	13.24	17.42	5.15	4.30	6.00	4.15	1.83	0.12	0.06	3.04
144	47.05	14.46	14.62	4.06	4.08	5.63	3.03	2.75	0.09	0.08	2.15
145	49.95	12.66	14.56	4.06	4.13	6.38	3.48	1.88	0.11	0.06	2.45
146	48.61	15.28	15.17	4.59	3.40	5.36	4.10	2.06	0.12	0.07	2.23
147	49.07	13.05	15.51	4.46	4.17	5.84	3.69	1.78	0.12	0.06	2.32
148	53.32	15.32	8.77	2.18	3.78	5.37	2.92	3.34	0.09	0.07	1.20
149	45.18	7.23	15.86	2.22	8.08	11.61	1.59	0.45	0.26	0.05	1.13
150	52.27	16.32	9.60	2.45	2.95	5.70	5.13	1.98	0.09	0.07	1.23
151	49.53	13.89	12.29	2.74	4.80	7.35	3.83	2.16	0.14	0.07	1.83
152	49.43	11.65	13.52	3.09	5.48	8.71	3.97	1.41	0.16	0.07	2.03
153	48.10	12.77	16.38	4.79	4.41	6.33	3.75	1.87	0.12	0.06	2.39
154	49.48	15.36	12.54	3.76	3.58	5.62	4.16	2.52	0.09	0.07	2.12
155	47.97	13.48	16.56	5.02	4.17	6.26	4.36	1.61	0.11	0.06	2.08
156	49.10	14.70	14.30	4.27	3.45	5.39	4.32	2.15	0.09	0.06	2.32
157	48.50	13.44	15.07	4.30	3.96	5.99	4.15	2.15	0.10	0.06	1.92
158	48.92	13.77	15.45	4.15	3.92	5.99	4.42	1.73	0.11	0.05	2.61
159	48.29	13.58	13.66	2.27	5.17	7.62	3.70	1.33	0.24	0.06	1.68
160	50.37	15.49	12.24	4.01	2.96	5.27	4.61	2.10	0.07	0.06	2.37
161	44.88	22.15	6.13	1.17	2.32	6.33	1.38	5.11	0.03	0.13	0.93
162	49.60	13.20	14.24	4.02	4.32	6.19	3.65	1.79	0.13	0.06	2.44
163	50.76	13.85	12.07	3.54	3.87	6.44	4.45	1.89	0.09	0.06	1.82
164	47.14	3.77	14.38	0.96	9.29	13.46	1.19	0.08	0.29	0.05	0.34
165	47.41	12.64	18.52	6.12	4.31	6.05	4.27	1.31	0.11	0.05	2.91
166	49.92	14.06	12.68	3.68	4.35	6.19	3.90	2.24	0.13	0.07	2.69
167	51.28	15.60	12.05	3.90	3.11	5.28	4.43	2.54	0.10	0.05	0.38
168	51.40	15.02	11.19	3.17	3.86	6.05	4.33	2.45	0.10	0.07	2.03
169	48.72	13.05	14.73	4.14	4.55	6.12	3.58	2.27	0.11	0.06	2.07
170	49.26	13.42	12.51	2.11	5.22	7.29	3.02	1.89	0.21	0.08	1.70
171	48.14	12.37	16.12	4.13	4.80	7.18	3.56	1.34	0.14	0.06	3.28
172	47.38	12.27	15.18	3.97	5.18	7.53	3.72	1.50	0.16	0.06	2.92
173	49.49	15.97	12.16	3.81	3.05	4.40	4.58	2.64	0.08	0.08	2.46
174	48.25	12.23	15.55	4.66	4.88	6.67	3.54	1.53	0.14	0.07	3.06



Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
175	47.41	14.00	16.30	5.55	3.69	5.82	4.04	1.80	0.12	0.06	4.28
176	50.12	13.82	12.69	3.74	3.87	6.48	4.46	2.07	0.12	0.06	2.63
177	49.33	11.04	12.83	1.90	5.54	9.23	3.39	1.22	0.20	0.06	1.37
178	50.70	14.46	12.83	3.88	3.54	5.25	4.19	2.33	0.10	0.06	1.85
179	48.39	12.09	11.54	1.06	6.72	9.51	2.63	1.11	0.20	0.06	0.88
180	52.39	13.98	11.77	3.32	3.59	5.47	4.14	2.16	0.10	0.07	2.22
181	51.03	15.16	11.84	3.65	3.11	5.25	4.71	2.39	0.09	0.07	1.43
182	51.07	11.68	11.07	1.60	5.66	8.48	2.96	1.52	0.16	0.06	1.02
183	47.10	11.15	15.63	2.83	5.15	9.16	3.16	0.95	0.22	0.07	2.13
184	49.38	13.81	14.46	4.03	3.97	5.84	4.27	1.90	0.11	0.06	2.42
185	50.08	14.18	11.14	2.00	4.90	6.82	4.35	1.90	0.15	0.07	1.51
186	50.14	15.11	11.47	3.64	3.34	5.38	4.83	2.23	0.08	0.06	2.14
187	50.40	11.64	12.63	1.71	5.25	7.56	3.03	1.96	0.15	0.06	1.24
188	49.51	14.78	14.73	4.29	3.85	5.58	4.64	1.97	0.09	0.06	2.19
189	51.82	14.32	12.60	3.69	3.42	5.83	4.92	2.13	0.10	0.06	2.06
190	50.88	14.09	12.54	3.57	3.56	5.76	4.59	2.27	0.11	0.07	1.86
191	46.77	18.57	7.60	1.38	3.77	6.88	2.19	3.67	0.08	0.10	0.95
192	48.94	12.64	15.17	4.13	4.55	6.80	3.92	1.67	0.12	0.06	1.88
193	47.39	12.30	18.40	5.38	4.39	6.13	3.82	1.58	0.14	0.05	2.61
194	48.71	12.81	14.01	2.71	5.02	7.17	3.99	1.86	0.19	0.05	1.36
195	48.61	13.48	15.05	4.03	4.81	6.32	3.69	1.99	0.17	0.05	2.19
196	47.54	9.89	18.00	4.16	6.00	9.14	3.38	0.71	0.20	0.05	3.10
197	51.88	15.96	11.26	3.49	2.77	5.17	4.93	2.26	0.08	0.06	2.06
198	47.61	10.71	12.89	1.47	7.25	10.35	2.57	0.79	0.21	0.07	1.34
199	51.87	18.11	7.97	2.71	2.33	5.07	5.14	3.02	0.07	0.07	1.46
200	51.67	14.40	9.95	2.34	4.18	7.34	4.54	2.18	0.11	0.06	1.70
201	49.33	13.74	14.46	4.16	4.08	5.99	4.24	1.86	0.10	0.07	2.56
202	47.84	13.17	15.62	4.10	4.22	6.59	4.04	1.67	0.12	0.06	3.10
203	47.04	12.48	18.43	5.38	4.30	6.56	4.42	1.31	0.14	0.05	3.74
204	53.45	17.72	9.27	2.93	2.04	5.33	5.40	2.69	0.07	0.06	1.12
205	48.94	12.98	14.67	4.09	4.25	7.09	4.16	1.62	0.13	0.06	2.88
206	49.25	14.53	14.00	4.08	3.80	5.36	4.54	2.13	0.10	0.07	1.36
207	49.91	12.76	12.99	3.58	4.97	7.08	3.43	2.22	0.13	0.06	1.09
208	51.08	15.32	13.70	4.21	3.35	5.81	4.21	2.62	0.11	0.06	-0.80
209	50.28	13.38	11.97	2.77	5.04	7.73	4.06	1.78	0.13	0.12	1.97
210	45.76	13.18	17.13	4.62	4.57	7.64	3.23	1.81	0.13	0.05	3.76
211	48.01	14.51	10.62	2.14	5.14	8.49	3.04	2.69	0.11	0.07	1.45
212	44.01	11.89	14.12	2.47	6.13	8.70	1.78	2.05	0.19	0.07	1.95
213	48.27	13.11	14.29	3.53	4.47	7.79	3.91	1.52	0.13	0.07	2.91
214	45.05	11.93	14.89	2.17	7.26	9.12	2.13	1.29	0.25	0.07	1.84
215	46.60	10.36	14.83	3.27	6.03	8.91	2.50	1.31	0.20	0.06	2.20
216	46.90	13.24	13.92	3.10	5.55	8.65	3.12	1.85	0.16	0.06	2.50
217	49.51	16.65	11.26	3.87	2.96	5.85	4.21	2.64	0.08	0.07	1.93
218	48.59	14.19	15.07	4.93	3.78	5.94	3.88	1.90	0.11	0.05	3.72
219	50.29	13.00	11.51	2.51	5.13	8.05	3.50	1.76	0.15	0.06	0.33
220	51.42	14.38	11.76	3.82	3.46	6.04	4.38	1.99	0.10	0.07	2.44
221	51.76	15.28	10.43	3.03	3.66	7.02	4.43	2.19	0.11	0.06	1.14
222	48.43	13.42	15.90	4.60	4.20	6.48	4.62	1.43	0.12	0.07	3.20
223	53.02	15.79	8.36	2.17	3.34	6.12	4.82	2.07	0.08	0.07	1.21
224	46.19	12.67	14.52	3.40	6.00	8.44	2.70	1.85	0.16	0.06	2.70
225	48.19	13.30	16.72	4.65	4.04	6.15	4.17	1.52	0.12	0.07	3.34
226	43.00	12.78	19.89	5.27	5.37	7.51	1.97	1.77	0.16	0.10	4.07
227	44.72	12.66	18.43	5.68	4.64	7.47	3.08	1.69	0.15	0.15	4.45
228	44.13	13.11	17.50	4.95	5.03	7.94	2.31	1.92	0.16	0.06	3.38
229	41.76	12.03	20.41	5.24	6.13	7.73	1.63	1.38	0.18	0.07	4.42
230	48.99	12.79	14.88	4.04	4.86	7.35	4.21	1.42	0.13	0.07	3.21
231	45.03	12.50	19.48	5.72	4.29	6.75	3.30	1.35	0.14	0.06	4.50
232	46.62	13.66	15.12	4.10	4.82	6.94	3.38	2.07	0.13	0.07	2.82
233	48.53	14.74	15.21	4.87	3.43	5.56	4.36	1.95	0.10	0.06	2.74
234	51.51	14.09	10.32	1.57	4.04	8.00	4.14	1.66	0.16	0.06	0.37
235	47.79	12.27	14.01	1.85	5.52	8.78	3.57	0.84	0.27	0.07	1.62
236	50.09	13.23	12.91	3.41	4.72	7.48	4.32	1.55	0.14	0.10	2.68
237	49.23	14.33	14.52	4.03	3.73	5.73	4.60	1.87	0.10	0.08	2.82
238	49.10	11.45	12.56	2.41	5.28	9.14	4.39	0.95	0.13	0.05	2.07
239	46.39	10.64	16.54	2.99	7.05	9.37	2.74	0.79	0.22	0.00	2.50
240	42.93	13.68	20.41	6.64	4.46	6.63	2.22	2.08	0.16	0.06	5.49
241	46.53	11.94	18.36	4.62	5.25	7.64	3.80	1.10	0.18	0.10	3.46

Prøve	XRF-analyser										Beregnet
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
242	48.14	12.83	16.98	4.55	3.91	6.39	4.31	1.63	0.13	0.06	3.55
243	45.79	11.77	20.72	6.41	4.33	6.22	3.54	1.19	0.15	0.06	5.03
244	52.30	17.89	8.73	2.93	2.27	5.54	5.27	2.66	0.07	0.08	2.26
245	48.75	14.14	14.72	4.22	3.68	5.35	4.70	1.84	0.10	0.07	3.01
246	48.49	12.43	13.62	3.21	4.90	8.02	3.60	1.47	0.17	0.07	2.73
247	48.62	13.63	14.96	4.48	3.90	5.95	4.32	2.01	0.10	0.06	3.27
248	45.91	12.66	15.80	4.07	5.47	7.75	2.85	1.79	0.14	0.07	2.88
249	43.69	9.22	23.01	6.43	6.34	8.26	2.61	0.23	0.19	0.10	5.71
250	45.54	10.14	14.60	2.74	7.30	9.71	1.99	1.32	0.20	0.08	2.35
251	44.54	11.39	19.44	5.34	5.07	7.78	2.99	1.29	0.15	0.05	3.83
252	48.40	12.12	13.26	2.70	5.44	8.55	3.54	1.33	0.17	0.06	2.23
253	50.16	13.72	12.05	3.09	4.39	7.12	4.44	1.65	0.12	0.07	2.48
254	48.97	13.30	14.68	4.31	4.08	6.55	4.17	1.70	0.12	0.06	3.41
255	45.38	12.95	15.31	4.04	5.76	8.67	2.40	1.97	0.15	0.07	3.05
256	43.77	12.11	19.77	5.48	5.15	7.83	2.47	1.51	0.17	0.11	4.29
257	48.32	9.19	12.97	1.83	7.10	11.38	2.86	0.92	0.17	0.08	1.40
258	46.81	11.68	17.06	4.39	5.33	7.59	3.62	1.28	0.14	0.07	3.05
259	44.55	13.74	18.90	5.74	4.27	7.04	3.01	1.68	0.15	0.20	4.28
260	44.81	11.79	18.67	5.28	5.62	8.16	2.87	1.31	0.17	0.06	4.29
261	45.42	11.46	15.35	3.61	5.79	8.80	2.53	1.38	0.17	0.09	3.14
262	43.49	11.19	20.02	5.55	5.79	7.69	2.04	1.57	0.16	0.06	4.17
Gj.sn.	48.63	13.24	14.32	3.63	4.62	7.05	3.67	1.84	0.14	0.07	2.14

Bilag 2: Analyser av eklogitter og assosierte mafiske bergarter fra Sunnfjord og Ytre Sogn. XRF-analyser på pressede prøver er merket \*. De øvrige prøver er XRF-analysert på smeltede prøver. Rutil er bestemt som differansen mellom  $TiO_2$  (XRF) og  $TiO_2$  (ICP; HCl-løst). Negative rutilverdier skyldes analysefeil. Prøver som ikke er ICP-analysert og rutilverdier ikke foreligger, er merket i.a. i rutilkolonnen. ICP-analysene er ikke vist i tabellen.

Prøve	Lokal.	XRF-analyser										Beregn.
		$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	MnO	$P_2O_5$	RUTIL
Div.lokaliteter ved Førdefjorden (Korneliussen 1979):												
595A	Førdefj.	69.53	14.53	3.10	0.58	0.84	1.66	4.00	4.98	0.01	0.17	0.14
124		45.88	14.73	16.60	1.80	5.43	8.70	3.30	1.83	0.27	0.55	0.28
130		46.90	15.91	15.36	1.67	6.64	4.93	5.20	0.47	0.22	0.54	0.67
131		53.01	15.82	9.62	0.83	4.95	7.44	5.30	2.33	0.15	0.36	0.46
133		45.93	16.02	15.03	1.72	5.09	8.69	3.70	1.31	0.25	1.56	0.18
134		41.02	15.06	19.62	2.24	6.60	10.76	2.50	0.34	0.24	2.15	2.04
135		40.98	13.70	20.06	2.62	6.22	9.21	3.00	1.09	0.25	2.61	0.82
142		49.38	15.75	11.19	1.05	7.61	9.45	4.00	1.38	0.15	0.18	0.78
146		45.51	16.90	14.49	1.41	7.86	10.28	2.20	0.19	0.18	0.12	1.38
153		47.51	14.12	16.40	0.94	9.15	8.92	1.50	0.29	0.14	0.04	0.48
155		44.85	11.96	19.78	4.38	8.00	4.98	2.80	1.29	0.14	0.28	-0.22
157		41.17	15.66	19.91	4.13	7.18	7.64	2.10	1.04	0.20	0.50	3.21
211		47.50	16.76	13.66	1.37	7.16	8.25	3.60	1.00	0.19	0.07	1.33
219		48.32	16.96	11.46	1.38	8.26	9.85	3.40	0.97	0.14	0.19	1.09
220		46.39	15.46	14.61	2.16	7.08	9.90	3.50	0.48	0.18	0.29	1.75
226		49.97	15.87	11.53	1.16	5.97	8.46	3.70	1.64	0.19	0.41	0.25
229		47.92	14.72	15.07	1.65	5.62	7.44	3.60	1.52	0.19	0.53	0.46
233		47.34	16.10	14.31	1.41	6.27	8.40	3.50	1.55	0.19	0.36	1.23
237		49.64	16.10	11.28	1.17	5.88	7.99	3.40	2.39	0.14	0.78	0.22
240		49.09	16.24	12.78	1.25	6.95	9.65	3.30	0.77	0.16	0.11	1.21
245		51.39	15.15	9.17	0.87	6.52	8.01	4.80	2.38	0.09	0.15	0.64
283		45.26	16.28	11.91	1.85	4.27	7.51	4.60	1.69	0.15	0.49	1.60
286		45.52	16.51	15.22	3.44	5.36	7.01	3.00	1.66	0.16	0.68	1.15
288		47.96	15.90	10.99	1.17	8.76	10.24	3.50	0.81	0.14	0.16	0.84
597		49.57	18.08	13.73	2.31	4.30	8.90	3.30	1.17	0.15	0.42	1.17
Prøver fra Krogh (1980):												
L1:193	Kvineset	46.02	15.90	12.94	1.91	5.45	8.37	3.67	1.48	0.27	1.70	i.a.
L1:194	"	45.81	15.75	13.29	1.95	5.59	8.73	3.57	1.15	0.28	1.76	"
L1:195	"	47.17	12.25	14.14	1.39	10.14	7.42	3.60	0.30	0.16	0.71	"
L1:196	"	43.81	14.20	16.01	2.12	6.75	10.63	2.83	0.16	0.24	1.39	"
L1:197	"	42.62	14.42	15.42	2.40	6.80	10.54	2.89	0.39	0.26	2.23	"
L1:198	"	42.20	14.75	15.36	2.12	6.93	10.79	2.66	0.68	0.25	2.25	"
L1:199	"	41.87	14.53	15.44	1.97	7.24	10.65	2.74	0.57	0.23	2.32	"
L1:200	"	44.71	14.43	16.56	2.10	6.73	9.73	3.01	0.17	0.24	0.11	"
L1:201	"	45.01	15.28	14.27	1.95	6.20	9.61	3.37	0.69	0.26	1.55	"
L1:202	"	46.71	15.20	12.30	1.64	5.67	9.06	4.51	1.02	0.22	1.40	"
L2:186	"	44.45	13.71	14.45	2.26	5.74	8.86	3.18	1.39	0.27	2.59	"
L2:187	"	44.10	14.21	15.02	2.58	5.90	8.47	2.94	1.54	0.29	2.56	"
L2:188	"	43.19	13.24	16.23	2.52	6.15	8.87	2.91	1.26	0.26	2.67	"
L2:189	"	44.48	14.03	14.71	2.33	5.71	8.90	2.66	1.58	0.26	2.32	"
L2:190	"	42.41	13.14	16.67	2.66	6.39	9.16	2.70	1.01	0.29	2.77	"
En analyse fra Binns (1967):												
101757	Naustdal	37.97	14.34	16.13	6.44	5.53	12.20	2.02	0.02	0.21	3.40	"

		XRF-analyser										Beregn.
Prøve	Lokal.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
Gjøølanger-området (Korneliussen 1979):												
401	Gjøøl.	45.77	20.07	9.91	0.09	8.97	9.24	3.00	0.21	0.10	0.03	0.07
402	"	45.98	17.68	9.32	0.13	13.52	8.42	2.00	0.17	0.11	0.02	0.12
403	"	45.92	19.82	9.67	0.10	11.96	8.08	2.10	0.16	0.09	0.02	0.09
406	"	41.90	13.53	17.84	2.88	7.62	10.13	2.00	0.02	0.16	0.02	2.82
412	"	51.03	10.62	11.82	0.69	11.92	11.41	1.60	0.80	0.22	0.16	0.66
413	"	46.50	14.08	13.71	0.20	10.31	13.85	1.70	0.04	0.37	0.09	0.18
649	"	47.03	21.99	7.21	0.34	7.11	11.51	2.30	0.20	0.07	0.06	0.19
650	"	50.05	17.25	10.18	1.09	6.69	8.06	4.10	1.18	0.14	0.07	0.42
652	"	51.95	17.50	8.68	0.84	6.60	9.53	3.30	0.17	0.11	0.19	0.71
653	"	51.87	15.55	9.09	0.76	8.54	9.67	2.80	0.13	0.11	0.18	0.65
655	"	57.88	17.26	6.71	0.66	4.03	7.35	4.50	0.18	0.08	0.19	0.38
656	"	51.23	17.61	9.93	0.72	0.72	6.52	10.34	2.70	0.73	0.13	0.70
657	"	44.78	15.35	18.10	2.69	7.26	10.16	2.90	0.02	0.16	0.02	2.60
658	"	41.74	13.91	17.58	2.69	7.42	10.10	2.30	0.02	0.14	0.03	2.62
659	"	44.99	15.00	18.46	3.07	8.04	10.12	2.10	0.02	0.16	0.02	3.00
660	"	45.23	14.83	17.33	2.52	7.24	10.53	2.50	0.02	0.16	0.02	2.31
677	"	44.40	17.53	13.29	2.14	6.90	11.15	3.00	0.09	0.13	1.07	2.03
678	"	46.39	8.86	10.94	0.34	18.69	12.21	0.50	0.08	0.13	0.03	0.09
679	"	47.89	9.53	11.35	0.37	18.08	11.52	0.40	0.15	0.15	0.03	0.16
690	"	48.00	9.57	11.45	0.38	18.52	12.26	0.80	0.18	0.15	0.03	0.21
692	"	47.88	9.69	10.99	0.34	18.35	12.04	0.50	0.09	0.15	0.02	0.23
663	Sørdal	42.28	19.55	16.61	2.91	5.46	9.23	2.40	0.30	0.23	0.04	1.90
664	"	44.94	19.34	13.46	0.93	8.89	7.88	3.00	0.31	0.11	0.04	0.82
661	"	47.24	14.99	15.22	2.91	6.02	10.44	3.10	0.00	0.14	0.09	2.81
662	"	38.49	15.84	23.42	4.49	6.81	7.66	1.50	0.18	0.25	0.12	1.07
667	"	43.30	1.56	24.74	2.75	17.69	8.39	0.00	0.00	0.31	0.11	-0.15
669	"	46.09	19.87	11.59	0.62	9.53	8.05	2.60	0.22	0.09	0.05	0.60
665	"	38.39	18.56	26.88	0.55	6.90	7.32	0.80	0.14	0.41	0.45	0.07
666	"	34.45	19.83	30.56	2.46	3.74	7.88	0.80	0.04	0.26	0.03	-0.04
Mølmesdal-Løland området (Korneliussen 1979):												
685		44.04	13.32	18.32	2.99	7.29	11.86	2.50	0.41	0.16	0.31	0.09
681		41.60	12.54	20.89	3.58	7.17	11.30	1.90	0.35	0.17	0.12	0.04
682		37.87	12.60	25.24	4.49	6.49	9.62	2.00	0.43	0.16	0.15	-0.33
684		47.56	20.18	9.69	0.55	8.58	8.89	3.00	0.43	0.10	0.09	0.09
623		47.88	21.58	7.85	0.44	7.32	9.03	3.70	0.56	0.07	0.11	0.09
624		48.96	14.79	16.90	2.76	5.14	7.76	3.00	1.54	0.18	0.53	-0.10
625		45.87	14.53	17.40	2.82	6.77	8.57	2.60	0.76	0.17	0.23	-0.04
622		45.91	15.99	15.29	1.63	6.35	11.72	2.20	0.58	0.14	0.69	0.18
616		48.80	14.53	13.33	3.19	4.25	6.44	3.50	2.76	0.30	1.66	-0.52
620		44.30	13.16	19.09	3.16	6.74	10.28	2.40	0.68	0.20	0.14	-0.10
621		49.38	19.58	8.81	0.68	6.72	8.72	3.40	0.59	0.09	0.11	0.08
605		44.27	18.20	13.79	1.54	5.12	10.14	3.30	0.82	0.15	1.17	0.47
604		55.43	18.82	6.75	0.67	2.70	5.64	4.30	3.91	0.10	0.47	-0.04
600		34.08	12.10	32.06	5.48	7.90	3.45	1.50	0.53	0.16	0.06	-0.60
612		43.12	16.72	14.49	1.55	5.98	10.99	3.30	0.91	0.16	1.92	0.48
627		44.25	14.10	20.03	3.08	7.48	10.52	2.40	0.36	0.18	0.11	0.21
615		41.58	12.06	17.53	4.61	6.43	10.03	2.50	0.75	0.28	3.28	-0.57
614		46.59	16.93	11.82	1.21	8.47	9.47	3.10	0.98	0.14	0.74	0.39
680		37.09	12.27	26.09	4.61	6.45	9.80	1.80	0.31	0.18	0.12	-0.23
618		47.45	18.54	10.02	0.46	11.25	9.20	2.70	0.34	0.10	0.11	0.15
624		48.96	14.79	16.90	2.73	5.14	7.76	3.00	1.54	0.18	0.53	-0.20
632		10.07	10.07	62.45	10.30	3.98	1.09	0.00	0.04	0.16	0.02	-1.00
633		10.32	9.21	62.74	10.29	4.15	1.18	0.20	0.17	0.16	0.04	-0.79
634		7.67	9.08	68.67	10.98	3.81	0.67	0.30	0.03	0.16	0.02	-0.95

