

VESTLANDSPROGRAMMET

NGU-rapport nr. 1560/27

Samarbeidet NGU - I/S ANORTAL

En oversikt over Jotundekkets  
anorthositt-forekomster

I Nordhordaland og Indre Sogn

1980



# Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eiriksons vei 39  
Tlf. (075) 15 860

Postboks 3006  
7001 Trondheim

Postgironr. 5168232  
Bankgironr. 0633.05.70014

Rapport nr. 1560/27		Åpen
Tittel: En oversikt over Jotundekketts anorthositt-forekomster i Nordhordaland og Indre Sogn.		
Oppdragsgiver: NGU - I/S ANORTAL	Forfatter: Statsgeolog Henning Qvale	
Forekomstens navn og koordinater: Nordhordaland og Indre Sogn	Kommune: Voss, Aurland, Leikanger, Sogndal, Ardal, Luster	
Fylke: Hordaland Sogn og Fjordane	Kartbladnr. og -navn (1:50 000):	
Utført: 1979-80	Sidetall: 26	Tekstbilag: - Kartbilag: 6
Prosjektnummer og -navn: 1560 Vestlandsprogrammet		
Prosjektleder: Statsgeolog Karl-Oscar Sandvik		
Sammendrag:		
Nøkkelord	Anorthositt	Regional geologi
	Industrimineral	Petrografi
	Aluminiumsråstoff	Tidligere arbeider

Ved referanse til rapporten oppgis forfatter, tittel og rapportnr.

## INNHold

	Side
SAMMENDRAG .....	1
INNLEDNING .....	2
REGIONAL GEOLOGI .....	2
ANORTHOSITTISKE BERGARTER .....	3
Klassifikasjon .....	3
Utbredelse .....	5
Offerdal-Kinsedal .....	6
Kaupanger-Sogndal .....	8
Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal .....	10
Fresvik-Dyrdal .....	15
Gudvangen-Mjølfjell .....	17
KONKLUDERENDE BEMERKNINGER .....	23
REFERANSER .....	24

## SAMMENDRAG

Denne rapport er ment å være en samlende gjennomgåelse av eksisterende litteratur om anorthosittiske bergarter i Jotundekketts øvre enhet i Hordaland og Sogn. Forekomstene settes i regionalgeologisk sammenheng, og deres prospekteringsmessige interesse kommenteres i lys av feltmessige, mineralogiske og kjemiske data.

De anorthosittiske bergartene er på topografisk grunnlag delt i 5 provinser. 1) Offerdal-Kinsedal; 2) Kaupanger-Sogndal; 3) Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal; 4) Fresvik-Dyrdal; og 5) Gudvangen-Mjølfjell. Mens de 4 nordligste er dominert av leuco-gabbroide bergarter (M = 10-35%), er den sydligste, Gudvangen-Mjølfjell-provinsen, dominert av renere anorthositter. Disse karakteriseres ved granulær, middelskornet likevektstekstur mellom amfibol, epidot (+/- granat og korund) og plagioklas ( $An_{67-78}$ ) i friske prøver.

Større sammenhengende felter med anorthositt av god kvalitet er kun påvist innen Gudvangen-Mjølfjell-provinsen.

## INNLEDNING

Denne rapport er skrevet for å tilfredsstille et lenge uttalt ønske fra deltagerne innen ANORTAL-NGU-samarbeidet om en orientering om status for de regional-geologiske undersøkelser av anorthosittene i Hordaland og Sogn. Den foregriper i noen grad begivenhetens gang i det arbeidet innen de enkelte feltene tildels står meget langt fra sin avslutning. Grunnlaget for de konklusjoner som trekkes kan derfor være tynt, og leseren må derfor også være forberedt på at fremtidige data vil kunne føre til endringer.