		XRF-analyser										Beregn.
Prøve	Lokal.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
Sellevoll - Drøsdal (Ramsgrønova) (Korneliussen 1979):												
586		46.55	17.98	12.36	0.31	9.85	6.87	3.30	0.22	0.13	0.02	0.12
587		49.24	20.11	8.00	0.45	6.29	7.59	4.40	0.29	0.06	0.01	0.26
588		42.88	17.58	15.24	2.53	7.41	11.49	1.50	0.15	0.22	0.03	2.35
585		47.21	20.62	8.79	0.71	6.53	9.85	2.80	1.02	0.09	0.07	0.53
640		46.05	16.93	11.52	0.83	10.49	9.11	2.50	0.36	0.09	0.06	0.70
641		44.15	15.43	17.52	3.16	7.58	8.70	2.50	0.11	0.20	0.04	1.44
646		36.64	12.97	25.52	3.12	6.95	11.41	0.30	0.06	0.57	2.85	-0.06
581		49.97	16.29	11.19	0.82	8.39	10.01	2.70	0.58	0.14	0.08	0.66
675		50.61	20.17	6.23	0.54	6.15	12.14	2.80	0.51	0.08	0.03	0.51
645		41.65	16.46	18.72	4.07	7.76	9.10	1.80	0.21	0.18	0.02	2.37
648		43.32	16.60	16.28	1.89	7.29	9.10	2.60	0.22	0.20	0.10	1.83
644		47.90	14.37	15.35	1.55	7.48	10.03	4.20	0.06	0.19	0.33	1.41
598		46.61	14.84	16.47	2.66	5.68	7.89	2.90	1.24	0.18	0.45	1.60
363		51.89	15.33	15.37	1.67	3.79	6.66	3.50	1.02	0.20	0.25	1.43
366		48.49	15.83	13.69	1.80	7.50	11.39	3.40	0.04	0.14	0.03	1.65
670		55.73	13.46	14.43	2.28	3.02	5.91	3.00	1.31	0.18	0.52	0.35
674		54.66	13.20	15.25	2.45	2.89	7.39	2.10	1.33	0.14	0.54	0.58
673		48.77	12.46	13.63	0.46	14.60	9.09	1.20	0.19	0.17	0.02	0.39
671		40.49	13.84	19.62	4.55	5.71	10.67	2.60	0.23	0.25	0.23	0.08
582		11.83	5.25	51.50	6.67	12.51	0.15	0.00	0.00	0.35	0.03	-0.38
Flekkje-Gjøllanger (Curtbert 1985; fra Erambert 1991):												
D46	Tyssekvam	44.91	15.81	12.66	2.65	6.48	11.10	3.62	0.02	0.15	0.77	i.a.
D80	Gjøllanger	47.17	16.07	12.06	1.39	6.89	9.73	3.53	0.29	0.18	0.16	"
D81	Gjøllanger	47.16	16.32	11.33	1.34	7.34	9.38	3.88	0.48	0.14	0.15	"
D82	Gjøllanger	47.76	16.51	11.62	1.35	7.14	9.31	3.69	0.51	0.12	0.16	"
D83	Gjøllanger	48.67	15.49	10.98	1.36	6.79	10.20	3.23	0.23	0.12	0.14	"
D1	Flekkje	53.44	16.63	8.30	0.91	5.22	8.25	4.27	1.03	0.10	0.25	"
D38	Gjøllanger	48.02	13.95	12.07	1.33	7.72	10.90	3.63	0.04	0.17	0.18	"
D77	Jyttevt.	49.61	18.54	7.76	0.89	7.39	11.09	3.13	0.39	0.08	0.08	"
D95	Tyssedalv	47.07	20.45	8.37	0.17	9.21	9.07	5.12	0.27	0.08	0.06	"
D101	Trollefos	47.51	16.89	11.27	1.30	7.60	11.13	2.02	0.40	0.20	0.08	"
D102	Breidvt.	48.25	14.82	14.17	2.09	6.83	10.14	2.08	0.02	0.23	0.24	"
D104	Breidvt.	47.66	15.34	12.12	1.89	6.68	9.72	3.86	0.24	0.20	0.23	"
D123	Høheia	47.94	22.80	5.83	0.19	8.54	10.39	2.48	0.09	0.08	0.02	"
D129	Tyssedalv	49.70	17.22	7.75	0.83	7.57	10.47	3.76	0.12	0.13	0.16	"
79/38B	Hovlandvt	46.62	14.45	14.80	2.86	6.64	8.79	2.87	0.98	0.20	0.47	"
D69	SW.Jyttev	48.03	14.96	12.03	1.24	6.76	10.62	4.50	0.06	0.22	0.10	"
D116	Breidvt.	46.26	15.99	13.33	2.56	6.17	8.51	3.46	1.25	0.20	0.30	"
D118	?	38.02	10.00	20.70	5.05	7.88	10.97	0.94	0.09	0.64	2.38	"
D12	Flekkje	44.60	13.71	17.00	2.13	4.32	9.68	4.32	0.08	0.30	1.37	"
D35	Balsarvik	42.77	18.72	17.80	0.85	6.57	9.06	2.00	0.04	0.33	0.14	"
D37a	Hellevik-	48.68	15.65	10.50	0.25	12.40	7.85	2.66	0.18	0.13	0.04	"
D37b	Hellevik-	46.92	20.37	9.82	0.69	8.02	8.77	3.27	0.20	0.11	0.04	"
D132	Hellevik	47.22	20.77	10.32	0.82	8.18	8.84	2.93	0.25	0.13	0.14	"
D133	"	46.21	20.26	11.49	0.25	8.45	9.46	2.90	0.04	0.17	0.12	"
D156	Sørdal	42.60	18.21	15.59	2.56	6.84	8.90	2.81	0.15	0.18	0.22	"
D42	Sørdal	42.68	18.01	14.56	2.48	8.85	7.41	3.96	0.40	0.14	0.07	"
79/34A	Solvik	45.08	14.72	15.59	2.75	7.65	9.93	2.48	0.15	0.20	0.04	"
D206	Solvik	42.69	14.11	18.47	3.70	8.06	9.29	1.12	0.03	0.22	0.05	"
D32	Solvik	46.97	18.88	8.76	0.60	8.70	9.96	3.04	0.42	0.07	0.20	"
D33	Solvik	51.38	18.14	6.46	0.37	8.93	9.55	3.78	0.38	0.10	0.02	"
D62	Vardeheia	50.40	24.78	3.80	0.11	4.49	10.31	3.33	0.40	0.01	0.03	"
D90	Saurdalfj	49.09	16.14	6.85	0.44	9.36	13.82	2.11	0.15	0.06	0.05	"
D91	Saurdalfj	49.51	16.52	6.04	0.42	9.25	14.26	1.98	0.09	0.06	0.04	i.a.
D37	Gjøllange	50.01	19.81	7.85	0.91	6.01	10.55	2.73	0.43	0.12	0.10	"
D41	Sørdal	45.10	14.23	14.96	1.67	9.79	8.59	2.05	0.52	0.22	0.25	"
D60	Andalsvik	49.93	16.90	8.76	0.76	7.91	9.73	3.40	0.57	0.12	0.09	"

Prøve	Lokal.	XRF-analyser										Beregn.
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
Ådalskupa (fra Erambert 1991):												
3.156C	Trollebot	46.78	13.82	15.13	3.74	5.08	7.09	3.57	1.09	0.22	0.61	"
3.184	Stegsvt.	47.35	12.17	16.45	3.52	4.92	8.38	2.52	0.70	0.35	0.96	"
4.196A	Brekkafos	43.54	15.48	16.70	2.11	6.41	8.98	2.93	0.53	0.28	0.26	"
4.206A	Jólstravt	45.04	13.99	16.15	2.13	5.75	7.65	3.93	1.71	0.27	1.01	"
4.206B	Jólstravt	43.01	13.76	17.67	2.34	5.83	7.67	3.38	1.89	0.32	1.20	"
3.183	Bjørset	45.90	14.58	14.95	1.88	5.61	7.61	3.85	2.04	0.24	0.61	"
Dalsfjellmassivet i Gulen (se Korneliussen 1989):												
D1		43.58	11.79	16.53	2.59	7.30	8.81	2.66	0.99	0.21	0.45	2.13
D2		50.07	15.59	10.14	2.09	3.81	6.74	4.12	1.93	0.13	1.52	0.61
D3A		47.32	16.88	13.22	3.30	4.89	6.63	3.69	1.35	0.13	1.30	-0.31
D3B		41.96	11.63	16.97	3.18	5.85	9.81	3.21	0.94	0.19	3.26	1.58
D4A		43.88	13.07	15.12	3.50	6.15	9.09	3.22	1.05	0.16	3.11	-0.37
D4B		40.19	9.61	18.20	4.29	6.83	9.52	2.68	0.92	0.17	3.71	0.51
D5		43.62	12.14	16.38	2.89	5.89	9.20	3.81	0.84	0.15	2.11	0.87
D8		48.10	15.07	11.43	2.57	4.21	7.47	4.06	1.38	0.14	1.95	0.67
D9		48.83	15.11	12.21	2.53	4.89	7.85	4.09	1.27	0.13	2.08	0.96
D10		47.88	14.84	12.32	2.48	4.76	8.67	3.99	1.13	0.12	2.22	1.03
D11		46.13	13.24	14.63	3.00	5.18	8.98	3.55	0.93	0.15	2.64	1.52
D13		47.85	14.65	12.96	2.68	4.80	8.21	4.09	1.30	0.14	2.31	1.01
D14		41.70	12.43	18.60	3.77	5.81	8.32	3.12	1.07	0.18	3.64	-0.40
D15		46.28	15.01	14.20	2.73	5.57	6.99	4.32	1.51	0.13	1.30	1.17
D16		45.84	13.40	14.88	3.25	5.66	9.19	4.03	1.06	0.15	2.59	1.44
D17		35.04	10.51	22.73	3.83	5.39	11.17	2.37	0.62	0.23	6.19	-0.45
D18		45.20	13.14	14.65	2.98	5.83	8.53	3.99	1.11	0.19	2.35	0.84
D19		43.96	11.22	17.11	3.36	7.06	8.79	3.48	1.09	0.21	2.44	0.52
D20		43.28	11.12	18.78	3.35	7.42	8.76	2.92	0.94	0.22	2.76	-0.37
D21		49.22	16.16	9.92	2.16	4.49	7.57	3.88	1.66	0.13	1.75	-0.28
D22		42.04	11.74	23.09	4.90	5.78	7.46	3.29	1.05	0.18	2.47	-0.22
D24		69.69	15.44	16.23	3.40	0.64	2.13	4.47	4.21	0.05	0.11	0.22
D25		45.26	11.91	16.09	3.26	6.81	8.46	3.51	1.31	0.16	2.81	0.21
D26		46.71	13.76	13.57	2.80	6.31	8.51	3.85	1.27	0.16	2.25	1.06
D28		44.32	12.28	17.37	2.82	6.81	8.35	3.45	1.29	0.22	0.55	0.81
D29		42.92	11.54	17.23	2.69	7.97	8.89	2.95	1.11	0.21	0.53	1.60
D30A		42.33	11.72	17.75	2.94	7.85	9.52	3.13	0.72	0.22	0.62	1.87
D30B		51.01	15.36	10.35	2.41	4.60	6.84	3.90	2.01	0.12	1.72	-0.41
D31		50.98	16.73	9.04	2.18	4.02	7.10	4.16	1.93	0.11	1.67	-0.26
D32		45.31	15.03	14.43	3.61	5.76	8.62	3.77	0.80	0.14	0.36	1.77
D33		60.24	19.27	3.70	0.60	1.12	4.05	6.16	3.14	0.06	0.14	-0.02
D34A		48.57	15.92	11.49	2.40	4.77	8.37	3.80	1.49	0.11	2.23	0.20
D34B		42.57	10.92	17.29	2.65	5.01	9.82	3.45	0.00	0.19	2.38	1.54
D42		36.60	8.61	23.29	4.47	9.68	10.34	1.62	0.29	0.22	0.35	-0.37
D43A		41.37	10.56	18.77	3.62	7.30	10.08	2.90	0.60	0.25	1.05	1.83
D43B		36.90	7.43	24.73	4.75	9.98	10.36	1.31	0.45	0.24	0.41	-0.29
D44A		45.03	15.13	13.18	2.72	4.90	9.27	3.38	1.13	0.16	3.02	-0.22
D44B		30.37	8.47	27.70	4.58	5.87	11.02	1.73	0.59	0.27	6.44	-0.81
D44C		44.43	14.45	14.03	2.59	5.21	8.71	3.31	1.26	0.17	3.41	-0.28
D45		34.71	10.98	31.06	6.09	6.12	6.13	2.47	1.10	0.18	2.66	-0.95
D46		49.48	14.71	12.66	2.66	4.50	7.73	4.06	1.57	0.14	1.94	1.52
D47		42.94	11.41	17.47	3.16	5.64	9.56	3.23	0.32	0.16	3.03	1.34
D48		43.69	12.86	16.76	2.79	8.00	8.40	2.92	1.37	0.20	0.54	1.37
D49		42.34	12.46	16.90	2.76	8.27	8.24	2.65	1.52	0.20	0.62	1.54

Prøve	Lokal.	XRF-analyser										Beregn. RUTIL
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Borkaksprøver fra Fureviknipa (Korneliussen og Furuhaug 1991):												
1		41.91	11.01	20.24	2.89	4.31	9.19	2.96	0.03	0.32	2.09	2.38
2		37.14	7.81	23.67	4.21	5.42	10.98	1.71	0.09	0.36	3.77	0.20
3		41.54	8.97	24.50	4.14	5.12	7.98	1.99	0.06	0.32	0.20	3.83
4		37.58	4.68	31.06	4.50	10.55	6.22	0.26	0.02	0.46	1.82	-0.74
5		44.14	11.89	20.10	2.56	5.11	7.84	3.32	0.17	0.27	0.77	2.25
6		43.95	11.60	19.86	2.46	3.86	9.06	3.12	0.18	0.34	0.69	2.24
7		42.87	11.08	20.87	3.37	4.86	9.42	3.10	0.05	0.33	2.37	1.89
8		42.63	8.35	23.99	3.89	5.12	9.12	2.03	0.10	0.34	0.68	3.34
9		42.25	11.55	18.70	3.05	4.05	10.37	3.12	0.26	0.28	2.39	2.63
10		40.99	9.77	20.93	3.65	5.04	10.02	2.49	0.12	0.32	2.52	2.22
11		39.97	7.62	24.28	3.93	5.92	10.01	1.76	0.05	0.41	2.42	1.11
12		40.62	7.74	26.00	3.04	5.61	7.10	1.37	0.14	0.48	0.90	1.44
13		42.27	7.60	23.53	3.80	4.11	9.29	2.07	0.08	0.39	0.56	2.18
14		44.33	10.98	19.49	2.83	3.63	8.47	3.19	0.36	0.35	1.74	2.17
15		43.88	9.65	20.69	2.60	3.53	9.51	2.94	0.02	0.41	1.51	1.57
16		45.55	11.63	19.82	2.09	4.42	6.85	2.69	0.37	0.33	0.27	1.11
17		47.90	9.28	16.18	2.26	4.06	10.44	2.61	0.25	0.28	0.29	2.07
18		44.20	11.01	19.98	2.87	3.90	8.37	3.04	0.16	0.37	1.79	1.09
19		44.22	9.25	21.38	3.12	3.48	8.75	2.29	0.03	0.39	1.73	2.21
20		42.07	9.18	21.09	3.70	4.63	10.41	2.53	0.15	0.35	2.36	2.32
21		45.32	12.75	16.88	2.22	3.17	9.43	3.96	0.63	0.32	1.32	1.94
22		43.46	13.53	18.39	2.78	3.35	9.39	3.18	0.26	0.32	1.81	1.54
23		43.26	13.38	18.27	2.84	3.40	9.29	3.64	0.23	0.28	1.92	2.49
24		38.76	7.87	23.11	4.10	5.67	10.87	1.78	0.15	0.35	3.06	1.91
25		37.35	7.70	23.39	4.55	6.48	11.03	1.70	0.14	0.28	3.74	0.33
26		42.71	10.37	23.42	4.01	4.89	8.60	1.86	0.08	0.28	0.11	1.98
27		39.40	9.01	26.61	4.40	4.93	8.13	1.87	0.17	0.26	0.24	1.49
28		40.28	8.43	24.23	4.12	5.17	9.71	1.75	0.12	0.26	0.27	1.85
29		38.38	7.38	22.28	3.97	5.37	12.15	1.66	0.16	0.29	3.91	2.07
30		49.44	24.30	5.86	0.90	1.51	8.53	5.52	0.38	0.07	0.67	0.69
31		41.11	12.76	21.11	3.46	5.42	7.53	2.83	0.18	0.22	0.38	3.15
32		42.53	11.89	20.14	2.57	4.84	8.11	2.96	0.21	0.29	1.24	1.17
33		47.76	19.26	9.76	1.81	1.79	9.65	5.16	0.20	0.12	1.47	1.02
34		42.23	11.34	19.29	3.27	4.58	10.47	3.19	0.05	0.28	2.31	2.84
35		39.22	8.40	23.13	4.15	5.45	10.21	2.12	0.18	0.31	3.18	3.13
36		41.22	9.99	22.60	3.88	4.70	9.58	2.01	0.10	0.24	0.39	3.67
37		41.76	9.23	20.93	3.62	5.06	9.86	2.95	0.11	0.31	2.56	2.10
38		38.41	7.69	24.08	4.48	5.50	10.50	1.82	0.14	0.36	2.97	2.01
39		39.43	7.47	21.48	3.89	5.67	11.87	1.84	0.14	0.31	3.38	2.80
40		40.50	9.02	22.25	3.94	4.52	10.20	1.98	0.07	0.24	0.33	3.77
41		45.95	14.05	16.32	1.87	4.15	8.29	3.73	0.29	0.23	0.58	1.73
42		40.25	8.39	21.34	3.79	5.27	11.11	2.00	0.18	0.31	2.69	3.55
43		38.57	7.68	23.04	4.36	5.67	11.37	1.86	0.15	0.31	3.48	2.69
44		44.82	12.81	18.20	3.28	3.78	9.12	3.38	0.21	0.23	0.40	3.08
45		44.77	12.88	19.16	3.29	3.37	8.38	3.21	0.18	0.23	0.58	3.10
46		39.06	7.70	23.49	4.37	5.75	10.62	1.77	0.16	0.33	2.91	2.64
47		40.74	9.16	21.27	3.67	5.19	10.35	2.31	0.04	0.32	2.67	2.29
48		42.39	12.26	18.92	2.85	4.09	9.34	3.34	0.13	0.27	2.07	2.64
49		42.34	12.78	18.63	2.82	3.94	9.33	3.41	0.21	0.27	2.04	2.55
50		45.07	15.66	15.58	2.45	3.41	8.08	3.68	0.48	0.20	0.54	2.25
51		45.13	11.72	18.11	4.32	4.78	9.75	2.71	0.13	0.23	0.43	4.12
52		44.46	12.33	17.28	2.96	4.75	9.99	3.06	0.25	0.24	2.21	2.83
53		45.81	11.43	16.85	3.77	5.33	9.64	2.54	0.10	0.23	0.49	3.56
54		46.79	11.61	17.30	4.02	4.38	9.53	2.66	0.22	0.23	0.55	3.85
55		46.03	12.57	17.04	3.22	5.05	8.76	2.84	0.15	0.22	0.38	3.01
56		40.37	10.22	24.96	3.97	5.65	7.40	2.02	0.13	0.26	0.30	0.67
57		47.02	18.42	9.77	1.61	3.09	10.41	3.88	0.25	0.12	0.74	0.12
58		42.36	14.94	18.26	2.98	4.19	8.20	2.74	0.20	0.21	0.40	0.30
59		47.08	16.93	11.70	2.16	3.23	10.11	4.10	0.14	0.15	0.73	1.91
60		45.03	13.07	18.10	2.87	3.90	8.99	3.31	0.15	0.26	1.24	2.40
61		47.68	13.13	15.26	2.21	3.98	8.77	3.46	0.12	0.25	0.61	1.33

Prøve	Lokal.	XRF-analyser										Beregn.
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RUTIL
62		48.15	8.96	18.38	3.15	4.34	9.91	1.36	0.09	0.32	2.05	2.36
63		41.95	11.16	20.70	4.19	5.21	9.92	2.13	0.04	0.22	0.97	2.10
64		43.96	13.08	16.72	2.73	5.07	8.74	2.47	0.88	0.16	0.11	0.92
65		43.46	14.02	17.86	3.40	4.81	9.44	2.65	0.19	0.18	0.29	1.22
66		44.05	11.83	18.60	4.48	5.71	9.74	2.33	0.23	0.22	0.25	2.71
Borkaksprøver fra Engebøfjellet (Korneliussen og Furuhaug 1991):												
1		50.00	15.40	8.13	0.53	6.66	9.18	2.78	0.27	0.12	0.12	0.49
2		49.42	16.05	7.95	0.55	5.93	9.02	2.90	0.29	0.12	0.12	0.52
3		49.98	15.01	8.29	0.57	6.68	8.88	2.66	0.31	0.12	0.11	0.54
4		49.73	16.21	7.92	0.54	6.07	8.79	3.43	0.29	0.11	0.09	0.51
5		49.65	15.12	8.22	0.54	7.05	8.54	2.82	0.25	0.12	0.11	0.52
6		48.87	14.22	9.11	0.61	7.80	7.69	2.90	0.35	0.13	0.09	0.56
7		49.97	12.69	9.52	0.63	8.27	8.33	2.36	0.26	0.14	0.09	0.60
8		49.72	14.91	8.54	0.56	6.60	8.62	2.79	0.24	0.13	0.12	0.53
9		49.72	13.99	8.69	0.57	7.43	8.55	2.46	0.29	0.13	0.10	0.54
10		49.06	15.51	8.08	0.54	6.23	8.73	2.53	0.35	0.11	0.10	0.51
11		50.27	16.21	6.38	0.44	4.49	8.61	2.35	0.69	0.10	0.11	0.40
12		45.22	10.43	13.88	1.19	8.57	7.50	2.40	0.16	0.17	0.17	1.15
13		43.30	11.05	12.93	1.00	8.22	8.12	2.49	0.30	0.15	0.20	0.93
14		47.53	12.10	11.24	0.91	7.50	7.77	2.44	0.56	0.15	0.19	0.79
15		49.83	14.46	8.91	0.74	6.10	7.00	2.84	0.33	0.12	0.18	0.70
16		48.17	15.40	8.46	0.62	5.84	7.60	3.02	0.54	0.11	0.13	0.55
17		43.37	8.77	18.24	2.86	5.58	9.52	1.79	0.32	0.19	0.07	2.81
18		43.77	8.26	19.42	3.27	5.39	9.57	1.73	0.22	0.21	0.09	3.19
19		46.24	10.30	14.17	1.62	6.22	8.48	1.86	1.16	0.20	0.05	1.54
20		43.85	8.68	18.47	4.15	4.96	9.37	1.82	0.49	0.22	0.10	4.07
21		58.55	10.58	10.12	2.29	2.85	5.67	1.11	2.24	0.10	0.08	2.24
22		45.85	9.34	17.29	3.48	4.62	9.00	1.89	0.42	0.23	0.10	3.39
23		43.40	8.85	18.30	3.01	4.58	9.26	2.09	0.18	0.20	0.10	2.88
24		45.96	11.42	13.84	1.91	4.71	9.58	1.98	0.75	0.14	0.09	1.80
25		45.15	7.84	13.81	0.90	11.91	6.75	1.42	0.28	0.19	0.13	0.88
26		49.47	10.95	10.95	0.78	8.37	6.14	1.98	0.63	0.15	0.10	0.73
27		49.09	10.30	11.05	0.91	8.37	7.29	2.17	0.33	0.15	0.21	0.88
28		48.68	14.21	9.20	0.77	6.13	7.60	2.66	0.58	0.13	0.14	0.73
29		68.60	11.13	3.14	0.32	2.37	2.26	2.40	1.47	0.04	0.06	0.28
30		48.46	14.19	8.59	0.65	5.97	7.74	2.57	0.34	0.12	0.13	0.62
31		43.77	10.63	15.04	2.23	3.91	9.72	2.13	0.27	0.14	0.10	2.18
32		46.31	14.15	11.57	1.68	2.96	9.53	2.84	0.39	0.11	0.12	1.62
33		47.18	12.27	11.01	1.10	4.90	9.03	2.53	0.38	0.13	0.09	1.05
34		49.14	14.43	9.61	0.98	4.48	8.31	3.29	0.47	0.12	0.12	0.91
35		48.00	13.76	10.71	1.28	4.02	7.87	3.42	0.69	0.12	0.14	1.22
36		42.04	9.22	18.07	2.86	4.45	9.66	2.18	0.11	0.18	0.09	2.73
37		45.50	10.90	12.16	1.37	5.30	8.52	2.51	1.21	0.15	0.23	1.32
38		43.90	7.42	18.10	2.91	4.76	9.91	1.41	0.33	0.20	0.12	2.83
39		47.20	13.14	12.05	1.64	3.60	8.90	2.71	0.58	0.12	0.13	1.26
40		46.26	9.50	14.21	1.91	4.88	9.33	1.76	0.52	0.16	0.24	1.82
41		47.55	11.33	13.30	1.75	4.30	7.41	2.36	0.69	0.16	0.14	1.67
42		44.47	9.77	17.73	3.93	4.67	8.81	2.57	0.42	0.21	0.11	2.38
43		48.78	11.99	10.48	1.05	4.44	7.27	3.24	1.11	0.14	0.17	0.91
44		43.52	7.83	19.82	4.13	4.96	8.99	1.75	0.24	0.24	0.14	3.92
45		53.71	11.87	10.99	1.55	1.86	6.28	3.22	0.90	0.14	0.59	0.75
46		44.31	7.26	19.25	4.23	4.75	9.44	1.11	0.57	0.24	0.15	4.03
47		44.42	8.33	19.22	4.29	4.24	8.69	2.26	0.05	0.24	0.18	4.13
48		44.67	8.81	18.71	4.09	4.24	9.17	2.19	0.33	0.24	0.19	3.76
49		44.49	8.23	17.57	3.53	3.78	9.01	2.03	0.59	0.24	2.08	3.21
50		48.63	8.28	18.23	3.85	3.95	7.51	1.93	0.38	0.25	0.31	3.47
51		45.03	8.64	17.29	3.68	3.53	8.37	1.95	0.69	0.22	0.26	3.53



Bilag 3: Analyser av eklogitter fra Nordfjord og Møre, Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal. Tabellen er et utdrag fra den tilsvarende tabell i Erambert 1991).

Referanseforkortelsene er følgende: B&G71 - Bryhni og Griffin 1971; B,B&G - Bryhni, Bollingberg og Graff 1969; Bra85 - Brastad 1985; Bra77 - Brastad 1977; Ca68a - Carswell 1968a; Ca68b - Carswell 1968b; C,H&A - Carswell, Harvey og Al-Samman 1983; Ca73 - Carswell 1973; Era85 - Erambert 1985; Esk21 - Eskola 1921; Ga&al - Garmann m.fl. 1975; G&M72 - Green og Mysen 1972; G&C85 - Griffin og Carswell 1985; G&Q85 - Griffin og Quale 1985; Her55 - Hernes 1955; J87b - Jamtveit 1987b; Kech - Kechid 1984; Lapp74 - Lappin 1974; Mør85 - Mørk 1985; Mys71 - Mysen 1971; Smi76 - Smith 1976; M&B88 - Mørk og Brunfelt 1988; M&O'H - Mercy og O'Hara 1965; O'H&M - O'Hara og Mercy 1963; Re85 - Reksten 1985;

#### XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
Nordfjord:												
52/68	Verpeneset	49.46	19.97	5.63	0.76	8.15	12.72	2.57	0.14	0.11	0.04	B&G71
	Verpeneset	47.46	17.36	11.76	2.50	8.67	9.13	1.45	0.04	0.28	0.13	B&G71
	Verpeneset	50.19	17.97	5.30	0.83	8.24	12.65	2.46	0.14	0.09	0.10	Ga&al
1	Allmeninge	46.44	14.46	10.19	0.54	13.80	10.12	1.00	<0.10	0.13	0.04	B,B&G
4	Halvneset	46.74	15.26	9.54	1.71	7.19	13.20	3.40	0.72	0.11	0.08	B,B&G
5 F51/68	Kvalneset	49.93	16.01	11.54	1.60	7.05	8.96	2.12	0.16	0.45	0.20	B,B&G
	Kvalneset	52.25	14.56	11.37	1.44	6.46	8.89	2.84	0.10	0.20	0.28	G&al
2520	Maurstad,†	48.87	15.79	10.10	0.15	7.59	13.00	3.09	0.03	0.20	0.07	G&M72
	Lyngenes	45.33	13.06	13.04	1.36	17.28	7.57	0.79	0.16	0.22	0.19	Eskol
Vågsøy:												
2	S of Opped	46.78	20.45	7.35	0.47	10.93	10.02	2.40	0.32	0.09	0.02	B,B&G
6	N of Svart	49.84	14.50	8.33	0.67	9.99	12.06	2.36	0.72	0.13	0.08	B,B&G
Stadtlandet:												
8/70	Selje	44.62	14.53	10.90	1.86	14.17	10.49	0.91	0.01	0.29	0.21	Ga&al
K6	Liset	43.40	17.86	16.70	1.74	4.70	9.85	2.93	0.06	0.14	0.00	Kech
K22	Liset	38.20	19.34	18.29	4.58	4.08	9.21	2.40	0.03	0.14	0.20	"
K30	Liset	43.60	18.82	15.19	2.05	4.78	9.68	3.10	0.01	0.11	0.35	"
K33	Liset	58.90	18.90	6.74	1.00	2.60	2.51	7.20	0.20	0.06	0.24	"
K34	Liset	55.10	19.25	10.35	1.94	3.32	2.94	5.35	0.17	0.07	0.20	"
K36	Liset	48.20	14.04	10.43	0.89	7.87	12.18	2.96	0.17	0.15	0.10	"
G209b	Liset	43.70	20.60	16.70	1.77	7.00	5.00	3.50	0.04	0.16	0.20	"
K26	Liset	57.34	18.92	4.19	0.56	2.75	5.26	8.95	0.04	tr.	0.00	"
K40	Liset	52.24	20.17	5.34	0.93	3.82	5.39	9.35	0.03	0.04	0.00	"
K46	Liset	52.20	19.50	6.83	3.65	3.45	4.93	7.00	0.15	0.07	0.30	"
K53	Liset	50.52	21.25	8.31	0.83	3.25	4.90	5.75	1.73	0.07	0.00	"
K24	Liset	60.40	17.81	5.20	0.68	2.30	2.10	7.95	0.72	0.06	0.00	"
K31a	Liset	73.80	10.92	3.34	0.53	2.05	2.41	5.25	tr.	0.03	0.00	"
K31b	Liset	57.90	15.85	9.51	1.87	4.03	3.36	5.87	tr.	0.08	0.00	"
K35	Liset	72.80	16.35	1.21	0.40	0.70	0.87	6.85	0.11	tr.	0.00	"
K48	Liset	61.44	19.26	4.03	0.59	1.91	1.34	8.00	1.22	0.05	0.00	"
K59	Liset	64.50	19.01	NA	0.56	1.22	1.09	9.35	0.18	tr.	0.00	"
K60	Liset	63.50	18.56	3.65	0.76	1.57	2.52	8.05	0.06	0.03	0.00	"
K61	Liset	62.30	19.40	3.53	0.58	1.50	2.50	8.30	0.12	tr.	0.00	"
G202a	Liset	63.60	18.40	3.35	0.23	1.52	2.59	8.80	0.04	tr.	0.00	"

## XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
Almklovdalen:												
N69	Lien	47.58	6.68	6.55	0.19	27.50	7.94	0.82	0.02	0.14	0.00	O'H&M
N71	Lien	46.68	12.23	7.50	0.17	19.80	10.15	0.58	0.02	0.22	0.00	"
N70	Lien	47.46	10.65	7.15	0.11	24.69	7.62	0.63	0.01	0.19	0.00	M&O'H
12/70	Helgehornv	42.57	3.03	7.95	0.06	41.62	1.86	0.12	NA	0.13	0.01	Ga&al
N75	Rødhaugen?	44.42	18.59	8.58	0.14	12.09	13.69	1.41	<0.01	0.18	0.01	M&O'H
N76	Rødhaugen	48.10	9.92	5.11	0.28	25.64	7.32	0.79	0.04	0.18	<0.003	"
N77	Rødhaugen	47.32	13.29	5.34	0.17	22.40	8.65	0.78	<0.01	0.22	0.01	"
Ecl.	Rødhaugen	48.70	11.70	7.52	0.00	16.70	13.90	0.40	0.20	0.20	0.00	M&O'H
9/70	Rødhaugen	48.72	11.28	6.40	0.32	17.62	12.41	2.01	0.20	0.21	0.09	Ga&al
6094	Sunndal	40.18	17.84	20.47	0.69	6.93	9.80	1.00	0.03	0.39	0.11	Lap74
6912	Sunndal	51.72	4.56	7.71	0.30	16.66	16.01	1.44	0.05	0.18	0.01	"
6096	Sunndal	43.19	17.19	14.69	0.34	8.56	11.06	2.24	0.01	0.23	0.10	"
6097	Sunndal	40.05	19.28	23.37	0.57	4.50	8.68	1.40	0.01	0.34	0.00	"
6098	Sunndal	43.83	16.44	18.44	0.70	5.41	9.66	3.06	0.03	0.34	0.03	"
1A-1	Raudkleiva	40.30	18.37	17.80	1.15	5.76	10.39	1.87	0.03	0.21	0.12	G&Q85
1A-2	Raudkleiva	40.23	17.63	18.34	1.32	6.41	9.36	2.28	0.06	0.25	0.10	"
1A-3	Raudkleiva	41.30	15.90	16.69	1.29	6.71	9.35	3.65	0.15	0.22	0.07	"
5B-4	Raudkleiva	45.79	13.31	14.62	0.79	8.37	12.00	2.19	0.03	0.25	0.04	"
5B-5	Raudkleiva	43.31	14.60	16.31	0.92	6.36	10.86	1.92	0.45	0.29	0.05	"
5B-6	Raudkleiva	48.68	12.22	9.85	0.55	9.69	12.40	3.32	0.10	0.11	0.04	"
5A-7	Raudkleiva	51.75	4.69	7.16	0.31	16.45	15.73	1.90	0.10	0.12	0.02	"
5A-8	Raudkleiva	52.00	3.98	6.73	0.27	17.97	16.60	1.39	0.11	0.09	0.01	"
6-9	Raudkleiva	52.19	3.23	5.99	0.25	18.23	17.71	1.04	0.02	0.09	0.03	"
6-10	Raudkleiva	41.05	17.53	19.12	0.68	7.46	9.91	1.04	0.03	0.32	0.04	"
6-11	Raudkleiva	38.86	16.96	19.05	1.34	7.07	9.80	1.21	0.05	0.31	0.10	"
Nordfjordeid:												
3	Store Tore	47.89	18.02	6.98	0.63	10.14	11.77	2.78	0.12	0.21	0.01	B,B&G
Bjørkedalen:												
7174	Bjørked.	46.55	7.32	12.12	0.89	18.55	11.37	1.06	0.11	0.23	0.07	Bra85
7963	Bjørked.	45.65	13.08	11.90	1.21	12.34	12.02	1.28	0.08	0.18	0.06	"
7964	Bjørked.	45.22	18.54	11.30	1.25	6.34	11.09	2.53	0.31	0.14	0.28	"
3573	Bjørked.	52.59	16.44	8.97	1.13	6.03	8.19	2.79	0.68	0.18	0.26	"
8033	Bjørked.	52.96	21.06	11.50	0.28	7.81	6.56	2.74	0.07	0.11	0.04	"
8062	Bjørked.	52.02	18.04	14.19	0.43	8.42	9.32	2.90	0.07	0.17	0.06	"
8037	Bjørked.	51.53	10.48	7.75	0.37	16.35	9.88	1.17	1.07	0.15	0.22	"
8065	Bjørked.	46.08	16.50	13.96	1.00	8.68	7.94	3.19	0.20	0.23	0.17	"
4374	Bjørked.	48.58	15.43	6.04	0.55	10.12	16.18	1.98	-	0.12	0.03	"
8674	Bjørked.	45.55	14.93	12.63	0.86	14.80	7.08	1.33	0.11	0.20	0.16	"
9074	Bjørked.	47.13	18.30	7.00	0.55	11.07	12.02	1.76	0.17	0.11	0.17	"
8674	Bjørked.	46.74	15.20	12.33	0.95	14.82	6.94	1.19	0.14	0.23	0.08	Bra77
9074	Bjørked.	47.64	18.47	7.08	0.57	11.83	12.36	1.86	0.18	0.11	0.06	"
9174	Bjørked.	50.10	18.33	5.66	0.45	9.36	11.70	3.44	0.16	0.12	0.03	"
Kvamsøy:												
KV11	N shore	45.00	14.18	0.00	0.11	13.16	16.90	0.33	0.05	0.26	0.06	Mór85
KV15	N shore	45.52	7.40	0.00	0.17	21.53	12.99	0.39	0.17	0.18	0.04	"
KV17	N shore	45.59	15.51	0.00	2.33	7.03	10.69	1.90	0.62	0.32	0.33	"
Gurskøy:												
E35	Sandvika	41.67	1.08	7.11	0.01	46.82	0.53	0.12	0.02	0.10	0.05	C,H&A
E36	Sandvika	44.06	4.34	6.05	0.13	40.41	3.35	0.34	0.01	0.11	0.04	"
E38	Sandvika	39.44	6.45	10.27	0.48	31.32	2.66	0.30	0.11	0.16	0.31	"
E39B	Sandvika	46.76	14.98	4.86	0.23	23.92	7.39	0.52	0.02	0.16	0.05	"
E99	Sandvika	46.78	16.53	4.48	0.25	21.99	7.74	0.53	0.01	0.16	0.05	"
14/70	Sandvika	44.73	4.59	6.32	0.14	42.12	2.76	0.23	NA	0.12	0.01	Ga&al

## XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
Hareidlandet:												
83-10	Eiksund.	44.20	12.40	15.01	0.84	15.12	6.20	1.05	1.66	0.19	0.09	J87b
83-33	Eiksund.	43.44	10.43	17.92	0.70	15.61	7.72	0.23	0.00	0.29	0.04	"
84-D	Eiksund.	43.77	13.94	15.42	0.96	12.77	7.08	1.57	0.40	0.20	0.13	"
84-E	Eiksund.	42.22	11.33	17.79	0.81	17.38	7.14	0.13	0.06	0.29	0.13	"
82-3	Eiksund.	37.90	8.86	20.52	0.81	20.59	5.21	0.05	0.00	0.31	0.36	"
82-6A	Eiksund.	40.14	8.80	20.68	0.53	18.55	4.47	0.39	0.00	0.31	0.18	"
82-7	Eiksund.	39.32	9.13	19.23	1.14	18.52	4.82	0.07	0.47	0.21	0.39	"
82-9	Eiksund.	37.99	3.87	24.06	0.82	23.96	2.56	0.06	0.02	0.34	0.10	"
E4	Eiksund.	42.51	8.07	18.71	0.98	20.57	6.58	0.18	0.03	0.21	0.12	C,H&A
E29	Eiksund.	38.42	8.71	20.08	0.65	22.04	4.10	0.18	0.00	0.43	0.02	"
E31	Eiksund.	37.54	11.06	22.04	0.87	22.13	2.59	0.05	0.02	0.39	0.14	"
E32	Eiksund.	39.36	4.99	23.36	0.81	23.99	3.34	0.14	0.00	0.44	0.15	"
E47	Eiksund.	42.45	6.02	21.57	0.77	23.17	3.46	0.09	0.00	0.27	0.16	"
E49	Eiksund.	39.50	4.27	24.36	0.80	25.52	2.26	0.05	0.00	0.34	0.18	"
E51	Eiksund.	39.87	9.89	19.78	0.80	20.20	6.06	0.33	0.03	0.23	0.11	"
E52	Eiksund.	45.50	4.91	21.57	0.76	23.74	1.08	0.01	0.01	0.22	0.01	"
E30	Eiksund.	37.40	12.11	22.45	1.05	21.84	2.41	0.02	0.01	0.53	0.12	"
E48	Eiksund.	41.07	14.76	17.44	0.96	12.93	10.72	0.63	0.01	0.52	0.52	"
A82-41	Eiksund.	45.07	15.67	13.58	1.31	11.05	8.07	2.63	0.00	0.20	0.19	J87b
A82-42	Eiksund.	45.21	14.90	13.92	1.43	10.91	7.98	2.83	0.02	0.19	0.24	"
A82-43	Eiksund.	44.78	14.55	14.15	1.02	12.79	7.88	1.74	0.67	0.19	0.13	"
A82-45	Eiksund.	44.07	14.94	14.15	1.23	11.43	7.69	2.46	0.00	0.18	0.28	"
A82-46	Eiksund.	43.93	15.04	13.70	1.14	11.51	7.71	2.59	0.01	0.19	0.04	"
A82-49	Eiksund.	44.47	13.36	14.76	0.93	13.98	7.37	1.45	0.42	0.21	0.10	"
A82-51	Eiksund.	45.56	13.67	13.98	0.95	13.79	7.30	1.91	0.44	0.19	0.17	"
A82-55	Eiksund.	43.91	14.46	15.07	1.05	11.72	7.61	2.31	0.05	0.21	0.16	"
A82-57	Eiksund.	44.30	14.09	14.07	1.22	11.80	7.77	2.27	0.08	0.20	0.15	"
A84-6'	Eiksund.	43.98	14.07	15.77	0.93	13.41	7.05	1.65	0.76	0.24	0.22	"
B82-18	Eiksund.	46.41	16.18	0.00	1.51	8.33	8.68	2.67	0.72	0.18	0.20	"
B82-29	Eiksund.	46.46	14.70	0.00	1.15	8.12	9.79	2.85	0.19	0.18	0.20	"
B82-30	Eiksund.	45.87	14.46	0.00	0.87	9.65	9.03	2.62	0.33	0.19	0.03	"
B82-31	Eiksund.	43.95	14.93	0.00	1.23	10.18	8.15	2.41	0.00	0.23	0.06	"
B82-34	Eiksund.	46.49	12.84	0.00	1.20	8.85	10.16	3.31	0.00	0.19	0.07	"
B82-40	Eiksund.	42.93	14.19	0.00	1.15	11.40	8.34	2.07	0.00	0.20	0.31	"
B82-47	Eiksund.	44.47	15.00	0.00	1.03	12.29	6.95	2.19	1.71	0.22	0.09	"
B82-59	Eiksund.	45.00	14.33	0.00	1.13	12.52	8.45	2.20	0.03	0.21	0.09	"
B83-4	Eiksund.	47.60	15.35	0.00	1.10	7.75	9.62	3.24	0.22	0.47	0.13	"
B83-36	Eiksund.	43.50	14.24	0.00	1.10	11.38	7.76	2.54	0.09	0.20	0.22	"
B83-38	Eiksund.	43.40	17.62	0.00	2.38	3.98	9.10	3.42	1.12	0.16	0.35	"
E1	Eiksund.	45.51	15.24	13.59	1.07	13.36	6.94	2.20	0.35	0.30	0.05	C,H&A
E3	Eiksund.	45.39	15.21	13.68	1.00	13.05	7.38	2.17	0.70	0.19	0.16	"
E22	Eiksund.	45.71	15.35	13.47	1.14	10.82	8.17	2.85	0.00	0.19	0.30	"
E41	Eiksund.	45.00	15.50	12.88	0.96	11.68	8.11	2.88	0.01	0.32	0.09	"
E42	Eiksund.	43.55	14.90	14.97	1.04	12.85	6.89	2.16	0.27	0.22	0.30	"
E43	Eiksund.	45.98	16.52	13.57	1.11	10.51	7.81	3.17	0.02	0.17	0.18	"
E44	Eiksund.	43.64	14.84	14.74	1.20	12.04	6.71	2.25	1.40	0.20	0.27	"
E45	Eiksund.	55.53	10.49	5.87	0.13	8.90	12.19	5.25	0.02	0.08	0.21	"
E50a	Eiksund.	47.39	7.09	11.20	0.86	15.82	15.84	0.67	0.01	0.14	0.09	"
E50b	Eiksund.	38.57	17.80	19.79	1.18	13.95	6.84	0.04	0.01	0.30	0.24	"
Ulst.Dimn.:												
UA709	Hareidsede	48.32	15.77	12.49	1.94	7.01	8.97	3.28	tr.	0.22	0.26	Mys71
UA7011	Osneset	49.64	14.98	13.22	2.11	6.47	7.98	3.31	0.02	0.18	0.25	"
UA7012	Osneset	48.89	14.90	10.38	2.45	7.41	8.47	4.27	tr.	0.27	0.24	"
UA7014	Osneset	45.86	16.67	9.74	1.44	8.42	11.41	3.81	0.52	0.23	0.16	"
UA7015	Osneset	49.70	14.77	9.95	1.91	7.51	10.09	3.66	tr.	0.15	0.20	"
UA7016	Osneset	52.21	14.37	12.72	1.69	5.77	7.69	3.31	tr.	0.21	0.16	"
T.ecl.	Dimna	46.93	15.88	8.35	1.42	10.33	12.34	2.69	0.15	0.16	0.11	"

## XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
U7070	Ulsteinvik	55.19	13.71	3.61	0.85	9.52	12.61	4.83	tr.	0.03	0.01	Mys71
U7022b	Dimna	72.22	9.82	8.66	0.85	4.07	2.53	0.43	tr.	0.38	0.04	"
U7069	Ulsteinvik	48.09	13.97	10.64	1.85	10.38	10.71	3.23	tr.	0.18	0.15	"
D7022a	Dimna	51.07	14.78	10.35	1.49	8.61	9.28	2.41	0.58	0.22	0.27	"
D7022c	Dimna	48.59	15.88	9.52	1.63	8.41	11.44	2.22	0.13	0.28	0.13	"
DA70103	Dimna	47.90	14.91	6.02	0.31	13.90	10.69	2.98	1.24	0.21	0.13	"
U701	Osneset	48.16	14.62	11.64	1.73	7.81	11.32	2.49	tr.	0.20	0.20	"
U702	Osneset	50.61	16.17	13.38	1.42	7.07	8.11	2.45	0.02	0.29	0.22	"
U70110	Hareidsede	48.98	14.31	9.91	1.54	8.47	11.12	3.10	0.38	0.19	0.28	"
DEG2	Dimna	47.87	12.98	7.60	0.34	15.91	10.12	2.49	0.42	0.13	0.00	"
D705	Dimna	49.31	16.61	9.09	0.76	8.19	11.82	3.21	0.26	0.13	0.09	"
D706a	Dimna	49.04	15.43	10.03	1.15	8.61	8.62	4.31	0.75	0.22	0.20	"
D7011	Dimna	49.23	15.42	9.13	1.15	9.31	10.50	3.21	0.26	0.19	0.09	"
U7015	Saunes	49.24	15.28	9.87	1.52	8.01	11.17	3.80	tr.	0.19	0.17	"
D7018	Dimna	46.75	14.74	9.96	1.56	8.63	12.96	2.43	0.12	0.25	0.10	"
D7023	Dimna	45.91	16.81	10.59	1.83	8.83	10.11	2.86	0.36	0.22	0.19	"
U7023	Osneset	47.51	14.09	11.74	1.73	8.91	11.21	2.98	tr.	0.20	0.18	"
U7030	Ulsteinvik	48.13	14.81	10.77	1.85	8.82	11.01	3.68	0.18	0.19	0.19	"
UA7034	Ulsteinvik	47.82	13.88	14.14	2.16	7.74	10.42	2.53	tr.	0.22	0.25	"
U7040	Ulsteinvik	52.64	14.27	12.16	2.37	5.61	7.10	2.49	tr.	0.30	0.59	"
U7043	Ulsteinvik	53.71	14.68	9.31	1.22	7.10	8.28	2.87	0.90	0.19	0.15	"
U7063	Ulsteinvik	46.31	18.51	6.67	0.77	10.22	14.88	0.76	0.52	0.16	0.12	"
U7083b	Uls.Dimn.	51.49	9.81	18.79	0.74	5.68	9.82	1.18	tr.	0.34	0.35	"
U70108	Hareidsede	49.31	16.82	8.61	1.63	8.17	11.91	2.35	tr.	0.16	0.19	"
16/70	Dimnøy	49.11	15.40	8.49	1.22	8.59	12.59	2.56	0.11	0.15	0.00	Ga&al
17/70	Dimnøy	47.17	15.13	8.09	0.68	10.24	11.37	3.11	0.60	0.17	0.00	"
18/70	Osneset	49.81	15.20	11.71	1.90	6.55	9.01	3.44	0.02	0.22	0.09	"
19/70	Osneset	48.40	14.66	9.96	1.10	9.96	9.43	3.48	0.18	0.19	0.00	"
21/70	Ulsteinvik	46.02	15.61	9.41	1.24	11.17	8.17	2.82	0.54	0.16	0.00	"
Vartdal:												
GTOL	Essdalen	40.33	15.50	15.24	0.03	25.76	3.33	<0.10	<0.01	0.15	0.03	Era85
GTDI	Essdalen	43.11	18.35	13.94	0.10	16.38	8.66	<0.10	<0.01	0.23	0.05	"
U14	Essdalen	48.65	10.23	9.61	0.57	14.31	14.60	1.13	<0.01	0.18	0.07	"
S35	Essdalen	47.92	15.11	9.44	0.24	14.72	10.32	2.03	<0.01	0.15	0.06	"
S34	Essdalen	47.26	14.73	12.86	0.25	20.58	3.87	0.37	0.03	0.18	0.03	"
T7	Essdalen	49.15	13.24	12.14	0.29	20.02	4.49	0.60	0.02	0.17	0.03	"
S10	Essdalen	47.16	20.86	6.91	0.18	12.57	9.87	2.47	<0.01	0.08	0.07	"
S17GT	Essdalen	45.55	19.68	8.93	0.08	16.24	8.16	1.45	0.01	0.11	0.06	"
S17CP	Essdalen	51.60	11.91	5.37	0.27	13.60	12.35	2.93	0.01	0.06	0.07	"
S20	Essdalen	47.85	21.13	6.42	0.06	11.97	9.53	2.67	0.03	0.07	0.06	"
U13	Essdalen	47.77	14.70	9.90	0.21	14.02	10.96	1.80	<0.01	0.16	0.06	"
S18	Essdalen	50.10	6.88	8.51	0.68	16.70	13.58	0.80	0.01	0.20	tr.	"
S100	Essdalen	47.69	14.45	10.72	0.37	12.82	11.60	1.06	0.02	0.22	0.07	"
S83a	Essdalen	51.28	7.60	9.10	0.46	14.81	13.32	1.66	0.02	0.21	0.07	"
S83b	Essdalen	51.49	6.96	9.53	0.38	16.75	11.90	1.20	0.04	0.20	0.06	"
T5	Essdalen	52.72	7.43	11.36	0.33	14.75	10.47	1.68	0.10	0.26	0.06	"
S6	Essdalen	40.12	20.14	19.56	1.33	7.33	11.40	0.63	0.04	0.33	0.07	"
S12	Essdalen	51.72	16.17	9.94	0.22	8.11	9.68	3.44	0.04	0.21	0.05	"
S55	Essdalen	58.32	15.15	11.91	0.76	3.69	6.86	2.73	0.05	0.19	0.08	"
S56	Essdalen	69.03	15.45	5.80	0.41	2.08	2.77	3.72	0.04	0.10	0.05	"
C203	Essdalen	49.86	9.32	7.75	0.63	15.42	12.95	1.35	0.02	0.16	0.04	Smi76
C206	Essdalen	46.34	12.02	16.22	1.26	10.23	11.81	0.87	0.07	0.23	0.37	"
C265	Essdalen	51.34	9.20	9.23	0.39	16.19	10.48	0.87	0.05	0.24	0.04	"
B13	Essdalen	44.48	12.72	10.79	2.63	13.55	11.68	0.32	0.05	0.20	0.40	"
C76	Essdalen	45.51	16.75	8.61	0.57	14.70	11.05	1.28	0.02	0.16	0.04	"
C146	Skorgedale	48.17	10.35	8.93	0.60	14.21	14.96	1.00	0.17	0.27	0.03	Smi76
C93	Skorgedale	51.23	13.92	7.79	0.50	11.40	12.89	2.54	0.07	0.17	0.03	"

## XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
Tafjord:												
N21	Kalskaret	42.95	0.88	9.67	0.04	40.97	2.20	0.19	<0.02	0.15	<0.003	M&O'H
N23	Kalskaret	48.83	8.55	9.39	0.45	21.72	8.46	0.84	<0.01	0.19	<0.003	"
N26	Kalskaret	44.26	5.81	10.00	0.34	29.54	6.88	0.72	0.02	0.16	0.01	"
T200	Kalskaret	41.56	1.66	7.02	0.04	44.86	1.36	0.10	0.03	0.12	0.00	Ca68b
T268	Kalskaret	40.66	0.48	6.10	0.01	46.48	0.09	0.04	0.03	0.09	0.00	"
T150	Kalskaret	42.83	6.88	11.02	0.46	26.34	5.96	0.53	0.07	0.19	0.00	"
T151	Kalskaret	44.93	6.40	12.33	0.44	25.57	7.36	0.75	0.03	0.16	0.00	"
T152	Kalskaret	44.44	6.28	12.88	0.48	24.86	7.92	0.82	0.02	0.18	0.00	"
T153	Kalskaret	46.53	11.58	11.09	0.64	16.08	11.00	1.01	0.02	0.22	0.00	"
T154	Kalskaret	44.26	5.76	11.54	0.38	27.75	6.90	0.79	0.01	0.18	0.00	"
T97	Kalskaret	46.45	7.95	10.22	0.53	22.89	9.06	0.88	0.02	0.18	0.00	"
T96	Kalskaret	45.95	6.44	11.26	0.22	29.10	4.48	0.59	0.03	0.18	0.00	"
T155	Kalskaret	44.99	8.17	7.81	0.22	23.75	7.94	0.86	0.12	0.12	0.00	"
T156	Kalskaret	42.57	0.28	6.44	0.01	47.85	0.10	0.03	0.01	0.10	0.00	"
T162	Kalskaret	42.79	0.70	9.43	0.04	41.74	2.04	0.26	0.04	0.16	0.00	"
T100	Kalskaret	43.26	3.60	6.18	0.04	37.80	4.12	0.47	0.07	0.10	0.00	"
Flemsøy:												
GE3b	Flemsøy, N	45.50	14.26	13.33	4.63	5.74	9.13	3.37	1.20	0.20	0.46	M&B88
GE15	Flemsøy, N	45.22	13.87	14.82	1.48	12.03	7.50	2.35	0.79	0.21	0.22	"
GE4c	Flemsøy, N	45.11	13.29	15.10	1.37	12.59	7.36	1.90	0.73	0.23	0.20	"
GE4a	Flemsøy, N	44.83	13.54	14.92	1.42	12.29	7.60	2.33	0.64	0.22	0.21	"
GE7	Flemsøy, N	45.02	15.85	14.23	1.06	12.08	7.18	2.79	0.65	0.18	0.22	"
EH16	Flemsøy, N	45.85	13.99	14.10	1.58	9.11	8.19	3.43	0.11	0.22	0.22	"
EH14	Flemsøy, N	41.41	8.26	18.99	1.24	19.46	4.77	1.26	0.51	0.29	0.24	"
EH9	Flemsøy, N	43.37	13.80	14.85	0.80	13.93	6.59	2.31	0.56	0.20	0.15	"
EH5	Flemsøy, N	45.54	15.75	11.20	1.28	11.89	9.63	2.05	0.16	0.18	0.21	"
EN3	Flemsøy, N	45.92	15.87	13.09	1.76	9.31	8.36	2.66	0.45	0.19	0.24	"
Midøy:												
U514	Litlediger	46.65	12.16	9.32	2.45	9.81	12.98	2.65	0.08	0.18	0.80	G&C85
Average	Litlediger	46.42	15.82	12.25	1.30	10.56	9.10	2.39	0.08	0.20	0.18	"
Otrøy:												
U2	Ugelvik	39.67	2.00	6.31	0.01	39.65	1.06	0.14	0.06	0.10	0.00	Ca68a
U3	Ugelvik	36.72	0.13	6.35	0.00	42.17	0.05	0.06	0.01	0.10	0.00	"
U6	Ugelvik	49.49	3.70	6.16	0.07	25.86	10.40	0.28	0.02	0.16	0.00	"
U16	Ugelvik	39.04	1.41	6.40	0.01	42.23	0.38	0.11	0.03	0.11	0.00	"
U95	Ugelvik	55.03	4.16	4.07	0.03	32.66	1.98	0.19	0.00	0.10	0.00	Ca73
U8	Raudhaugen	43.39	6.27	6.23	0.21	31.68	4.18	0.37	0.02	0.17	0.00	Ca68a
Average	Raknestang	40.12	7.41	22.99	0.71	21.20	4.19	0.09	0.26	0.28	0.22	C, H&A
Eide:												
D	Kolmannsko	44.22	6.50	15.86	0.42	26.79	3.59	0.07	0.79	0.29	0.03	C, H&A
I	Kolmannsko	48.24	8.99	10.72	0.90	13.92	14.73	1.04	0.09	0.23	0.03	"
3	Bollia	50.67	17.00	7.80	0.36	13.03	9.01	2.03	0.00	0.17	0.00	Her55
5	NØs	48.23	15.44	14.28	2.52	6.47	9.73	2.24	0.13	0.23	0.20	"
KR8370.1	Visnes gr.	46.70	17.36	10.30	1.62	4.03	16.43	2.33	0.20	0.19	0.11	Re85
KR8370.2	Visnes gr.	47.22	17.63	11.06	2.03	5.29	12.93	2.57	0.33	0.17	0.00	"
KR8370.3	Visnes gr.	49.48	16.89	5.46	0.55	4.67	19.26	2.58	0.55	0.15	0.00	"
KR8370.4	Visnes gr.	45.74	16.92	7.94	0.68	7.56	17.03	2.48	0.99	0.10	0.00	"
KR8370.5	Visnes gr.	47.81	15.77	8.73	0.78	9.22	14.00	2.87	1.00	0.21	0.00	"

## XRF-analyser

Prøve	Lokalitet	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ref.
KR8321	Visnes	48.85	14.62	12.91	2.24	6.63	10.03	3.54	0.06	0.13	0.11	Re85
KR8340	Visnes	46.36	14.81	10.38	0.85	10.21	14.55	1.89	0.01	0.15	0.02	"
KR8342	Visnes	46.05	16.86	11.45	0.82	12.93	9.05	1.91	0.00	0.16	0.04	"
KR8343	Visnes	44.64	14.87	14.59	1.95	8.38	12.79	1.33	0.17	0.28	0.00	"
KR83u	Visnes gr.	48.79	15.24	8.70	1.19	7.60	12.90	3.96	0.83	0.17	0.01	"
KR8341	Visnes	48.80	16.56	7.05	0.51	9.71	14.60	2.04	0.01	0.18	0.00	"
KR8322	Visnes	50.39	15.98	12.02	1.85	5.37	8.79	4.44	0.04	0.25	0.03	"
KR8437	Visnes gr.	45.53	15.75	11.86	2.37	8.07	12.62	2.49	0.08	0.22	0.21	"
KR8227	Visnes	48.57	14.97	12.49	1.83	7.66	10.74	2.64	0.01	0.13	0.05	"
KR8209	Visnesvt.	49.44	16.01	8.63	0.48	9.07	13.43	2.10	0.00	0.19	0.00	"
KR8339	Visnes	47.57	15.69	6.15	0.48	11.49	16.75	1.26	0.01	0.14	0.00	"
KR8351	Visnes gr.	45.81	14.70	10.30	1.54	8.35	14.46	3.61	0.33	0.17	0.00	"
KR8353	Visnes	48.64	15.60	9.00	1.11	7.55	12.72	4.06	0.41	0.23	0.08	"

Bilag 4:**TEST AV PUKKEGENSKAPER.**

ÅDNEFJELL 1 (Prøve HÅ110.90): (kartblad 1116-3, UTM 2847/67240). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 7. Bergarten er en eklogittisert anortositt. Dette er et av de største områdene med sammenhengende eklogitt-anortositt på Holsnøy. Eklogitten grenser over i granatholdig meta-anortositt via soner med eklogittbreksje. Denne eklogittvarianten skiller seg noe ut fra andre eklogitt-anortositter ved at den har et karakteristisk kyanitt-innhold som er lett synlig på erodert overflate. Mineralinnholdet er: 30% granat, 15% klinopyroksen, 15% amfibol, 10% clinozoisitt, 20% kyanitt, 5% kvarts og 5% lys glimmer.

## Mekaniske egenskaper:

- Spesifikk vekt: 3.30
- Pakningsgrad: 1
- Flisighetstall: 1.34
- Korr. sprøhetstall: 27.86
- Abrasjonsverdi: 0.38
- Slitasjemotstand: 2.01

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien er god. Bergarten kan anvendes til teknisk høyverdige formål.

ÅDNEFJELL 2: (kartblad 1116-3, UTM 2850/67246). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 8. Bergarten er en finkornig eklogitt (eklogittisert anortositt). Mineralinnhold: 30% granat, 15% omfasittisk klinopyroksen, 15% clinozoisitt, 15% kyanitt, 10% amfibol, 5% feltspat (albitt), 5% kvarts, 5% lys glimmer).

## Mekaniske egenskaper (1990-resultater):

- Spesifikk vekt: 3.28 (3.25)
- Pakningsgrad: 0 (0)
- Flisighetstall: 1.34 (1.37)
- Korr. sprøhetstall: 16.58 (25.9)
- Abrasjonsverdi: 0.33 (0.36)
- Slitasjemotstand: 1.34 (1.83)
- PSV<sup>\*</sup>: 53

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien er god. Bergarten kan anvendes til teknisk høyverdige formål.

HUSEBØ: (kartblad 1116 III, UTM 2805/67253). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 10. Bergarten er middels- til finkornet eklogitt. Mineralinnhold: 50 % amfibol, 25 % granat, 15 % glimmer, 5 % kvarts og 5 % oksyd.

## Mekaniske egenskaper (1990-resultater):

- Spesifikk vekt: 3.11
- Pakningsgrad: 1
- Flisighetstall: 1.33
- Korr. sprøhetstall: 34.1
- Abrasjonsverdi: 0.50
- Slitasjemotstand: 2.92

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien klassifiseres som god. Bergarten kan anvendes til bære og forsterkningslag i veidekker. Prøven dekker kravet til asfalttilslag for middels tarfikkbelastede veier. Glimmerinnholdet er noe høyt for anvendelse i betong.

\* Utført av Messrs. Sandberg, Consulting, inspecting and testing engineers, 40 Grosvenor Gardens, London SW1W 0LB, ENGLAND.

DRØSDAL: (kartblad 1117-1, UTM 2952/67970). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 10. Bergarten er eklogitt. Mineralinnhold: 20% granat, 5% klinopyroksen, 10% kyanitt, 55% amfibol, 5% kvarts, 3% lys glimmer og 1% rutil.

Mekaniske egenskaper (1990-resultater):

- Spesifikk vekt: 3.30
- Pakningsgrad: 1
- Flisighetstall: 1.30
- Korr. sprøhetstall: 36.4
- Abrasjonsverdi: 0.52
- Slitasjemotstand: 3.14

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien klassifiseres som god. Bergarten kan anvendes til bære og forsterkningslag i veidekker. Slitasjemotstanden er for høy til at materialet er godt egnet som tilslag i asfalt.

GJØLANGER : (kartblad 1117-1, UTM 2985/67036). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 11. Bergarten er eklogitt. Mineralinnholdet er: 25% granat, 45% bestående av aggregater med clinopyroksen, amfibol, plagioklas, kyanitt, clinozoisitt og lys glimmer, og 20% amfibol og 10% lys glimmer utenfor disse aggregatene.

Mekaniske egenskaper:

- Spesifikk vekt: 3.45
- Pakningsgrad: 1
- Flisighetstall: 1.33
- Korr. sprøhetstall: 26.2
- Abrasjonsverdi: 0.29
- Slitasjemotstand: 1.48

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien klassifiseres som meget god. Bergarten kan anvendes til alle byggetekniske formål. Den lave abrasjonsverdien gjør materialet spesielt egnet som tilslag i slitasjedekker på veier med høy trafikkbelastning.

KVAMMEN: (kartblad 1117-1, UTM 3090/67194). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 12. Bergarten er eklogitt. Mineralinnholdet er: 30% granat, 20% klinopyroksen, 35% amfibol, 13% lys glimmer og 2% rutil.