Presentasjonen innledes med en kort regional geologisk gjennomgåelse, med spesiell vekt på utbredelsen av de anorthosittiske bergartene. Av topografiske og geologiske årsaker er det naturlig å dele forekomstene av anorthosittiske bergarter inn i provinser, som deretter blir beskrevet hver for seg. Beskrivelsen baserer seg dels på arbeider utført i pre-ANORTAL tid, dels på arbeider utført av deltagere innenfor ANORTAL-NGU-samarbeidet. Også denne rapporten er derfor i stor grad basert på data fremskaffet av andre enn forfatteren; referanser til disse kilder er samlet til slutt.

## REGIONAL GEOLOGI

De regional geologiske forhold i Sogn og nordlige Hordaland har i de senere år vært gjenstand for omfattende undersøkelser i N.G.U.'s regi. Kartet (bilag 01) som i sterkt forenklet form viser kartbildet slik det nå fremstår, er dels en reproduksjon fra Bryhni, Brastad & Jacobsen (1977), og dels forenklet etter Lutros (1979a) kartblad Lustrafjord og egne observasjoner innen kartblad Ulvik.

Den tektonostratigrafiske oppbygningen i Sogn er forsøkt skjematisk av Bryhni i fig. 1 (fra Bryhni et al. 1977). Over heterogene grunnfjellsgneiser ligger fyllitter av ukjent, men sannsynligvis sterkt varierende alder. Over disse finnes ofte de såkalte "sparagmittiske" kvartsfeltspat-skifre som av Bryhni er vist for en stor del å være tektoniserte mangerittiske bergarter fra overliggende undre enhet av Jotundekket. Denne er dominert av alkalifeltspatrike bergarter, hovedsaklig mangeritter og jotunitter, og av gabbronoritter, mens den øvre enhet domineres av plagioklasrike bergarter, særlig anorthosittiske og gabbroide bergarter.

For mer detaljerte opplysninger om tektonostratigrafi, litologi og kartbilde henvises til flere omfattende rapporter og preliminærkart som er gjort tilgjengelig i den senere tid: Bryhni et al. 1977; Bryhni & Brastad 1978; Bryhni 1979b; Lutro 1979a.

## ANORTHOSITTISKE BERGARTER

### Klassifikasjon

I diskusjonen av anorthosittiske bergarter har det vært benyttet mange forskjellige klassifikasjonssystemer. Det er nå særlig to som er aktuelle. Buddington (1939) og I.U.G.S. (bl.a. 1973) som ikke skiller seg fra hverandre på stort annet enn navnsettingen. (I.U.G.S.-systemet er foreslått av en internasjonalt oppnevnt komité under ledelse av prof. A.L. Streckeisen, og refereres ofte til i hans navn). I tabell 1 er de to systemer sammenlignet for bergarter som består av plagioklas + mørke mineraler:

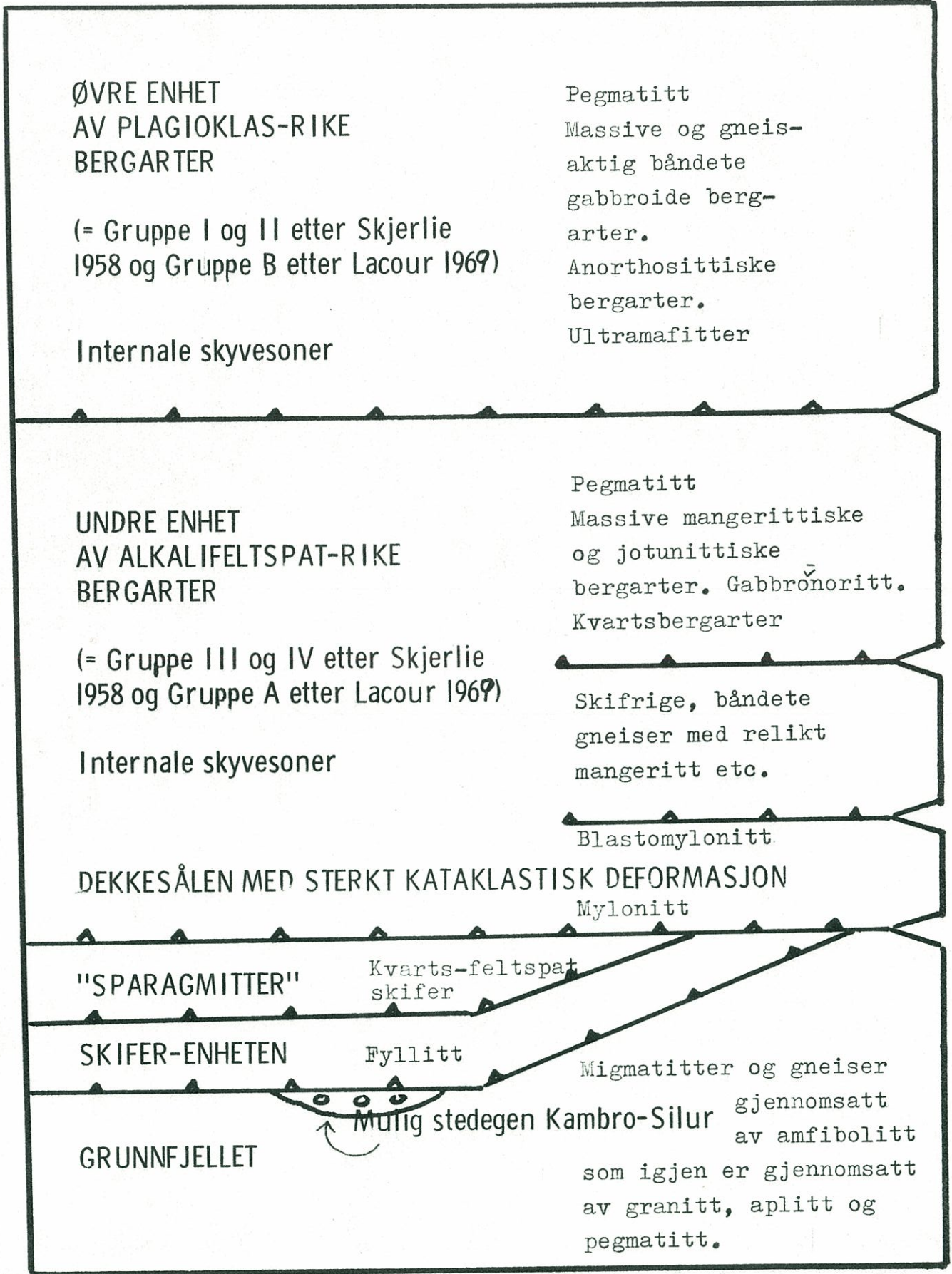


Fig. 1. Skjematisk tektonostratigrafisk inndeling av bergartene i Jotundekket og dets underlag. Etter Bryhni 1977.

Tabell 1.

Innhold av mørke min.	Buddington 1939	I.U.G.S. 1973
0-10%	Anorthositt	Anorthositt
10-22½%	Gabbro-anorthositt	Leuco-gabbroider
22½-35%	Anorthositt-gabbro	
35-65%	Gabbroider	Gabbroider

Ut fra ønsket om standardisering av geologisk nomenklatur er det siste alternativet absolutt å foretrekke, og det vil derfor bli fulgt her. "Anorthosittiske bergarter" vil imidlertid bli opprettholdt som en uformell betegnelse på anorthositter og de beslektete plagioklasdominerte bergarter med mindre enn 35% mørke mineraler, til diskusjons- og feltbruk.