Mekaniske egenskaper:

- Spesifikk vekt: 3.28
- Pakningsgrad: 0
- Flisighetstall: 1.32
- Korr. sprøhetstall: 27.5
- Abrasjonsverdi: 0.52
- Slitasjemotstand: 2.73
- PSV\*: 59

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien er god. Bergarten kan anvendes til teknisk høyverdige formål.

KROKEN: (kartblad 1118-1, UTM 082/705). Prøvelokaliteten framgår av Fig. 13. Bergarten er eklogitt. Mineralinnholdet er: 20% granat, 20% amfibol, 2% rutil og 58% bestående av aggregater av amfibol, clinopyroksen og plagioklas.

Mekaniske egenskaper (verdier fra Erichsen og Trønnes 1988 i parentes):

- Spesifikk vekt: 3.28 (3.26)
- Pakningsgrad: 0 (0)
- Flisighetstall: 1.29 (1.34)
- Korr. sprøhetstall: 27.01 (29.6)
- Abrasjonsverdi: 0.42 (0.33)
- Slitasjemotstand: 2.18 (1.80)
- PSV\*: 54

Bergarten faller inn under klasse 2 etter fallprøven. Abrasjonsverdien er meget god. Bergarten kan anvendes til teknisk høyverdige formål.



Bilag 5:

Referanseliste for eklogitter på Vestlandet (etter Erambert 1991) og for Bamble-Arendal regionen (GEOREF). Upubliserte hovedfags- og doktorgradsarbeider inngår i eklogittreferanselisten men ikke i særlig grad for Bamble-regionen.

Eklogittbergarter på Vestlandet:

- AGRINIER P., JAVOY M., SMITH D.C. and PINEAU F. (1985): Carbon and oxygen isotopes in eclogites, amphibolites, veins and marbles from the Western Gneiss Region, Norway. *Chem. Geol.* 52, 145-162.
- AUSTRHEIM H. and MØRK M.B.E. (1988): The lower continental crust of the Caledonian mountain chain: evidence from former deep crustal sections in western Norway. *N.G.U. Spec. Publ.* 3, 102-113.
- BINNS R.A. (1967): Barroisite-bearing eclogite from Nautsdal, Sogn og Fjordane, Norway. *J.Petrol.* 8, 349-379.
- BJØRNSTAD B. (1987): Geologisk utvikling av proterozoiske gneiser i ytre Romsdal, Vest-Norge. *Cand. Sci. Oppgave, Univ. Oslo.* 131 pp
- BOLLINGBERG H.J. and BRYHNI I. (1972): Minor element zonation in an eclogite garnet. *Contrib. Min. Petrol.* 36, 113-122.
- BRASTAD K. (1985): Relations between anorthosites, eclogites and ultramafites in Bjørkedalen, Western Norway. In: *The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas.* D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 859-872.
- BRASTAD K. (1983): Petrology of eclogite rocks within the Bjørkedalen peridotite, Western Norway. *Bull.Min.* 106, 751-759.
- BRASTAD K. (1977): En geologisk undersøkelse av anorthositter og andre bergarter på grensen mellom Nordfjord og Sunnmøre. Unpubl. Hovedfagsoppgave. Univ. Oslo.
- BRUECKNER H.K. (1969): Timing of ultramafic intrusions in the core zone of the Caledonides of southern Norway. *Am. J. Sci.* 267, 1195-1212.
- BRUECKNER H.K. (1974): "Mantle" Rb/Sr and  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  ratios for clinopyroxenes from Norwegian garnet peridotites and pyroxenites. *E.P.S.L.* 24, 26-32.
- BRUECKNER H.K. (1977): A structural, stratigraphic and petrologic study of anorthosites, eclogites and ultramafic rocks and their country rocks, Tafjord area, western south Norway. *N.G.U.* 332, 1-53.
- BRUECKNER H.K. (1977): A crustal origin for eclogites and a mantle origin for garnet peridotites: Strontium isotopic evidence from clinopyroxenes. *Contrib. Min. Petrol.* 60, 1-15.
- BRYHNI I. (1966): Reconnaissance studies of gneisses, ultrabasites, eclogites and anorthosites in outer Nordfjord, western Norway. *N.G.U.* 241, 1-68.
- BRYHNI I. and ANDREASSON P.G. (1985): Metamorphism in the Scandinavian Caledonides. In: *The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas.* D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 763-781.
- BRYHNI I. and BRASTAD K. (1980): Caledonian regional metamorphism in Norway. *J. Geol. Soc. London* 137, 251-259.
- BRYHNI I., BOLLINGBERG H.J. and GRAFF P.R. (1969): Eclogites in quartz feldspathic gneisses of Nordfjord, west Norway. *N.G.U.* 49, 193-225.
- BRYHNI I., GREEN D.H., HEIER K.S. and FYFE W.S. (1970): On the occurrence of eclogite in western Norway. *Contrib. Miner. Petrol.* 26, 12-19.
- BRYHNI I. and GRIMSTAD (1970): Supracrustal and infracrustal rocks in the gneiss region of the Caledonides west of Breimsvatn. *N.G.U.* 266, 105-140.

- BRYHNI I. and GRIFFIN W.L. (1971): Zoning in eclogite garnets from Nordfjord, west Norway. *Contrib.Mineral.Petrol.* 32, 112-125.
- BRYHNI I., KROGH E.J. and GRIFFIN W.L. (1977): Crustal derivation of norwegian eclogites, a review. *Neues Jahrb. Miner. Abh.* 130, 49-68.
- CARSWELL D.A. (1968a): Possible primary upper mantle peridotite in Norwegian Basal Gneiss. *Lithos* 1, 322-355.
- CARSWELL D.A. (1968b): Picritic magma - residual dunite relationships in garnet peridotite at Kalskaret near Tafjord, south Norway. *Contr.Mineral.Petrol.* 19, 97-124.
- CARSWELL D.A. (1973): Garnet pyroxenite lens within Ugelvik layered garnet peridotite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 20, 347-352.
- CARSWELL D.A. (1981): Clarification of the petrology and occurrence of garnet lherzolites, garnet websterites and eclogites in the vicinity of Rødhaugen, Almklovdalen, West Norway. *N.G.T.* 61, 249-260.
- CARSWELL D.A. (1986): The metamorphic evolution of Mg-Cr type Norwegian garnet peridotites. *Lithos* 19, 279-297.
- CARSWELL D.A. and CUTHBERT S.J. (1986): Eclogite facies metamorphism in the lower continental crust. In: *The nature of the lower continental crust.* J.B. Dawson, D.A. Carswell, J. Hall and K.H. Wedepohl (Eds). *Geol. Soc. London Spe. Publ.* 24, 193-209.
- CARSWELL D.A., CURTIS C.D. and KANARIS-SOTIRIOU R. (1974): Vein metasomatism in peridotite at Kalskaret, near Tafjord, south Norway. *J. Petrol.* 15, 383-402.
- CARSWELL D.A. and GIBBS F.G.F. (1980): The equilibration conditions and petrogenesis of European crustal garnet lherzolites. *Lithos* 13, 19-29.
- CARSWELL D.A. and HARVEY M.A. (1985): The intrusive history and tectonometamorphic evolution of the Basal Gneiss Complex in the Moldefjord area, west Norway. In: *The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas.* D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 843-857.
- CARSWELL D.A., HARVEY M.A. and AL-SAMMAN A. (1983): The petrogenesis of contrasting Fe-Ti and Mg-Cr garnet peridotite types in the high grade gneiss complex of western Norway. *Bull.Min.* 106, 727-750.
- CARSWELL D.A., KROGH E.J. and GRIFFIN W.L. (1985): Norwegian orthopyroxene eclogites: calculated equilibration conditions and petrogenetic implications. In: *The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas.* D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 823-841.
- CHAUVET A. (1989): Etude petrostructurale du substratum des bassins devoniens de l'Ouest de la Norvege: les processus d'amincissement de la croute caledonienne epaissie. Thesis doctorat. Univ. Montpellier. 281 pp.
- CORDELLIER F., BOUDIER F. and BOULLIER A.M. (1981): Structural study of the Almklovdalen peridotite massif, southern Norway. *Tectonophysics* 77, 257-281.
- 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.
- CUTHBERT S.J., HARVEY M.A. and CARSWELL D.A. (1983): A tectonic model for the metamorphic evolution of the Basal Gneiss Complex, Western South Norway. *J. Metam. Geol.* 1, 63-90.
- DUNN S.R. and MEDARIS L.G. Jr (1989): Retrograded eclogites in the Western Gneiss Region, Norway, and thermal evolution of a portion of the Scandinavian Caledonides. *Lithos* 22, 229-245.
- ERAMBERT M. (1985): Etude petrologique de lentilles eclogitiques mafiques et ultramafiques et de leur encaissant a Essdalen, Vartdal, Sunnmøre (Norvege). Thesis Univ Paris VI and Museum National d'Histoire Naturelle. 319 pp.
- ESKOLA P. (1921): On the eclogites of Norway. *Skr. Norske Vidensk. Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl.I,* 8, 1-118
- GARMANN L.B., BRUNFELT A.O., FINSTAD K.G. and HEIER K.S. (1975): Rare-earth element distribution in basic and ultrabasic rocks from west Norway. *Chem. Geol.* 15, 103-116.
- GARMANN L.B., BRUNFELT A.O. and HEIER (1976): Scandium, chromium, iron, cobalt and nickel in some basic and ultrabasic rocks from west Norway. *Chem. Geol.* 18, 49-55.
- GEBAUER D., LAPPIN M.A., GRUNENFELDER M. and WYTENBACH A. (1985): The age and origin of some Norwegian eclogites: a U-Pb zircon and REE study. *Chem. Geol.* 52, 227-247.
- GJELSVIK T. (1951): Oversikt over bergartene i Sunnmøre og tilgrensende deler av Nordfjord. *N.G.U.* 179.

- GJELSVIK T. (1952): Metamorphosed dolerites in the gneiss area of Sunnmøre on the West coast of southern Norway. N.G.T. 30, 33-134.
- GJELSVIK T. (1957): Geochemical and mineralogical investigations of titaniferous iron ores, west coast of Norway. Econ. Geol. 52, 482-498.
- GJELSVIK T. (1960): The differentiation and metamorphism of the west Norwegian dolerites. Norsk Vidensk. Selsk. Skr. 3, 1-11.
- GREEN T.H. and MYSEN B. (1972): Genetic relationships between eclogite and hornblende + plagioclase pegmatite in Western Norway. Lithos 5, 147-167.
- GRIFFIN W.L. (1987): 'On the eclogites of Norway': 65 years later. Min. Mag. 51, 333-343.
- GRIFFIN W.L. and RÅHEIM A. (1973): Convergent metamorphism of eclogites and dolerites, Kristiansund area, Norway. Lithos 6, 21-40.
- GRIFFIN W.L. and MØRK M.B.E. (1981), Eds.: Eclogites and basal gneisses in Western Norway. Guide Excursion B1 Uppsala Caledonides Symposium. 88 pp.
- GRIFFIN W.L., AUSTRHEIM H., BRASTAD K., BRYHNI I., KRILL A., MØRK M.B.E., QVALE H. and TØRUDBAKKEN B. (1985): High pressure metamorphism in the Scandinavian Caledonides. In: The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas. D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 783-801.
- GRIFFIN W.L. and BRUECKNER H.K. (1980): Caledonian Sm-Nd ages and a crustal origin for Norwegian eclogites. Nature 285, 319-321.
- GRIFFIN W.L. and BRUECKNER H.K. (1985): REE, Rb-Sr and Sm-Nd studies of Norwegian eclogites. Chem. Geol. 52, 249-271.
- GRIFFIN W.L. and CARSWELL D.A. (1985): In situ metamorphism of Norwegian eclogites: an example. In: The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas. D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 813-822.
- GRIFFIN W.L. and QVALE H. (1985): Superferrian eclogites and the crustal origin of garnet peridotites, Almklovdalen, Norway. In: The Caledonide Orogen - Scandinavia and Related areas. D.G. Gee and B.A. Sturt (Eds). Wiley, Chichester, pp 803-812.
- GRØNLIE G., MYSEN B.O. and BECH O.M. (1972): Gravity investigation of the Hareidlandet eclogite, western Norway. N.G.T. 52, 305-311.
- HERNES I. (1953): Eclogite-amphibolite on the Molde peninsula, southern Norway. N.G.T. 33, 163-184.
- HERNES I. (1955): Geologisk oversikt over Molde-Kristiansunds området. Kgl. Nor. Vitensk. Selsk. Skr. 5, 17 pp.
- JACOBSEN V.W. (1977): Serpentinittisert olivinstein i Nordfjord. Unpubl. Hovedoppgave i Geol. Univ. Oslo. 185 pp.
- JAMTVEIT B. (1984): High-P metamorphism and deformation of the Gurskebotn garnet peridotite, Sunnmøre, western Norway. N.G.T. 64, 97-110.
- JAMTVEIT B. (1987a): Metamorphic evolution of the Eiksunddal eclogite complex, western Norway, and some tectonic implications. Contrib. Miner. Petrol. 95, 82-99.
- JAMTVEIT B. (1987b): Magmatic and metamorphic controls on chemical variations within the Eiksunddal eclogite complex, Sunnmøre, western Norway. Lithos 20, 369-389.
- JAMTVEIT B. (1986): Magmatic and metamorphic history of the Eiksunddal eclogite complex, Sunnmøre, Western Norway. Thesis, Univ. Oslo. 158 pp.
- KECHID S.A. (1984): Etude petrologique et mineralogique des eclogites de Liset (Stadtlandet - Norvege). Thesis Univ. Paris VI and Museum National d'Histoire Naturelle. 196 pp.
- KIRKEBY T. (1988): En geologisk undersøkelse av gneiser og amfibolitter nord for Jølstravatnet i Sunnfjord, Sogn og Fjordane. Cand. Sci. Oppgave, Univ. Oslo.
- KOLDERUP N.H. (1960): Origin of Norwegian eclogites in gneisses. N.G.T. 40, 73-76.
- KRILL A. (1980): Tectonics of the Oppdal area - central Norway. Geol. Foren. Stockholm Forh. 102, 523-530.
- KRILL A. (1980): Tectonics of N.E. Dovrefjell, Central Norway. PhD thesis, Univ. Yale.
- KROGH E.J. (1980a): Compatible P. T. conditions for eclogites and surrounding gneisses in the Kristiansund area, western Norway. Contrib.Min.Petrol. 75, 387-393.
- KROGH E.J. (1980b): 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.
- KROGH E.J. and BRUNFELT A.O. (1981): REE, Cs, Rb, Sr and Ba in glaucophane-bearing eclogites and associated rocks, Sunnfjord, Western Norway. *Chem. Geol.* 33, 295-305.
- KULLERUD L. (1987): Rb-Sr studie av gneiser i ytre Romsdal, Vest Norge. *Cand. Sci. Oppgave, Univ. Oslo.* 173 pp.
- LAPPIN M.A. (1960): On the occurrence of kyanite in the eclogites of the Selje and Åheim districts, Nordfjord, SW Norway. *N.G.T.* 40, 289-296.
- LAPPIN M.A. (1966): The field relationships of basic and ultrabasic masses in the basal gneiss complex of Stadtlandet and Almklovdalen, S.W. Norway. *N.G.T.* 46, 439-495.
- LAPPIN M.A. (1967): Structural and petrofabric studies of the dunites of Almklovdalen, Nordfjord, Norway. In P.J. Wyllie (Ed.) *Ultramafic and related rocks.* Wiley & Sons, New York. pp 183-190.
- LAPPIN M.A. (1973): An unusual clinopyroxene with complex lamellar intergrowths from an eclogite in the Sunndal-Grubse ultramafic mass, Almklovdalen, Nordfjord, Norway. *Min. Mag.* 39, 313-320.
- LAPPIN M.A. (1974): Eclogites from the Sunndal-Grubse ultramafic mass, Almklovdalen, Norway and the T - P history of the Almklovdalen mass. *J.Petrol* 15, 567-601.
- LAPPIN M.A. and SMITH D.C. (1978): Mantle equilibrated orthopyroxene eclogite pods from the basal gneisses in the Selje district, western Norway. *J.Petrol.* 19, 530-584.
- LAPPIN M.A. and SMITH D.C. (1981): Carbonate, silicate and fluid relationships in eclogite, Selje district and environs, S.W. Norway. *Trans.Roy.Soc.Edinburgh, Earth Sci.* 72, 171-193.
- MATSUI Y., BANNO S. and HERNES I. (1966): Distribution of some elements among minerals of Norwegian eclogites. *N.G.T.* 46, 364-368.
- MEARNS E.W. (1986): Sm-Nd ages for Norwegian garnet peridotite. *Lithos* 19, 269-278.
- MEDARIS L.G. Jr (1980): Convergent metamorphism of eclogite and garnet-bearing ultramafic rocks at Lien, West Norway. *Nature* 283, 470-472.
- MEDARIS L.G. Jr (1980): Petrogenesis of the Lien peridotite and associated eclogites, Almklovdalen, Western Norway. *Lithos* 13, 339-353.
- MEDARIS L.G. Jr (1984): A geothermobarometric investigation of garnet peridotites in the Western Gneiss Region of Norway. *Contrib. Miner. Petrol.* 87, 72-86.
- MERCY E.L.P. and O'HARA M.J. (1965): Chemistry of some garnet-bearing rocks from south Norwegian peridotites. *N.G.T.* 45, 323-332.
- MERCY E.L.P. and O'HARA M.J. (1967): Distribution of Mn, Cr, Ti and Ni in co-existing minerals from ultramafic rocks. *Geo. Cosmo. Acta* 31, 2331-2341.
- MOORE A.C. and QVALE H. (1977): Three varieties of alpine-type ultramafic rocks in the Norwegian Caledonides and Basal Gneiss Complex. *Lithos* 10, 149-161.
- MØRK M.B.E. (1985): A gabbro to eclogite transition on Flemsøy, Sunnmøre, western Norway. *Chem. Geol.* 50, 283-310.
- MØRK M.B.E. (1985): Incomplete high P-T metamorphic transitions within the Kwamsøy pyroxenite complex, West Norway: a case study of disequilibrium. *J. Metam. Geol.* 3, 245-264.
- MØRK M.B.E. (1986): Coronite and eclogite formation in olivine gabbro (Western Norway): reaction path and garnet zoning. *Min. Mag.* 50, 417-426.
- MØRK M.B.E. and BRUNFELT A.O. (1988): Geochemical comparisons of coronitic gabbro and eclogites: metamorphic effects and the origin of eclogite protoliths (Flemsøy, Sunnmøre, Western Norway). *N.G.T.* 68, 51-63.
- MØRK M.B.E. and KROGH E.J., Eds (1987): Excursion guide for the eclogite field symposium in western Norway (Bergen to Molde).
- MØRK M.B.E. and MEARNS E.W. (1986): Sm-Nd systematics of a gabbro-eclogite transition. *Lithos* 19, 255-267.
- MYSEN B.O. (1971): Petrology and geochemistry of eclogite and surrounding rocks around Ulsteinvik on Hareidland, western Norway. *Thesis Univ. Oslo.*
- MYSEN B.O. and HEIER K.S. (1971): A note on the field occurrence of a large eclogite on Hareid, Sunnmøre, Western Norway. *N.G.T.* 51, 93-96.
- MYSEN B.O. and HEIER K.S. (1972): Petrogenesis of eclogites in high grade metamorphic gneisses, exemplified by the Hareidland eclogite, western Norway. *Contrib. Min. Petrol.* 36, 73-94.
- O'HARA M.J. and MERCY E.L.P. (1963): Petrology and petrogenesis of some garnetiferous peridotites. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh* 65, 251-314.
- PINET M. and SMITH D.C. (1985): Petrochemistry of opaque minerals in eclogites from the Western Gneiss Region, Norway: I. Petrology

- of the oxide microassemblages. *Chem. Geol.* 50, 225-249.
- QVALE H. (1978): Geologisk Undersøkelse av et Kaledonsk Serpentinittfelt ved Baldersheim, Hordaland. Unpubl. Cand. Real. Thesis, Univ. Oslo, 252 pp.
- REKSTEN K. (1985): En petrologisk studie av Eide-området, Romsdalshalvøya. Cand. Sci. oppgave, Oslo.
- RÅHEIM A. (1972): Petrology of high grade metamorphic rocks of the Kristiansund area. *N.G.U.* 279, 1-75.
- RÅHEIM A. (1977): A Rb-Sr study of the rocks of the Surnadal syncline. *N.G.T.* 57, 193-204.
- SANTARELLI N. (1989): Evolution structurale et metamorphique du socle precambrien de la chaine caledonienne scandinave dans le Nord-Oppland - Norvege. These de Doctorat d'Etat - Univ. Paris VII.
- SCHMITT H.H. (1960): Geologic field investigations in the Eiksund-Jøsak area, Sunnmøre, Norway. Report to NGU Trondheim (unpubl.) (Not available)
- SCHMITT H.H. (1963): Petrology and structure of the Eiksundsdal eclogite complex, Hareidland, Sunnmøre, Norway. Unpubl. PhD Thesis. Univ. Harvard. 323 pp.
- SKJERLIE F.J. (1969): The pre-devonian rocks in the Askvoll-Gaular area and adjacent districts, Western Norway. *N.G.U.* 258, 325-359.
- SMITH D.C. (1971): A tourmaline-bearing eclogite from Sunnmøre, Norway. *N. G. T.* 51, 141-147.
- SMITH D.C. (1976): The geology of the Vartdal area, Sunnmøre, Norway and petrochemistry of the Sunnmøre eclogite. Unpubl. PhD Thesis. Univ. Aberdeen. (Not available)
- SMITH D.C. (1980): Highly aluminous sphene (titanite) in natural high pressure hydrous-eclogite-facies rocks from Norway and Italy, and in experimental runs at high pressures. (abstract). 26th Int. Geol. Congress, Paris. Section 02.3.1. p 145.
- SMITH D.C. (1984): Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. *Nature* 310, 641-644.
- SMITH D.C. (1988): A review of the peculiar mineralogy of the "Norwegian coesite-eclogite province", with crystal-chemical, petrological, geochemical and geodynamical notes and an extensive bibliography. In: *Eclogite and Eclogite-facies rocks* (D.C. Smith Ed.) pp 1-206.
- STRAND T. (1969): Geology of the Grotli area. *N.G.T.* 49, 341-360.
- TUCKER R.D. (1986): Geology of the Hemnefjord-Orkanger area, south-central Norway, *N.G.U.* 404, 1-20.
- WIKSTRØM A. (1970): Electron microprobe studies of the alteration of omphacite in eclogites from the Nordfjord area, Norway. *N. G. T.* 50, 137-155.
- WIKSTRØM A. (1970): Note on the alteration of kyanite in the eclogites from the Nordfjord area, Norway. *N. G. T.* 50, 184-186.

Bamble-Arendal regionen:

- Alain, P: Evolution polycyclique de l'ensemble epizonal a catazonal profond du Telemark-Bamble; Precambrien du Norvege du Sud. (Translated title: Polycyclic evolution of an epizonal to deep catazonal assemblage of Telemark-Bamble, Precambrian of southern Norway.). Reun. Annu. Sci. Terre 4, 336.
- Barth, T.F.W. og Bugge, J.A.W. 1960: Precambrian gneisses and granites of the Skagerak coastal area, south Norway (Guide to excursion no. A8). 35 pp., illus. (incl. g. maps), Int. Geol. Cong., 21st, Norden, 1960; also issued as Norges Geol. unders. no. 212f, 1960.
- Beeson, R. 1978: The geochemistry of orthoamphiboles and coexisting cordierites and phlogopites from South Norway. Contrib. Mineral. Petrol. Beitr. Mineral. Petrol. 66. (1). 5-14.
- Beeson, R. 1978: The geochemistry of meta-igneous rocks from the amphibolite facies terrain of South Norway. Nor.Geol.Tidsskr. 58. 1-15.
- Birkeland, T. og Bjørlykke, A. 1972: Fluid Inclusion Studies from the Lead- and Zinc-Bearing Veins at Traek, Bamble. Nor. Geol. Unders. 277, 1-5.
- Brickwood, J.D. 1986: The geology and mineralogy of some Fe-Cu-Ni sulphide deposits in the Bamble area, Norway. Norsk Geologisk Tidsskrift. 66. (3). 189-208.
- Brickwood, J.D., Craig J.W. 1987: Primary and re-equilibrated mineral assemblages from the Sveconorwegian mafic intrusions of the Kongsberg and Bamble areas, Norway. Bulletin Norges Geologiske Undersøkelse. 410. 1-23.
- Bugge, J.A.W. 1943: Geological and petrographical investigations in the Kongsberg-Bamble formation. Norges Geol. Unders. 160, 150 s.
- Bugge, A. 1936: The Kongsberg- Bamble formation [southern Norway]. Norges Geol. Unders. 146, 117 s.
- Bugge, A. 1941: En oversikt over arbeidet i det sydnorske grunnfjell. Norsk Geol. Tidssk. 21, 230-238.
- Bugge, J.A.W. 1940: Geological and petrographical investigations in the Arendal district. Norsk Geol. Tidssk. 20, 71-112.
- Bugge, A. 1965: Iakttagelser fra Rektangelbladet Kragero og den store Grunnfjellsbreksje. Nor. Geol. Unders. 229, 115 s.  
The geology, lithology, petrography, and economic geology of the Kragero quadrangle sheet in southern Norway, and the general geology of the Telemark and the Kongsberg-Bamble formations and of the friction breccia, are reviewed. The Precambrian Kongsberg-Bamble formation was not subjected to regional stresses nor to major orogenies. It shows great differences with the Telemark formation, outcropping to the north, and exhibits structural peculiarities that are not evident in the other formations of Norway. Earlier workers predicated an olivine-hyperite core at Langoy-Gumoy and at Valberg along the Kragero-Bamble coast. No such crust now exists although remnants of olivine-hyperite are evident around gabbro areas. It is probable that the original olivine-hyperite was recrystallized to hornblende-hyperite and amphibolite. The quartzites cited in earlier work are bedded strata ranging from granite and mica schist to quartz-rich rocks. No beds of quartzite exist. Granite bands are surrounded by mineralized zones with concentrations of ilmenite, magnetite (in ore deposit magnitudes), and nickeliferous pyrrhotite.
- Burrell, D.C. 1966: Garnets from upper amphibolite lithologies of the Bamble series, Kragerø, south Norway. Norsk Geol. Tidsskr. 46, 3-19.
- Burrell, D.C. 1965: The geochemistry and origin of amphibolites from Bamble, south Norway; I, The determination of zinc in amphibolites by atomic absorption spectroscopy. Norsk Geol. Tidssk. 45, 21-30.
- Burrell., D.C. 1965: Pettersson M.J.: Possible origin of certain Bamble amphibolites. Norsk Geol. Tidssk. 45, s. 138.
- Cameron, E.M. 1989: Scouring of gold from the lower crust. Geology-(Boulder). 17. (1). 26-29.
- Cameron, E.M. 1989: Derivation of gold by oxidative metamorphism of a deep ductile shear zone; Part 2, Evidence from the Bamble Belt, South Norway. Journal of Geochemical Exploration. 31. (2). p. 149-169.
- Christie, O.H.J., Falkum, T., Ramberg, I.B., Thoresen, K. 1970: Petrology of the Grimstad granite; II, Petrography, geochemistry, crystallography of alkali feldspars and genesis. Nor. Geol. Unders. 265, 78 s.
- Comin, C.P., Frangipane, M. 1974: The amphyclasite of Brat (Tromoy, southern Norway). TMPM. Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen. 21. (3-4). 280-290.
- Dahlgren, S., Magaritz, M., Michard, A., Raade, G. 1988: Petrogenesis of the Proterozoic high grade metamorphic Kragero dolomites, Bamble Sector, southern Norway. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists, 1988 joint annual meeting; program with abstracts. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada,

- Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programme et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. A28
- Dehghan, A., Langdon, T.G., Sammis, C.G. 1982: High temperature creep of polycrystalline orthoenstatite. American Geophysical Union; 1982 fall meeting. Eos, Transactions, American Geophysical Union. 63. (45). 1094.
- Demaiffe, D., Wertz, P., Bingen, B., Hertogen, J. 1987: Geochemistry of the Proterozoic hyperites near Lyngdal (south-western Norway). Proterozoic geochemistry (Abstr.), IGCP Project 217, Lund, Sweden, 29-30.
- Dietrich, R.V. 1958: Geological reconnaissance of the area between Kristiansand and Lillesand--Geologiske iakttagelser i Randesund-området. Norges Geol. Unders. 205 (Årb, 1958), 41-78.
- Elliott, R.B. 1966: The association of amphibolite and albitite, Kragerø, south Norway. Geol. Mag. Vol. 103, 1-7.  
In the Kongsberg-Bamble series of south Norway leucocratic albitites are associated with amphibolites. The plagioclase of the albitites is An<sub>2</sub>-An<sub>13</sub>, that of the amphibolites is commonly An<sub>28</sub>-An<sub>40</sub>. The metamorphic facies is upper almandine amphibolite and the inferred P.T. conditions are about 700 degrees C. and 7,000 to 8,000 bars. Recent experimental work indicates that at these temperatures and pressures amphibolites will begin to melt and the first liquid will be of albitic composition. It is suggested that the albitites owe their origin to the partial fusion of their enclosing amphibolites.
- Elliott, R.B. 1972: The chemistry of gabbro/amphibolite transitions in south Norway. Int. Geol. Congr. Abstr., Congr. Geol. Int., Resumes. No. 24, p. 40.
- Falkum, T. og Schönwandt, H.K. 1988: Geotectonic evolution of the Sveconorwegian orogenic core zone in relation to stable cratonic blocks and shear belts. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists 1988 joint annual meeting; program with abstracts. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada, Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programme et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. A39
- Field, D. 1972: The petrology of the amphibolite-granulite facies transition in the Bamble sector of the Precambrian Fennoscandian shield, south Norway. Int. Geol. Congr. Abstr., Congr. Geol. Int., Resumes. No. 24, 40.
- Field, D. og Råheim, A. 1979: Rb-Sr total rock isotope studies on Precambrian charnockitic gneisses from South Norway; evidence for isochron resetting during a low-grade metamorphic deformational event. Earth Planet. Sci. Lett. 45. (1). 32-44.
- Field, D. Råheim, A. 1981: Age relationships in the Proterozoic high-grade gneiss regions of southern Norway. Precambrian-Research. 14. (3-4). 261-275.  
4 p. Refs.
- Field, D. Råheim, A. 1981: The Grenville(?) Orogeny in Southern Norway; a review of the geochronological evidence. Abstracts; ECOG VII; 7th European colloquium of geochronology, cosmochronology and isotope geology. 1 p.
- Hageskov, B. 1980: The Sveconorwegian structures of the Norwegian part of the Kongsberg-Bamble-Vestfold segment. Papers presented at the 1979 annual meeting of the Geological Society of Sweden. Geologiska Föreningen i Stockholm. Föreläsningar. 102. (2). 150-155.
- Field, D. Lamb, R. Råheim, A. 1981: Resetting of Rb-Sr isotope systems in high-grade gneiss terrain; further evidence from Southern Norway. Abstracts; ECOG VII; 7th European colloquium of geochronology, cosmochronology and isotope geology. 1 p.
- Field, D., Smalley, P.C., Lamb, R.C., Råheim, A. 1985: Geochemical evolution of the 1.6-1.5 Ga-old amphibolite-granulite facies terrain, Bamble Sector, Norway; dispelling the myth of Grenvillian high-grade reworking. In: Tobi, A. C., Touret, J. L. R. The deep Proterozoic crust in the North Atlantic provinces. State Univ., Earth Sci. Inst., Utrecht, Netherlands. NATO Advanced Study Institutes Series. Series C; Mathematical and Physical Sciences. 158. 567-578.
- Field, D. og Clough, P.W.L. 1976: K/Rb ratios and metasomatism in metabasites from a Precambrian amphibolite-granulite transition zone. Geol. Soc. Lond., J. 132 (Part 3), 277-288.
- Field, D. and Rodwell, J.R. 1968: The occurrence of prehnite in a high grade metamorphic sequence from south Norway. Norsk Geol. Tidsskr. 48, 55-59.
- Frodesen, S. 1968: Petrographical and chemical investigations of a Precambrian gabbro intrusion, Hiåsen, Bamble area, south Norway. Norsk. Geol. Tidsskr. 48, 281-306.
- Frodesen, S. 1968: Coronas around olivine in a small gabbro intrusion, Bamble area, south Norway. Norsk. Geol. Tidsskr. 48, 201-206.
- Frost, B.R., Frost, C.D., Touret, J.L.R. 1989: Magmas as a source of heat and fluids in granulite facies metamorphism. Bridgwater, David. Fluid movements;

- element transport and the composition of the deep crust. Univ. Copenhagen, Geol. Mus., Copenhagen, Denmark. NATO Advanced Study Institutes Series. Series-C; Mathematical and Physical Sciences. 281. 1-18.
- Glaveris, M. 1970: The occurrence of olivine hyperite at Ødegaardens Verk, Bamble, south Norway. Norsk. Geol. Tidsskr. 50, 15-17.
- Griffin, W.L. og Heier, K.S. 1971: The occurrence of olivine hyperite at Ødegaardens Verk, Bamble, south Norway, by M. Glaveris. Norsk Geol. Tidsskr. 51, 89-91.
- Griffin, W.L., Åmli, R. og Heier, K.S. 1972: Whitlockite and apatite from lunar rock 14310 and from Ødegarden, Norway. Earth Planet. Sci. Lett. Vol. 15, No. 1, 53-58.
- Hagelia, P. 1988: Correlation of geological events in the Skagerrak shear belt (= 'Bamble Linear Belt'), South Norway. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists, 1988 joint annual meeting; program and abstracts. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada, Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programmes et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. A49-A50
- Hoefs, J. og Touret, J. 1975: Fluid inclusion and carbon isotope study from Bamble granulites (South Norway); a preliminary investigation. Contrib. Mineral. Petrol. Beitr. Mineral. Petrol. 52, 165-174.
- Holtedahl, O. 1945: Bemerkninger om forholdet mellom Telemark- og Kongsberg-Bamble-formasjonene. Norsk Geol. Tidssk. 24, 258-260.
- Hospers, J, Rathore, J.S. 1984: Interpretation of aeromagnetic data from the Norwegian sector of the North Sea. Geophysical Prospecting. 32. (5). 929-942.
- Jakubith, M, Hornemann, U. 1981: Majorite formation from enstatite by experimental shock-loading. Physics of the Earth and Planetary Interiors. 27. (2). 95-99.
- Jansen, J.B.H., Blok, R.J.P., Bos, A., Scheelings, M. 1985: Geothermometry and geobarometry in Rogaland and preliminary results from the Bamble area, S Norway. In: Tobi, A. C., Touret, J. L. R. The deep Proterozoic crust in the North Atlantic provinces. State Univ., Earth Sci. Inst., Utrecht, Netherlands. NATO-Advanced-Study-Institutes-Series.-Series-C;-Mathematical-and-Physical-Sciences. 158. 499-516.
- Javoy, M, Pineau, F. 1981: Carbon isotopes in the upper mantle and the lower crust and the outgassing of the mantle. Abstracts; ECOG VII; 7th European colloquium of geochronology, cosmochronology and isotope geology. 1 p.
- Jepseth, S. og Peterson, I.E. 1978: The Bamble nickel deposit. I: Segalstad, T. V.: Kodal apatitt/magnetitt/ilmenitt-forekomst og Bamble nikkelgruver. Oslo Univ., Inst. Geol., Intern Skriftserie. (18), 21-29.
- Johnsen, O. 1987: Silber aus Kongsberg. Translated title: The silver ores from Kongsberg. Emser Hefte. 8. (2). 1-48.
- Johnson, E. 1973: Origins of nodular rocks with particular reference to the Precambrian Bamble Series, South Norway. Geol. J. Queen Mary Coll. 22, 22-29.
- Josang, O. 1966: Geologiske og petrografiske undersøkelser i Modumfeltet. Nor. Geol. Unders. 235, 148 s.  
The part of the Modum area studied is the northernmost part of the Precambrian Kongsberg-Bamble area in southern Norway. The rocks include amphibolites and olivine gabbros, sillimanite-bearing mica schists and sillimanite granites, quartz-phlogopite-hematite schists, granite pegmatites, quartzites, mica schists and gneisses, cordierite rocks containing orthorhombic amphibole, albite rocks, magnesite rocks and serpentinites, and gabbro and diorite dikes. The gabbros always change gradually into amphibolites towards their borders; most of the amphibolites were most probably originally gabbroic rocks. Sillimanite mica schists with plagioclase gradually change into sillimanite granites by K-metasomatism. The scapolite rocks are mostly pneumatolytically changed amphibolites. The albite rocks are hydrothermally changed breccias; in some of the albite rocks the micas and the amphibolites are replaced by talc. An account is given of fault tectonics and stratigraphy of the Modum area.
- Killeen, P.G. 1975: Radioelement distribution and heat production in Precambrian granitic rocks, southern Norway. Nor. Vidensk. Akad., Mat. Naturvidensk. Kl. N. Ser. 35, 32 s.
- Killeen, P.G. og Heier, K.S. 1974: Radioelement Variation in the Levang Granite-Gneiss, Bamble Region, South Norway. Contrib. Mineral. Petrol., Beitr. Mineral. Petrol. 48, no. 3, 171-177.
- Lamb, R.C., Smalley, P.C., Field, D. 1986: P-T conditions for the Arendal granulites, southern Norway; implications for the roles of P, T and CO<sub>2</sub> in deep crustal LILE-depletion. Journal of Metamorphic Geology. 4. (2). 143-160.
- Lambert, P. 1982: Shock experiments in pyroxenes, and some of their alteration products. Abstracts of papers presented at the 45th annual meeting of the Meteoritical Society. Meteoritics. 17. (4). p. 241
- Macaudiere, J., Touret, J. 1970: La fibrolitisation tectonique; un mecanisme possible de formation des gneiss nodulaires du Bamble (Norvege meridionale).



- (Translated title: Tectonic fibrolitization; a possible mechanism for the genesis of the Bamble's nodular gneiss, southern Norway). *Sci. Terre*. Vol. 14, 3, 199-213.
- Morton, R.D. 1961: Contributions to the mineralogy of Norway; no. 9, On the occurrence of two rare phosphates in the Ødegaarden apatite mines, Bamble, south Norway. *Norsk Geol. Tidssk.* 41, 233-246.
- 'A description is given of varieties of woodhouseite and whitlockite found in specimens from the apatite-rich veins cutting the Precambrian rocks at Oedegardens verk, Bamble, S. Norway. The minerals occur, together with quartz, in pockets within a matrix of chlor-hydroxy-oxyapatite. Physical and optical data are given for both minerals, together with x-ray powder diffraction data. A semi-quantitative spectrographic analysis of the whitlockite is included.'
- Morton, R.D. 1965: Preliminary results of new and detailed survey within the Bamle [i.e., Bamble] sector of the Pre-cambrian in S. Norway. *Norsk Geol. Tidssk.* 45, 152-153.
- Morton, R.D. 1965: The origin of so-called 'nodular granites' in the Kongsberg-Bamble [i.e., Bamble] area. ....???,p. 153.
- Morton, R.D. 1971: Geological investigations in the Bamble sector of the Fennoscandian shield, S. Norway; No. II, Metasediments and metapyroclastics (?) within the Precambrian metamorphic suite of the S. Norwegian Skaergaard. *Nor. Geol. Tidsskr.* 51, 63-83.
- Morton, R.D. 1965: Rocks of sedimentary origin within the Precambrian of southern Norway. *Geologi [Helsinki]* 9-10, s. 138.
- Morton, R.D., Batey, R., O'Nions, R.K. 1970: Geological investigations in the Bamble sector of the Fennoscandian shield, south Norway; 1, The geology of eastern Bamble. *Nor. Geol. Unders.* 263, 72 s.
- Neumann, H. 1944: Silver deposits at Kongsberg (the mineral assemblage of a native silver-cobalt-nickel ore type). *Norges Geol. Unders.* 162, 133 s.
- Nijland-Timo, G, Senior Antony 1991: Sveconorwegian granulite facies metamorphism of polyphase migmatites and basic dikes, South Norway. *Journal of Geology*. 99. (4). 515-525.
- Nord, G.L. Jr. 1980: The composition, structure, and stability of Guinier-Preston zones in lunar and terrestrial orthopyroxene. *Phys.-Chem.-Miner.* 6. (2). 109-128.
- O'Nions, R.K. 1971: Baadsgaard, H.: A Radiometric Study of Polymetamorphism in the Bamble Region, Norway. *Contrib. Mineral. Petrol. Beitr. Mineral. Petrol.* Vol. 34, No. 1, 1-21.
- O'Nions, R.K., Morton, R.D., Baadsgaard, H. 1969: Potassium-argon ages from the Bamble sector of the fennoscandian shield in south Norway. *Norsk Geol. Tidsskr.* 49, 171-190.
- O'Nions, R.K., Morton, R., D 1969: Baadsgaard, H.: Potassium-argon ages from the Bamble sector of the Fennoscandian shield in south Norway. *Norsk. Geol. Tidsskr.* 49, 171-190.
- O'Nions, R.K. 1969: Geochronology of the Bamble sector of the Baltic shield (Precambrian), South Norway. University of Alberta, Canada. Doctoral thesis.
- Oftedal, I. 1940: Vanadium in dem Apatitvorkommen von Ødegaarden in Bamble. *Norsk Geol. Tidssk.* 19, 340-341.
- Vanadium in the apatite deposit of Ødegaarden in Bamble, Norway. Hyperite, the parent rock of the apatite, is not rich in vanadium; nevertheless the apatite formation and surrounding rocks show considerable vanadium enrichment. The enrichment seems to be a local phenomenon associated with the intrusion of scapolite-hornblende dike rocks.
- Oftedal, I. 1967: Lead contents in microcline from some granites and pegmatites. *Norsk Geol. Tidsskr.* 47, 191-198.
- Padget, P. 1988: Tectonic and lithostratigraphic relationships in the Bamble Sector, southern Norway. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists, 1988 joint annual meeting; program with abstract. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada, Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programme et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. p. A94
- Persson, P.O. 1988: Nd-isotopic constraints on the evolution of the SW Scandinavian crust. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists, 1988 joint annual meeting; program with abstracts. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada, Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programme et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. p. A98
- Peterson, D.E. and Valley, J.W. 1988: Comparison of ideal and non-ideal orthopyroxene activities in Alm-Fs and Pyr-En geobarometry. Geological Society of America 1988 centennial celebration. Abstracts with Programs Geological Society of America. 20. (7). p. 98

- Peterson, D.E. 1988: Application of geothermometry, geobarometry and oxygen barometry to LIL/REE depleted granulite facies terrane in the Bamble sector, Southeast Norway. University of Wisconsin-Madison, United-States; Master's SO: 308 p.
- Pineau, F., Javoy, M., Behar, F. and Touret, J. 1981: La geochemie isotopique du facies granulite du Bamble (Norvege) et l'origine des fluides carbonés dans la croute profonde. Translated title: Isotope geochemistry of the Bamble granulite facies (Norway) and the origin of carbonated fluids in the deep crust. Bulletin de Mineralogie. 104. (5). 630-641.
- Pineau, F., Javoy, M. and Behar, F. 1981: The isotopic geochemistry of the Bamble granulite facies (Norway) and the origin of the deep crust carbonic fluids. First meeting of the European Union of Geosciences. Terra-Cognita. issue. p. 99
- Pineau, F. and Javoy, M. 1976: Etude isotopique du facies granulite a travers une serie de quartzite de la province de Bamble. (Translated title: Isotopic study of a granulite facies across a quartzite series in Bamble Province.). Reun. Annu. Sci. Terre 4, 334.
- Ploquin, A. 1980: Etude geochemique et petrographique du complexe de gneiss, migmatites et granites du Telemark-Aust Agder (Precambrien de Norvege du Sud); sa place dans l'ensemble epizonal a catazonal profond du Haut Telemark au Bamble. (Translated title: Geochemical and petrographic studies of gneiss, migmatites and granites in Telemark-Aust Agder (Precambrian of southern Norway); its position in the traverse from the epizonal Telemark to the deep catazonal Bamble. Sciences de la Terre, Memoires. 38. 389 p.
- Ploquin, A. 1971: Dualite de la granitisation dans le Telemark, preexistence possible d'une couverture et d'un socle. (Translated title: Duality of the granitization in Telemark; possible preexistence of a cover and a basement.). Soc. Geol. Fr., C. RNo. 3, 138-139.
- Poorter, R.P.E. 1975: Palaeomagnetism of Precambrian rocks from Southeast Norway and South Sweden. Phys. Earth Planet. Inter. 10, 74-87.
- Ramsay, C.R. and Morton, R.D. 1971: Hydrothermal Retrogression of Cordierite in the Bamble Sector, South Norway. Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. No. 9, 398-403.
- Roche, H. (Hubert de la Roche ?), Moine, B., Touret, J.: Survivances geochemiques et metasomatose dans un domaine catazonal, origine des arendalites. (Translated title: Geochemical reversions and metasomatism in the catazonal realm; origin of the arendalites.). Soc. Geol. Fr., C. RNo. 3, 141-142.
- Rosenqvist, I.T. 1951: Investigations in the crystal chemistry of silicates; III, The relation haematite-microcline. Norsk Geol. Tidssk. 29, 65-76.
- Schrader, H., Frey, F., Boysen, H. 1984: X-ray and neutron-powder study on enstatite. Bonse, U. International Union of Crystallography; thirteenth international congress; communicated abstracts. Acta Crystallographica, Section-A: Foundations of Crystallography. 40 (Supplement). p. C248
- Schrader, H. Frey, F. and Boysen, H. 1985: Röntgen- und Neutronenstreueruntersuchungen zu den Phasenumwandlungen in Enstatit. Translated title: X-ray and neutron investigations of enstatite phase transitions. Buerger, M., Haussuehl, S., von Schnering, H. G., Hoenle, W. 24. Diskussionstagung der Arbeitsgemeinschaft Kristallographie der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und der Gesellschaft Deutscher Chemiker. The twenty-fourth discussion meeting of the Crystallography Study Group of the German Mineralogical Society, the German Physical Society and the Society of German Chemists. Zeitschrift für Kristallographie. 170. (1-4). p. 170.
- Selmer-Olsen, R. 1950: Om forkastningslinjer og oppbrytningssoner i Bambleformasjonen. Norsk Geol. Tidssk. 28, 171-191.
- Smith, D.G.W. 1969: A reinvestigation of the pseudobrookite from Havredal (Bamble), Norway. Norsk. Geol. Tidsskr. 49, 284-288.
- Starmer, I.C. 1985: The evolution of the South Norwegian Proterozoic as revealed by the major and mega-tectonics of the Kongsberg and Bamble sectors. OS: Univ. Coll. Lond., Dep. Geol., London, United Kingdom; State Univ., Earth Sci. Inst., Utrecht, Netherlands; Free Univ., Earth Sci. Inst., Netherlands SO: Tobi, A. C., Touret, J. L. R. The deep Proterozoic crust in the North Atlantic provinces. State Univ., Earth Sci. Inst., Utrecht, Netherlands. NATO Advanced Study Institutes Series. Series C; Mathematical and Physical Sciences. 158. 259-290.
- Starmer, I.C. 1991: The Proterozoic evolution of the Bamble Sector shear belt, Southern Norway; correlations across southern Scandinavia and the Grenvillian controversy. Precambrian-Research. 49. (1-2). 107-139.
- Starmer, I.C. 1988: The Proterozoic evolution of South Norway and the rotation of Fennoscandia. Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada, Canadian Society of Petroleum Geologists, 1988 joint annual meeting; program with abstracts. Association Geologique du Canada, Association Mineralogique du Canada, Societe Canadienne des Geologues Petroliers, 1988 reunion annuelle conjointe; programme et resumes. Program with Abstracts Geological Association of Canada; Mineralogical Association of Canada; Canadian