#### Utbredelse

De anorthosittiske bergarters utbredelse fremgår av kartet (bilag 01). De forekommer hovedsaklig i to geografisk atskilte områder, det sydlige mellom Nærøydalen og Mjølfjell og det nordlige som strekker seg fra Dyrdal ved Nærøyfjorden til Kinsedal ved Lustrafjorden. Under den forrige periode av undersøkelser av anorthosittene i Hordaland og Sogn foretok Goldschmidt (bl.a. 1917c) en inndeling i felter delvis på grunnlag av eiendomsforhold. Dette er neppe hensiktsmessig nå, og den inndeling som benyttes her er foretatt på topografisk/tektonisk grunnlag. Det fremkommer dermed 5 atskilte "provinser" markert på bilag 01, og disse vil bli omtalt hver for seg i det etterfølgende:



- I Offerdal-Kinsedal
- II Kaupanger-Sogndal
- III Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal
- IV Fresvik-Dyrdal
- V Gudvangen-Mjølfjell

Nummereringen avviker fra tilsvarende foreslått av Dugstad (1975) og Bryhni et al. (1977), men da områdene til nå er omtalt ved navn, skulle ikke dette forårsake forvirring.

På egne kartbilag (02-06) er aktuelle navn satt på, sammen med tall som angir resultatet av forsøk på å anslå totalt innhold av mørke mineraler innenfor et område.

#### Offerdal-Kinsedal

Denne provins omfatter anorthosittforekomster på neset mellom Lustrafjorden og Årdalsfjorden. Området er opprinnelig kartlagt av Rekstad (1905) og Reusch (1908), men er nylig kartlagt i større detalj av Lutro og Tveten (Lutro 1979a) (bilag 01).

Prospekteringen i dette området ble innledet i begynnelsen av dette århundre med prof. Goldschmidt som konsulent. Undersøkelsen konkluderte med at det burde være gode muligheter for å finne drivverdige forekomster langs sydøstsiden av Kinsedalen (Goldschmidt 1917b,c). Andre felter innen denne provinsen ble avskrevet hovedsaklig på grunnlag av dårlig kvalitet i det innsamlete materiale (Goldschmidt 1917a,b,c).

Under 2. verdenskrig ble det fra Kinsedal tatt ut ca. 15000 tonn for prøvedrift av et raffineringsanlegg i Norsk Hydro's regi (Jensen 1977, s. 6 og 17). Kvaliteten var ujevn, grunnet zoisittiserte soner og høyt Fe-innhold.

Også  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -innhold rundt 28% indikerer at kvaliteten ikke har vært helt god etter någjeldende kriterier. Andre opplysninger om undersøkelsesaktiviteten i denne perioden er ikke kjent for undertegnede.

Dugstad (1975) gir kjemisk analyse av prøve fra bruddet i Kinsedal. Denne viser "normalt" innhold av  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mens  $\text{Al}_2\text{O}_3$  er noe lavere (29.2%) enn vanlig for gode prøver i Gudvangen-Mjølfjell-provinsen.

Sommeren 1979 er det av N.G.U. foretatt regional kartlegging av anorthosittiske bergarter i Kinsedal-Offerdals området (bilag 02). Anorthosittene opptrer i to tektonisk atskilte nivåer med en horisont av mangerittiske og gabbroide bergarter mellom. Det ble der skilt ut 4 hovedtyper av anorthosittiske bergarter (Lutro 1979b):

- a. Jevnkornet grå anorthositt. Grålige plagioklaskorn opptil 1 cm store, delvis rekrystallisert langs kantene. Inneholder vanligvis mindre enn 5% mørke mineraler (chloritt, biotitt, amfibol). Foreløpige data indikerer at plagioklasens sammensetning varierer på samme måte som kjent fra de sydlige provinsene (Bhanumathi & Bryhni, in prep., Jacobsen 1978).  $\text{An}_{70-72}$  er registrert i en prøve. Friske prøver av denne typen bør gi høy syreløselighet.
- b. Ujevnkornet anorthositt, med opptil 5 cm store anhedrale grå, mørk blålig eller teglstensrød plagioklaskorn i melkehvit finkornet plagioklas-matriks ofte i en brekksjeligende tekstur. Foreløpige resultater viser at det ikke er vesentlig forskjell i sammensetningen av plagioklas-modifikasjonene i en prøve. An-innhold mellom 49 og 62 er observert. Samtlige prøver undersøkt til nå gir meget dårlig syreløselighet. Bergartstypen inneholder lite mørke mineraler, men danner også overganger til leuco-gabbro.