- Geophysical Union, Joint Annual Meeting. 13. p. A116
- Starmer, I.C. 1976: The early major structure and petrology of rocks in the Bamble Series, Søndeled-Sandnesfjord, Aust-Agder. *Nor. Geol. Unders.* 327, 77-97.
- Starmer, I.J. 1978: The major tectonics of the Bamble Series between Søndeledfjord and Kilsfjord (Aust-Agder and Telemark). *Nor. Geol. Unders. Bull.* 338. 37-58.
- Starmer, I.C. 1972: The Sveconorwegian Regeneration and Earlier Orogenic Events in the Bamble Series, South Norway. *Nor. Geol. Unders.* 277, 37-52.
- Taylor, S.R. og Heier, K.S. 1958: Alkali elements in potash feldspar from the pre-Cambrian of southern Norway. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 13, 293-302.  
Alkali feldspar was separated from 50 samples of gneiss, augen gneiss, gneissic granite, granite, aplite, and pegmatites from the Telemark formation, the Bamble formation, and the Ostfold area of southern Norway, and the Li, Rb, Cs, Na, and K content determined. A general trend of Rb enrichment was found in the K-feldspar from the series augen gneiss-diapiric granite-large pegmatites, and in all feldspars examined from the area east of Oslo fiord. Normal K/Rb ratios were found for the pegmatites and gneisses from Krageroe and Arendal.
- Theulings, W., T., Van-Ditshuizen, G.P., Huijsmans, J.P.P. 1986: Petrology, mineralogy and geochemistry of a coronitic gabbro from Vestre Dale, Bamble, South Norway. AGU 1986 fall meeting and ASLO winter meeting. *Eos, Transactions, American Geophysical Union.* 67. (44). 1252.
- Touret, J. 1979: Les roches a tourmaline - cordierite - disthene de Bjordammen (Norvege meridionale); sont-elles liees a d'anciennes evaporites? Translated title: Are the tourmaline - cordierite - kyanite rocks from Bjordammen (southern Norway) related to ancient evaporites?  
Busson, G. Mineralogie et geochimie des series evaporitiques; Evolution de ces series au cours du metamorphisme. Mineralogy and geochemistry of evaporitic series, and their evolution during metamorphism. *Sci.-Terre.* 23. (2). p. 95-97.
- Touret, J. 1966: Sur l'origine supracrustale des gneiss rubanes de Selaas (formation de Bamble, Norvege meridionale). *Acad. Sci., C. R., Ser. D.* Vol. 262, No. 1, 9-12.  
A supracrustal origin is attributed to the Selaas banded gneisses of the Bamble formation of southern Norway. They were formed by recrystallization of an ancient rhythmic series of sedimentary or volcanosedimentary rocks.
- Touret, J. 1981: Fluid inclusions in high grade metamorphic rocks. Hollister, L. S., Crawford, M. L. Fluid inclusions, applications to petrology. *Short-Course-Handbook.* 6. 182-208.
- Touret, J. 1967: Les gneiss oeilles de la region de Vegaaarshei-Gjerstad (Norvege meridionale); I, Etude petrographique. (Translated title: Augen gneisses of the Vegårshei-Gjerstad region, southern Norway; I, Petrographic studies). *Norsk Geol. Tidsskr.* 47, 131-147.  
Two elongate bodies of augen gneisses from south of Vegårshei to north of Gjerstad occur in the Precambrian basement of southern Norway on either side of the 'Great Breccia' which represents the boundary between the Bamble and Telemark provinces. Petrographical studies have established a striking similarity between these two bodies of augen gneisses: most augen gneisses hold large (up to 10 cm) porphyroblasts of potash feldspars, some may contain porphyroblasts of plagioclase or even amphibole. Moreover, at the southern end of the Vegaaarshei body, the augen gneisses grade into a dark orthopyroxene- and orthoclase-bearing augen gneiss having clear charnockitic affinities. From field and thin section observations, it is inferred that the charnockitic augen gneisses are equivalent to normal augen gneisses having suffered a local metamorphism in the hornblende granulite subfacies.
- Touret, J. 1971: Controle du facies granulite dans le Bamble par le CO<sub>2</sub> de la phase fluide. (Translated title: Control of the Bamble granulite facies by CO<sub>2</sub> fluid phase.). *Soc. Geol. Fr., C. R.,* No. 3, 143-145.
- Touret, J. 1965: Sur une coupe synthetique a travers les formations precambriennes de la province de Bamble entre Tvedestrand et le lac Vegar (Norvege meridionale). *Acad. Sci., Paris, C. Rt.* 260, no. 25, p. 6652-6655.  
Four distinct zones are recognized in the Precambrian formations of the Bamble province, in the region between Tvedestrand and Vegar lake, southern Norway. It is evident that the structural order and metamorphic gradient are in opposition, posing the problem of the true structure of the whole Bamble series.
- Touret, J. og Olsen, S.N. 1985: Fluid inclusions in migmatites. Ashworth, J. R. *Migmatites.* Univ. Aston, Dep. Geol. Sci., Birmingham, United-Kingdom. 265-288.
- Touret, J. 1977: Utilisation thermobarometrique du CO<sub>2</sub> en petrographie (reaction cordierite-grenat).  
Translated title: *Soc. Geol. Fr., Bull.* 19, 280-283.
- Van der Wel, D. 1973: Contribution to the mineralogy of Norway, No. 53; Kornerupine: a mineral new to Norway. *Nor. Geol. Tidsskr.* 53, 349-357.
- Verdonk, E.M., Dam, B.P. og Huijsmans, J.P.P. 1986: Coronitic gabbros ('hyperites') intruding the lower Proterozoic crust of Bamble, South Norway. AGU 1986 fall meeting and ASLO winter meeting. *Eos, Transactions, American*

- Geophysical Union. 67. (44). s. 1252.
- Visser, D. and Senior, A. 1990: Aluminous reaction textures in orthoamphibole-bearing rocks; the pressure-temperature evolution of the high-grade Proterozoic of the Bamble sector, South Norway. *Journ. Metam. Geology*. 8. (2). 231-246.
- Wegmann, C.E., Schaer, J.P. 1962: Chronologie et deformations des filons basiques dans les formations pre-cambriennes du sud de la Norvege. *Norsk Geol. Tidssk.* 42, 371-387.
- The relative chronology of Precambrian deformations in the Bamble area, southern Norway, was investigated by means of detailed observations of three generations of mafic dikes cutting granite-gneisses on the Blabaersholmen island. Several generations of mafic dikes have been recognized in various parts of the Bamble area.
- Wickman, F.E., Lundstrøm, I. 1969: Width of albite twin lamellae; part 1, An oligoclase from a pegmatite, Bamble, Norway. *Lithos.* 2, 197-213.
- Zimmermann, J. 1981: La liberation de l'eau, du gaz carbonique et des hydrocarbures des cordierites; Cinetique des mecanismes; Determination des sites; Interet petrogenetique.
- Translated title: Liberation of water, carbon dioxide and hydrocarbons of cordierites; kinetics of mechanisms; determination of sites; petrogenetic interest. 12e Assemblee generale de l'I.M.A.; II, Inclusions magmatiques, silicates, gemmes; Open session. 12th general assembly of the International Mineralogical Association; II, Magmatic inclusions, silicates, gems; open session. *Bulletin de Mineralogie.* 104. (4). 325-338.
- Zimmermann, J.L. 1973: Etude par spectrometrie de masse de la composition des fluides dans quelques cordierites du sud de la Norvege. (Translated title: A study (by mass spectroscopy) of the composition of fluids found in some cordierite of southern Norway). *Reun. Annu. Sci. Terre*, s. 418.
- Zimmermann, J.L. 1972: Application petrogenetique de l'etude de la liberation de l'eau et du gaz carbonique des cordierites. (Translated title: Petrogenetic application of the studies on water and carbon dioxide liberation from cordierites.). *Acad. Sci., C. R., Ser. D.* Vol. 275, No. 4, 519-522.
- Åmli, R. 1975: Mineralogy and rare earth geochemistry of apatite and xenotime from the Gloserheia granite pegmatite, Froland, southern Norway. *Am. Mineral.* 60, 607-620.

## Bilag 6:

# RUTILE MARKET

Av Peter Dormann, Institutt for geologi og bergteknikk, NTH

Rutile is used to manufacture white pigment (titanium dioxide) for the production of titanium sponge and in welding rods and fluxes. The pigment industry accounts for about 60 % of today's worldwide rutile demand, while the titanium sponge and the welding rods/fluxes industries demand about 20 % each.

Concerning the pigment industry, rutile can only be used in plants based upon the chloride-route technology. Therefore, future demand for rutile depends not only upon growth of pigment demand but also upon the installed capacity of chloride-route plants. Rutile competes moreover with other chlorinatable feedstock, i.e. synthetic rutile and chlorinatable slag.

Regarding titanium sponge as well as welding rods/fluxes, future demand for rutile will depend mainly upon the growth rates in these industries.

## DEMAND OF THE PIGMENT INDUSTRY

Titanium dioxide is the most widely used white pigment. It has a high refractive index and good brilliance, is chemically inert, resistant to ultra-violet light and is not poisonous. Titanium dioxide thus performs better than any other whitening pigment, e.g. lead carbonate, lithopone, zinc oxide. Titanium dioxide pigment is used in paint, plastics, paper, printing inks, and ceramics.

Worldwide demand for TiO<sub>2</sub> pigment grew at a rate of 7 % p.a. in the 1960s, slowed down to an average annual growth of 2.4 % between 1971 and 1980, and was around 3.4 % p.a. during the last decade. Estimated growth rates for the 1990s range between annually 2 % and 4 %. A growth rate of 3 % p.a. seems to be realistic, when markets of strong growth, the Far East and Eastern Europe, are taken into account.

## Production Processes

There are two processes for the production of titanium dioxide. In the sulfuric acid process the feed (ilmenite, leucoxene, or slag) is treated with sulfuric acid to create titanium and ferrous sulfates. The ferrous sulfate is reduced and precipitated by adding iron, afterwards the titanium sulfate is converted to metatitanic acid, which is precipitated and ignited to yield titanium dioxide.

The titanium dioxide content of the feed varies in a wide range around 65 %. Feedstock containing only 45 % TiO<sub>2</sub> is employed in some sulfate-route plants.

In the chloride process the TiO<sub>2</sub> feedstock is chlorinated to obtain titanium tetrachloride (TiCl<sub>4</sub>) and other metal chlorides. The latter are separated from the TiCl<sub>4</sub>, and the TiCl<sub>4</sub> is oxidized to yield TiO<sub>2</sub>.

In the conventional chloride process, feedstock with high TiO<sub>2</sub> content (85 % to 95 %) is used: rutile, synthetic rutile, and chlorinatable slag. The chloride-ilmenite process, which is used by E.I. Du Pont de Nemours & Co, allows for processing of as low as 60 % to 64 % TiO<sub>2</sub> feedstock, the average being above 70 % TiO<sub>2</sub>, usually a blend of ilmenite, leucoxene, and slag.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Worldwide Chloride-Ilmenite-Route Plant Capacities</b>											
Du Pont	626*)	626	727	792	792	857	917	917	917	917	917
<b>Worldwide Chloride-Route Plant Capacities (high TiO<sub>2</sub> feedstock)</b>											
Du Pont	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Tioxide	65	80	140	140	200	200	200	200	200	200	200
SCM	315	315	368	368	368	368	368	368	368	368	368
Kronos	161	181	243	243	243	243	243	243	243	243	243
Kemira	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Ishihara	86	86	122	122	122	122	122	122	122	122	122
Kerr-McGee	96	96	96	96	150	150	150	150	150	150	150
Tiwest	0	0	54	54	54	54	54	54	54	54	54
National TiO <sub>2</sub>	0	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Tiofine	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Kerala	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Hitox	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
CIS	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
Chloride capacity (high TiO <sub>2</sub> )	933	968	1285	1285	1399	1499	1499	1499	1499	1499	1499
Chloride-route capacity	1559	1594	2012	2077	2191	2356	2416	2416	2416	2416	2416
<b>Worldwide Sulfate-Route Plant Capacities</b>											
Tioxide	470	455	448	468	468	468	468	468	468	468	468
SCM	126	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Kronos	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
Bayer	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
Kemira	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Thann et Mulhouse	125	125	140	140	140	140	140	140	140	140	140
Ishihara	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Sachtleben	60	60	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Tibras	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
CIS	120	120	120	195	195	195	195	195	195	195	195
Eastern Europe (without CIS)	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
Japan	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
China	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
South Korea	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
India	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Sulfate-route capacity	1801	1758	1791	1886	1886	1886	1886	1886	1886	1886	1886
World pigment capacity	3360	3352	3803	3963	4077	4242	4302	4302	4302	4302	4302
Chloride-route capacity in % of world pigment capacity	46	48	53	52	54	56	56	56	56	56	56

\*) in 000s metric tonnes titanium dioxide content

Table 1: Worldwide pigment plant capacities and expansions

### Pigment Plant Capacities and Expansions

Table 1 shows worldwide pigment plant capacities by producers divided into chloride-ilmenite route plants, conventional chloride-route plants and sulfate-route plants. Concerning sulfate-route plants, only major producers are listed and the capacities of smaller producers are given by country.

The pigment producers are expanding rapidly their production capacities. In 1991 worldwide pigment production capacity was 3.4 million tonnes; new plants and plant expansions will raise this value to 3.8 million tonnes in this year and to more than 4 million tonnes in 1994.

This increase is due to a sharp enhancement of chloride-route capacity. While this stood at about 20 % of the total pigment capacity in the beginning of the 1970s, it will make up 54 % in 1994.

The small increase in sulfate-route capacity mainly derives from debottlenecking of existing plants. Tioxide Group PLC is the only company that is currently building a grassroots sulfate plant (50,000 tpa plant in Malaysia), while the company closes its 52,000 tpa capacity sulfate plant in Canada due to prohibitive environmental upgrade costs and reduces capacity of its Tasmanian plant. Also SCM Chemicals Ltd closed a sulfate-route plant (28,000 tpa plant in Australia).

Du Pont increases its chloride-ilmenite-route capacity to almost 800,000 tpa in 1994. This is achieved by expanding plants in the United States and in Mexico and by constructing a new plant in Taiwan. In 1995 and 1996 the company plans to commission a plant in South Korea and one in Brazil.

With the exception of a 37,000 tpa conventional chloride-route plant in California, Du Pont utilizes its chloride-ilmenite process. Exact data on Du Pont's feedstock cannot be obtained. The author estimates that the company uses about 50 % ilmenite and leucoxene and 50 % chlorinatable slag in its chloride-ilmenite-route plants. The planned Brazilian plant shall utilize Brazilian anatase.

### Chloride-Route Plants

Only conventional chloride-route plants employ rutile as raw material.

Expansion of chloride-route plant capacity is significant: from 933,000 tpa in 1990 to 1.4 million tpa in 1994, a 50 % increase (Table 1).

The Tioxide Group PLC is increasing the capacity of its chloride-route plant in the United Kingdom and is building grassroots plants in Australia and Canada; the latter replaces the previously mentioned sulfate-route plant.

SCM Chemicals Ltd is doubling the capacity of one of its U.S. plants, which offsets the closing of the above mentioned Australian plant.

A 82,000 tpa chloride-route plant is being brought on stream by Kronos Inc in the United States. Ishihara Sangyo Kaisha Ltd is doubling the capacity of its chloride-route plant in Singapore. Kerr-McGee Chemical Corp plans a grassroots plant in the United States.

Tiwest Joint Venture is building a chloride-route plant in Western Australia and the National Titanium Dioxide Corp has just commissioned a plant in Saudi Arabia.

After 1994 new chloride-route plants could be build in the Commonwealth of Independent States CIS. The company Agrochim is negotiating with Western companies for constructing of a 100,000 to 120,000 tpa chloride-route plant.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Worldwide pigment consumption (assuming 3 % annual growth)	3000 <sup>*)</sup>	3090	3183	3278	3377	3478	3582	3690	3800	3914	4032
Worldwide installed pigment capacity	3360	3352	3803	3963	4077	4242	4302	4302	4302	4302	4302
Operating rate (in %)	89	92	84	83	83	82	83	86	88	91	94
Worldwide chloride-route plant capacity (high TiO <sub>2</sub> feedstock)	933	968	1285	1285	1399	1499	1499	1499	1499	1499	1499
Effective chloride-route plant capacity	833	892	1075	1063	1159	1229	1248	1286	1324	1364	1405
Feedstock demand:											
Rutile demand (30%)	250	268	323	319	348	369	374	386	397	409	421
Synthetic rutile demand (45%)	375	402	484	478	521	553	562	579	596	614	632
Chlorinatable slag demand (25%)	208	223	269	266	290	307	312	321	331	341	351
Feedstock demand including process efficiency:											
Rutile (0.90)	278	297	358	354	386	410	416	429	441	455	468
Synthetic rutile (0.85)	441	472	569	563	613	651	661	681	701	722	744
Chlorinatable slag (0.90)	231	248	299	295	322	341	347	357	368	379	390

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes titanium dioxide content

Table 2: Worldwide pigment consumption and feedstock demand of chloride-route plants (high TiO<sub>2</sub> feedstock)

### **Feedstock Demand of Chloride-Route Plants**

Table 2 gives an estimation of feedstock required for chloride-route plants employing a high titanium dioxide feedstock. Worldwide pigment consumption is forecast from 1990 to 2000 assuming 3 % annual growth. An operating rate is calculated using data for worldwide installed pigment capacity.

Worldwide chloride-route plant capacity (high TiO<sub>2</sub> feedstock) is also given. Using these data and the operating rates, the effective chloride-route plant capacity can be obtained.

The effective chloride-route plant capacity could be somewhat higher than given in Table 2. This is due to the fact that the operating rate of chloride-route plants is higher than that of sulfate-route plants (and with that of the total industry). Sulfate-route plants can more easily be shut down temporarily than chloride-route plants. Pigment consumers have moreover shown a preference for titanium dioxide pigment from chloride-route plants.

Chloride-route plants employ rutile, synthetic rutile and chlorinatable slag. What is the average blend of the industry?

Pigment producers regard information on their feedstock mix as proprietary. Using 1989 and 1990 production and consumption data, the author estimates that chloride-route plants use in average 30 % rutile, 45 % synthetic rutile, and 25 % chlorinatable slag to obtain their effective capacity/ production.

The data are divided by the respective process efficiencies to get the feedstock demand. Process efficiency is estimated to be 90 % for rutile and slag. Due to its lower density blowovers occur more often with a synthetic rutile feed; a 85 % process efficiency is assumed.

The data in Table 2 show that the pigment industry's rutile demand will increase from 278,000 tonnes in 1990 to 386,000 tonnes in 1994 and 468,000 tonnes in 2000.

## **DEMAND OF THE NON-PIGMENT INDUSTRY**

Rutile is also consumed in the titanium sponge and welding rods/fluxes industries.

### **Titanium Sponge Production**

Titanium metal has two outstanding properties: a high strength to weight ratio and excellent corrosion resistance. It is mainly used for airframes and aeroengines. Further applications are the chemical process industry (f.ex. in water desalination plants) titanium tubing in the oil industry, or replacement surgery.

Titanium sponge is an intermediate product used for manufacturing of titanium metal and alloys. It contains 99 % titanium. The first production step is the chlorination of rutile to titanium tetrachloride (TiCl<sub>4</sub> or "tickle") and other metal chlorides. The latter are separated from the tickle by partial distillation. TiCl<sub>4</sub> is reduced to titanium using either magnesium (Kroll process) or sodium (Hunter process).

The feedstock of the sponge industry is rutile, usually 95 % TiO<sub>2</sub>, due to ease of chlorination and its small content of impurities.

Titanium sponge is produced in the United States, Japan, United Kingdom, Commonwealth of Independent States and China. Sponge producers in the U.S. and Japan currently increase their capacities to meet the expected demand of the 1990s. There is a strong demand of the civil aircraft industry.

Table 3 shows current and forecast titanium sponge production capacities in the western world. China's production capacity is estimated to be 2,700 tpa sponge with an actual production around only 2,000 tpa. Estimates of the CIS's production capacity range between 50,000 tpa and 60,000 tpa; sponge production is estimated at around 47,000 tpa.