- c. Leucogabbro, inneholder mellom 10 og 30% mørke mineraler, vesentlig granat, pyroksen og/eller amfibol. Plagioklasen kan vise de samme farver som type b. De mørke mineralene er dels jevnt fordelt, dels konsentrert i bånd.
- d. Sliret leucogabbro har de mørke mineraler konsentrert i linser eller slireformete aggregater  $\frac{1}{2}$ -10 cm lange, ofte vel utviklete korona-teksturer.

Av disse fire typene er det bare a som har økonomisk interesse. Kun to større felter der denne dominerer er påvist: langs Kinsedalens sydøst-side og på Reinspelnosi. Begge ligger i høyeste anorthositnivå.

Grensen mellom mangerittiske og anorthosittiske bergarter følger i Kinsedal sydøst-siden av Kinsedalselvi, ca. 100 m over denne. I stien mellom Kinsedal og Øystølen opptrer anorthositt fra Åsen (ca. 200 m.o.h.) til ca. 600 m.o.h. i spredte blotninger. Prøvedriften ble foretatt i dette området ca. 450 m.o.h. Inntrykket fra dette profilet og befaring i bruddet, er at det er lett å finne gode kvaliteter, men kvaliteten av feltet som helhet er forringet av meget hyppige forskifrete og forgneisete soner.

På Reinspelnosi er anorthositten massiv og frisk, men store mengder tildels flattliggende sure intrusjoner i nord og overdekning mot sydvest vanskeliggjør anslag av mektighet.

#### Kaupanger-Sogndal

Denne provinsen omfatter anorthosittiske bergarter vest for Lustrafjord (bilag 01) innenfor kartbladene Solvorn, Kaupanger og Leikanger. Rekstad (1905) og Goldschmidt (1916) innledet den geologiske kartlegging av området. Senere var det en lang pause inntil mer detaljerte arbeider

ble publisert (Lacour 1969 og 1971 fra områdene omkring Sogndal, og Skjerlie 1958, vest for Sogndal). I de siste årene er kartlegging i skala 1:50 000 tatt opp, og alle de tre nevnte kartbladene er på det nærmeste ferdige (Leikanger: Bryhni & Brastad 1978; Kaupanger: Bryhni 1979b; Solvorn: Henry, upublisert).

De anorthosittiske bergartene opptrer i to atskilte felt på hver side av Sogndalsfjorden. Det største ligger på sydøstsiden av fjorden med tektonisk begrensning mot det mangerittiske underlaget i nordvest og begrenset mot sydøst av økende mengde av granodiorittiske ganger (bilag 01). Det strekker seg kontinuerlig fra Fimreite til Lustrafjord. Det minste feltet er lokalisert på toppen av Store Skriki sydvest for Sogndal (se bilag 03).

Goldschmidt (1917b,c) har etter en omfattende befaring langs kysten fra Lustrafjord til Sogndal konsentrert oppmerksomheten om et felt ved Langenes i Eidsfjord der relativt rene anorthositter forekommer i veksling med tynne mer mafiske bånd. Disse bergartene er fulgt opp mot Storehaugen. Analyser av anorthositt herfra viser 23-26% "løselig lerjord" under forutsetning av at de mafiske bånd fjernes ved skeiding. I tillegg nevnes opptreden av "helt ubrukbare bænke". Dette tyder på uakseptabel kvalitet etter de krav som nå gjelder. Ellers fremheves den stadige opptreden av mafiske linser og lag samt "granittiske" ganger.