The CIS has not been included in the table, as its producers are presumed to use ilmenite, leucoxene and slag for the manufacture of titanium sponge.

The 1990 sponge production in the western world was 55,200 tonnes. Table 3 forecasts sponge production throughout the 1990s. Again a 3 % growth rate is assumed.

Table 4 gives the respective rutile demand. 1.668 units of TiO<sub>2</sub> are necessary for 1 unit of titanium. Process efficiency is estimated to be 90 % (f.ex.  $55.2 * 1.668 / 0.90 = 102$ ).

### Welding Rods and Fluxes Industry

Titanium dioxide is utilized in the manufacture of flux material in welding rods and flux cored wires. Titanium dioxide lowers the viscosity of the welding slag, and thus reduces surface tension of the metal and provides a smooth weld.

Rutile, ilmenite and leucoxene are employed as titanium dioxide sources. The industry consumed 112,000 tonnes rutile in 1990 (106,000 tonnes of contained TiO<sub>2</sub>). The CIS and China are not included in this figure. As the market is mature, only a 1 % growth rate is used to forecast future demand (Table 4).

### Rutile Demand of the Non-Pigment Industry

Table 4 gives a prognosis for the non-pigment industry's rutile demand. Annual growth rates are 3 % for sponge production and 1 % for welding rods and fluxes.

It is assumed that sponge producers continue to exclusively use rutile feedstock. A rutile shortage, however, could force sponge producers to utilize synthetic rutile or chlorinatable slag and thus reduce rutile demand.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Titanium sponge production capacity</b>											
USA	30.0 <sup>*)</sup>	32.6	32.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6
Japan	26.1	26.1	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
UK	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
<b>Sponge production capacity</b>	<b>61.1</b>	<b>63.7</b>	<b>66.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>	<b>76.1</b>
<b>Forecast sponge production (assuming 3 % annual growth)</b>	<b>55.2</b>	<b>56.9</b>	<b>58.6</b>	<b>60.3</b>	<b>62.1</b>	<b>64.0</b>	<b>65.9</b>	<b>67.9</b>	<b>69.9</b>	<b>72.0</b>	<b>74.2</b>
<b>Operating rate</b>	<b>90.3</b>	<b>89.3</b>	<b>88.6</b>	<b>79.3</b>	<b>81.6</b>	<b>84.1</b>	<b>86.6</b>	<b>89.2</b>	<b>91.9</b>	<b>94.6</b>	<b>97.5</b>

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes titanium sponge

Table 3: Titanium sponge production capacity and forecast demand (Commonwealth of Independent States CIS and China not included)

The welding rods/fluxes producers have shown little inclination to change supply sources once they have found a formula and introduced the product. Consistency of product is an important requirement for welding products. Welding rods and fluxes producers that use rutile will not change to ilmenite or leucoxene; synthetic rutile is too high in phosphor. In addition, the welding rods/fluxes industry has shown willingness to pay premium prices for rutile.

Table 4 forecasts that the rutile demand of the non-pigment industry will increase from 208,000 tpa in 1990 to 267,000 tpa in 2000.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Forecast sponge production (assuming 3 % annual growth)	55.2 <sup>*)</sup>	56.9	58.6	60.3	62.1	64.0	65.9	67.9	69.9	72.0	74.2
Rutile demand for sponge production	102 <sup>**)</sup>	105	109	112	115	119	122	126	130	133	137
Forecast rutile demand for welding rods and fluxes (assuming 1 % annual growth)	106	108	110	112	115	117	119	122	124	127	129
Forecast rutile demand of non-pigment industry	208	213	219	224	230	236	242	248	254	260	267

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes titanium sponge

<sup>\*\*) in 000s metric tonnes titanium dioxide content</sup>

Table 4: Forecast rutile demand of non-pigment industry

## SUPPLY OF CHLORINATABLE FEEDSTOCK

Chlorinatable feedstock today comprises rutile, synthetic rutile and chlorinatable slag. Brazilian anatase and high-titanium agglomerates, produced by Wimmera Industrial Minerals Pty Ltd (WIM), are possible new chlorinatable feedstock.

### Rutile Production

Rutile is exploited exclusively from secondary beach sand deposits. It is usually part of a heavy mineral ore, which can also contain ilmenite, leucoxene, zirconium and monazite. Today's beach sand deposits contain between 1 % and 6 % heavy minerals.

Worldwide rutile production by producers is shown in Table 5. The table gives 1990 (and estimated 1991) production figures, while the figures for the following years are prognoses. Rutile is mined in Australia, Africa, North America and the Indian subcontinent. Australia has historically been the major supplier of rutile, but it will be surpassed by Africa in the course of the 1990s.

Sierra Rutile Ltd, wholly owned by Nord Resources Corp, is the world's largest rutile producer. The company mines at the coast of Sierra Leone. The present reserves will last at least two decades at a production level of 150,000 tpa rutile.

Number 2 is Richards Bay Minerals, which is 50 % owned by QIT - Fer et Titane Inc. The mine, which is situated near Natal, South Africa, has recently expanded its capacity to 110,000 tpa rutile. A 30 years mine life is stated. The company is also evaluating a deposit near the present site.

Associated Minerals Consolidated (AMC), which is owned by Renison Goldfields Consolidated Ltd, operates three rutile producing mines in Western Australia: Eneabba South, Eneabba West, and Narngulu. Eneabba South will be closed down in the near future. It is assumed that the remaining two mines can maintain the current rutile production of 80,000 tpa. AMC has a U.S. subsidiary that operates an open pit in Florida. This operation extracts 25,000 tpa rutile.

Consolidated Rutile Ltd, which is 50.1 % owned by Cudgen RZ Ltd, operates to mines (Gordon, Bayside) in Queensland, Australia. The operations, situated on North Stradbroke Island east of Brisbane, suffer environmental pressure and the company has difficulties to bring new mines on stream. It is estimated that the current production of 80,000 tpa rutile will decrease to 70,000 tpa in the next years.

Mineral Deposits Ltd, which is owned by Broken Hill Pty Co Ltd (BHP), operates three mines in Australia: Agnes Waters in Queensland, Hawks Nest in New South Wales, and Beenup in Western Australia. 1990 production was 30,000 tpa rutile. The company can probably expand production to 40,000 tpa.

Tiwest Joint Venture, which is owned 50 % by KMCC Western Australia Pty Ltd (a subsidiary of Kerr-McGee) and 50 % by Minproc Holdings Ltd, has currently opened a mine at Cooljarloo in Western Australia. The company will reach full production capacity of 32,000 tpa rutile this year. Proven and probable reserves will last for at least 20 years.

RZ Mines has been bought by Nissho Iwai. The company operates several mines in New South Wales, Australia. The grades are declining, and there are no promising new projects. It is assumed that the rutile production will sink to 25,000 tpa.

Two smaller Australian rutile producers are Newrybar and Currumbin Minerals. Newrybar operates an open pit in New South Wales, and Currumbin minerals has a mine in Queensland; the annual production is 10,000 tonnes and 5,000 tonnes, respectively.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
AMC Australia	82 <sup>*)</sup>	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Consolidated Rutile	80	80	80	80	70	70	70	70	70	70	70
Mineral Deposits	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Tiwest Joint Venture	13	20	32	32	32	32	32	32	32	32	32
RZ Mines	34	30	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Newrybar	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Currumbin	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Australia</b>	<b>254</b>	<b>255</b>	<b>272</b>	<b>272</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>
Sierra Rutile	144	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Richards Bay Minerals	80	90	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Madagascar Minerals	0	0	0	10	24	32	32	32	32	32	32
Anglo American Corp	0	0	0	0	0	0	10	10	20	20	20
<b>Africa</b>	<b>224</b>	<b>240</b>	<b>260</b>	<b>270</b>	<b>284</b>	<b>292</b>	<b>302</b>	<b>302</b>	<b>312</b>	<b>312</b>	<b>312</b>
AMC USA	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
<b>USA</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
Ceylon Mineral Sands	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Indian Rare Earths	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>India/Sri Lanka</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>Rutile production</b>	<b>516</b>	<b>533</b>	<b>570</b>	<b>580</b>	<b>584</b>	<b>592</b>	<b>602</b>	<b>602</b>	<b>612</b>	<b>612</b>	<b>612</b>
<b>Rutile in contained TiO<sub>2</sub></b>	<b>490<sup>*)</sup></b>	<b>506</b>	<b>542</b>	<b>551</b>	<b>555</b>	<b>562</b>	<b>572</b>	<b>572</b>	<b>581</b>	<b>581</b>	<b>581</b>

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes

<sup>\*\*)</sup> in 000s metric tonnes, assuming 95 % TiO<sub>2</sub> content

Table 5: Projected rutile production

Table 5 includes two African mines that could come on stream in the next years. Madagascar Minerals, of which 49 % is owned by QIT and 51 % by the Madagascar State Mining Company (OMNIS), will open a mine with a projected 32,000 tpa rutile production capacity near Fort-Dauphin, Madagascar. In addition, several companies explore beach sand deposits in Africa: Anglo American Mineral Sands and a joint venture between Rhombus Exploration Ltd and Shell SA are active in South Africa; Consolidated Rutile explores in Cameroun. It is assumed that one of them (e.g. Anglo American Corp) will bring a 20,000 tpa mine on stream in this decade.

Two minor rutile producers on the Indian subcontinent are taken up in Table 5: Ceylon Mineral Sands and Indian Rare Earths (IRE) with a projected production of 5,000 tpa and 8,000 tpa rutile respectively.

Table 5 shows that worldwide rutile production will rise from 516,000 tonnes in 1990 to about 600,000 tpa toward the end of the decade.

### **Synthetic Rutile Production**

Synthetic rutile is upgraded ilmenite or leucoxene. The feed usually contains 60 % TiO<sub>2</sub>; the product, synthetic rutile, has 92 % to 93 % TiO<sub>2</sub>. Especially Australian mining companies are increasing their synthetic rutile production capacities as the demand for high TiO<sub>2</sub> raw materials increases, also since the rutile content of West Australian deposits is smaller than that of the diminishing East Australian mines.

Production capacities (which are assumed to equal production) are given in Table 6. Australian producers are Associated Minerals Consolidated (AMC), Tiwest Joint Venture, and Westralian Sands. AMC raises its capacity from 160,000 tpa in 1990 to 290,000 tpa this year. Tiwest Joint Venture opened a 130,000 tpa plant last year. Westralian Sands produces 100,000 tpa synthetic rutile doubling its present capacity.

Asian producers are Ishihara Sangyo Kaisha Ltd, which operates a 48,000 tpa synthetic rutile plant in Japan, and the Hitox Corp, which began to produce synthetic rutile in Malaysia for its U.S.-based pigment plant.

The table also lists Indian producers: Indian Rare Earths Ltd (IRE), Kerala Minerals and Metals Ltd (KMML), and Dhrangadhra Chemical Works Ltd (DCW). They total an estimated production of 40,000 tpa synthetic rutile.

Table 6 shows that synthetic rutile supply increased sharply from 450,000 tpa in 1990 to about 830,000 tpa in 1994.

### **Chlorinatable Slag Production**

The only producer of chlorinatable slag is QIT - Fer et Titane Inc. In Richards Bay, South Africa, the company produces 700,000 tpa of low alkali titaniferous slag with 85 % TiO<sub>2</sub> that can be used in chloride and sulfate route pigment production.

QIT plans to produce 400,000 to 500,000 tpa of chlorinatable slag at its plant in Sorel, Quebec, Canada. In Table 6, an increase of 200,000 tpa has been assumed to be realistic.

### **Production of Anatase and WIM High-Titanium Agglomerates**

The Brazilian company Companhia Vale Do Rio Doce (CVDRD) has evaluated the mining of anatase deposits in Minas Gerais for 20 years. The state-owned company cooperates with Du Pont. The anatase reserves are enormous; the high radioactivity of the mineral (around 500 ppm), however, is problematic.

It is assumed that CVDRD will exploit 70,000 tpa anatase (grading 93 % TiO<sub>2</sub>) beginning in 1996 to be used in Du Pont's planned pigment plant in Brazilia. The author doubts that any other pigment producer will buy this product (Table 6).

Wimmera Industrial Minerals Pty Ltd (WIM), which is owned by CRA Ltd, evaluates a vast ancient sand deposit at Horshan, Victoria, Australia. The deposit could double Australia's rutile and leucoxene reserves to 40 million tonnes. Hazards are, however, the extremely fine size of the sand and chromium minerals.

WIM reports to have found a micro-agglomeration technique and that they are able to remove contaminants. The company announced intention to produce 110,000 tpa high-titanium agglomerates which contain 90 % TiO<sub>2</sub>. These agglomerates are reported to be chlorinatable as well as sulfatable. In Table 6, it is assumed that WIM will begin its operation in 1996 and gradually increase production to 110,000 tpa.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Synthetic rutile production</b>											
Yokkaichi	48 <sup>*)</sup>	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Hitox	0	0	10	15	20	20	20	20	20	20	20
Kerr McGee	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Westralian Sands	100	100	100	200	200	200	200	200	200	200	200
Tiwest Joint Venture	0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
AMC	160	220	290	290	290	290	290	290	290	290	290
IRE	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KMML	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DCW	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>Synthetic rutile production</b>	<b>450</b>	<b>638</b>	<b>718</b>	<b>823</b>	<b>828</b>	<b>828</b>	<b>828</b>	<b>828</b>	<b>828</b>	<b>828</b>	<b>828</b>
<b>Synthetic rutile in contained TiO<sub>2</sub>, assuming 93 % TiO<sub>2</sub></b>	<b>419</b>	<b>593</b>	<b>668</b>	<b>765</b>	<b>770</b>	<b>770</b>	<b>770</b>	<b>770</b>	<b>770</b>	<b>770</b>	<b>770</b>
<b>Chlorinatable slag production</b>											
Richards Bay Slag	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Sorel Slag	0	0	0	0	100	200	200	200	200	200	200
<b>Chlorinatable slag production</b>	<b>700</b>	<b>700</b>	<b>700</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>900</b>
<b>Chlorinatable slag in contained TiO<sub>2</sub>, assuming 85 % TiO<sub>2</sub></b>	<b>595</b>	<b>595</b>	<b>595</b>	<b>595</b>	<b>680</b>	<b>765</b>	<b>765</b>	<b>765</b>	<b>765</b>	<b>765</b>	<b>765</b>
<b>Anatase production</b>											
CVDRD's anatase production	0	0	0	0	0	0	70	70	70	70	70
<b>Anatase in contained TiO<sub>2</sub>, assuming 93 % TiO<sub>2</sub></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>65</b>	<b>65</b>
<b>WIM high-titanium agglomerates</b>											
WIM high-Ti production	0	0	0	0	0	0	20	50	70	100	110
<b>WIM high-Ti in contained TiO<sub>2</sub>, assuming 90 % TiO<sub>2</sub></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>45</b>	<b>63</b>	<b>90</b>	<b>99</b>

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes

Table 6: Projected production of synthetic rutile, chlorinatable slag, anatase and WIM high-titanium agglomerates

## OUTLOOK FOR NORWEGIAN RUTILE

Is there a market for rutile from Norway? We look at the supply and demand for chlorinatable feedstock and consider possible customers.

### Supply/Demand Balances

In the previous chapters, demand (Table 2 and 4) and supply for chlorinatable feedstock (Table 5 and 6) have been forecast to year 2000. Table 7 combines the data and shows the supply/demand balances for rutile, synthetic rutile, and chlorinatable slag.

There will be a rutile shortage. In 1994 rutile demand will be about 60,000 tonnes larger than supply, and in 2000 the shortage will increase to around 150,000 tonnes. Pigment producers must shift increasingly to synthetic rutile and chlorinatable slag. Titanium sponge producers will possibly be forced to utilize synthetic rutile and chlorinatable slag.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Demand for chlorinatable feedstock</b>											
Rutile (non-pigment industry)	208 <sup>*)</sup>	213	219	224	230	236	242	248	254	260	267
Rutile (pigment industry)	278	297	358	354	386	410	416	429	441	455	468
Rutile demand	486	510	577	578	616	646	658	677	695	715	735
Synthetic rutile demand	441	472	569	563	613	651	661	681	701	722	744
Chlorinatable slag demand	231	248	299	295	322	341	347	357	368	379	390
<b>Supply for chlorinatable feedstock (without Anatase and WIM's high-titanium agglomerates)</b>											
Rutile supply	490	506	542	551	555	562	572	572	581	581	581
Synthetic rutile supply	419	593	668	765	770	770	770	770	770	770	770
Chlorinatable slag supply	595	595	595	595	680	765	765	765	765	765	765
<b>Supply/demand balances</b>											
Rutile balance	4	-4	-36	-27	-61	-84	-86	-105	-114	-134	-154
Synthetic rutile balance	-23	121	99	202	157	119	109	89	69	48	26
Chlorinatable slag balance	364	347	296	300	358	424	418	408	397	386	375

<sup>\*)</sup> in 000s metric tonnes titanium dioxide content

Table 7: Supply and demand for chlorinatable feedstock

The overall balance shows that there is enough chlorinatable feedstock. New products, Brazilian Anatase and WIM high-titanium agglomerates, might have difficulties marketing products similar to synthetic rutile and chlorinatable slag.

A Norwegian rutile producer, however, will find a market. A condition is that the product fulfils producer's requirements: 95 % TiO<sub>2</sub> content, only small amounts of impurities (CaO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), little or no radioactivity.

Table 8 gives supply/demand balances under very low growth assumptions. A 1 % growth is taken for the pigment and non-pigment industry. Producers of pigment, synthetic rutile and chlorinatable slag will reduce or cancel their expansion plans.

Under these "worst case"-assumptions rutile demand almost balances rutile supply, and a Norwegian producer might find difficulties entering the market.

### The European Market

A Norwegian rutile producer has a home advantage on the European Market due to short haulage distances and smaller freight costs. Freight costs from Australia to Europe are around U.S.\$ 25/t. Also personal contacts, which cannot be underestimated, can be easier to maintain, as all chloride-route pigment plants are within two flight hours from South Norway.

There are five chloride-route pigment plants in Europe: in Leverkusen, Langerbrugge, Stallingborough, Greatham and Botlek. The sponge producers in the CIS and United Kingdom are not taken into consideration, as the market is very small (Deeside Titanium, UK, has a 5000 tpa sponge capacity; CIS does not use rutile and will probably reduce production.). The European welding rods/fluxes industry is also not of interest, as leucoxene is preferred.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Pigment industry</b>											
Worldwide pigment consumption (assuming 1 % annual growth)	3000 <sup>*)</sup>	3030	3060	3091	3122	3153	3185	3216	3249	3281	3314
Installed pigment capacity	3360	3352	3803	3888	3888	3888	3888	3888	3888	3888	3888
Chloride-route plant capacity (high TiO <sub>2</sub> feedstock)	933	968	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285
Operating rate (in %)	89	90	80	79	80	81	82	83	84	84	85
Effective chloride-route plant capacity	833	875	1034	1022	1032	1042	1053	1063	1074	1084	1095
<b>Non-pigment industry</b>											
Rutile demand for sponge production (1 % annual growth)	102	103	104	105	106	107	108	109	110	112	113
Rutile demand for welding rods and fluxes (1 % annual growth)	106	107	108	109	110	111	113	114	115	116	117
<b>Demand for chlorinatable feedstock</b>											
Rutile demand	486	502	557	555	560	566	572	577	583	589	595
Synthetic rutile demand	441	463	547	541	546	552	557	563	568	574	580
Chlorinatable slag demand	231	243	287	284	287	289	292	295	298	301	304
<b>Supply for chlorinatable feedstock</b>											
Rutile supply	490	506	542	551	555	562	572	572	581	581	581
Synthetic rutile supply	419	593	668	672	677	677	677	677	677	677	677
Chlorinatable slag supply	595	595	595	595	595	595	595	595	595	595	595
<b>Supply/demand balances</b>											
Rutile balance	5	5	-15	-4	-6	-4	0	-5	-2	-8	-13
Synthetic rutile balance	-23	130	120	132	131	125	120	114	109	103	97
Chlorinatable slag balance	364	352	308	311	308	306	303	300	297	294	291
*) in 000s metric tonnes titanium dioxide content											

Table 8: Low growth assumption - supply and demand for chlorinatable feedstock

Kronos Inc operates a 80,000 tpa plant in Leverkusen, Germany, and a 40,000 tpa plant in Langerbrugge, Belgium. Information on the feedstock could not be obtained.

SCM Chemicals Ltd owns a 85,000 tpa plant in Stallingborough, South Humberside, United Kingdom. Feedstock is largely drawn from Sierra Rutile. SCM's parent company, Hanson Industrie PLC, owns 49 % of Renison Goldfield.

Tioxide Group PLC has a chloride-route plant in Greatham, United Kingdom. Tioxide owns 45 % of Westralian Sands and probably uses synthetic rutile from Westralian Sands' Australian plant.

TDF Tiofine BV operates a 45,000 tpa plant in Botlek, The Netherlands. Tiofine imports from Sierra Leone and Australia; raw materials are probably rutile and synthetic rutile.

It also should be mentioned that Du Pont has recently shown interest in Norwegian rutile deposits. The company, which does not operate a plant in Europe, also acquired land in Asturias, Spain. The company could evaluate entering the European market with a pigment plant in Spain supplied with Norwegian rutile.

## Conclusion

Rutile will remain in undersupply throughout the 1990s. A Norwegian operation should be able to market rutile at an attractive price. The contract price for rutile is around U.S.\$ 500/t and should remain at this level. The most interesting customers could be European pigment producers without native feedstock: Kronos Inc and TDF Tiofine BV. An involvement of Du Pont is also a promising option.

## ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to thank Titania A/S for use of their Roskill report "The Economics of Titanium 1989" and the report "Titanium Industry Strategies for the 1990s" published by Metals Economics Group.

## REFERENCES

- Industrial Minerals: 1988, 1989, 1990, 1991 issues, January 1992 issue. UK Editorial Office, 16 Lower Marsh, London SE1 7RJ, England.
- Metals Economics Group: Titanium Industry Strategies for the 1990s. September 1990. Metals Economics Group, P.O.Box 2206, Halifax, NS B3J 3C4, Canada.
- Mining Journal: Metals & Minerals Annual Review 1991. The Mining Journal Ltd, 60 Worship Street, London EC2A 2HD, England.
- Mining Journal: Mining Annual Review 1991. June 1991. The Mining Journal Ltd, 60 Worship Street, London EC2A 2HD, England.
- Roskill: The Economics of Titanium. 6th edition 1989. September 1989. Roskill Information Services Ltd, 2 Clapham Road, London SW9 0JA, England.