Bryhni et al. (1977) gir ingen ytterligere detaljer fra områdene sydøst for Sogndalsfjorden. Siste sommer er områdene kartlagt grundigere, og Bryhni skriver i sin rapport herfra (1980) at gabbroanorthositt med mørke bånd og linser dominerer. Over Edlingskuten (ovenfor Langenes) synes det å være en antiform slik at benker av gabbro-anorthositt faller langs fjellsiden ned mot fjorden. Noen særlig tykkelse av de evt. renere anorthosittlag er det derfor ikke tale om. Benkningen kan følges

sydvestover til haugene nordenfor Lingesete hvor det er store, hvite sva av leuco-gabbro, men også ren anorthositt. Små flekker av amfibolrikt materiale bidrar imidlertid til at innholdet av mørke mineraler vanligvis overstiger 10%.

Forekomsten på Store Skriki er ikke undersøkt i detalj. Goldschmidt (1917c) antyder for høyt innhold av mørke mineraler etter mikroskopering av en prøve. På kart fra Skjerlie (1958) ser området langt mer interessant ut, idet det der er angitt tre større felter, men Bryhni (1979a) har slått fast at dette ikke er riktig. Bryhni (op.cit.) underbygger også Goldschmidts inntrykk av bergarten. Lagvis eller uregelmessig veksling mellom anorthositt, leucogabbro og amfibolitt. Anorthositten er vanligvis tektonisert i betydelig grad, ellers inneholder bergarten frisk mørkgrå plagioklas ved siden av de vanligste mørke mineraler amfibol, clinopyroksen og orthopyroksen (tilsammen 10% i en undersøkt prøve).

#### Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal

Anorthosittene i dette feltet utgjør en stor del av neset mellom Aurlandsfjorden og Lærdal, foruten utløpere mot nordøst nord for Lærdal (bilag 01). Etter oversiktskartlegging av Rekstad (1905) og Goldschmidt (1916) har det ikke vært rapportert aktivitet innenfor denne provinsen før i de siste 10 år: Malm 1977 og Bryhni et al. 1977. Alle de aktuelle kartblad er i arbeid: Kartblad Aurland foreligger i foreløpig utgave (Bryhni 1977), tilsvarende utgave av Kaupanger vil foreligge i nær fremtid (Bryhni 1979b), Lærdalsøyri er i arbeid (Malm 1977, Lutro 1979b).

Provinsen er under prospekteringsarbeidet oppdelt i et stort antall separat navngitte felt (Goldschmidt 1917c) (se bilag 04): Skjærdals-Kappadalsfeltet (s. 9) (kalt Kappadals-Nissedalsfeltet, s. 26) syd for den regionale forkastningen/skyvesonen mellom Lærdalsfjorden og Aurlandsfjorden; Kolarfeltet, en smal kile mellom skyvesonen og Kolarelva/Nordheimselva (s. 24); Frønningens felt som begrenses av Kolarelva/Nordheimselva, Aurlandsfjorden, Sognedjorden, Lærdalsfjorden og Erdalen (s. 22); Lærdalsørens felt (Lærdalsfeltet, s. 9) er en forkastnings-betinget plate av anorthosittiske bergarter mellom Erdalen og Lærdalsøyri (s. 21); Fodnæsfeltet mellom Lærdalsfjorden og Årdalsfjorden (s. 21); Skjærdalsfeltene (ikke samme som ovennevnte Skjærdals-Kappadalsfeltet) små tektonisk begrensede felter i øvre del av Skjærdalen (s. 28), og feltet på Hornsnipa øst for Skjærdalen som ligger i samme strukturelle posisjon som Skjærdalsfeltene (s. 28, Bryhni et al. 1977, s. 43, Bryhni 1979a). En begrensning av denne navneforvirring er nødvendig og jeg vil derfor i det følgende benytte navn som knyttes til strukturelt sammenhengende områder. Kappadalsfeltet, Skjærdalsfeltene, Hornsnipa, Kolar-Frønningen-feltene, Lærdalsfeltene (bilag 04).

Kappadalsfeltets begrensning er gitt foran. De anorthosittiske bergartene ligger mot vest og syd over (mangerittiske?) gneiser og mot øst over mafiske bergarter (gabbronoritt og amfibolitt) (Bryhni 1977). Sentralt omslutter anorthosittene en større kropp av mangerittiske bergarter i Nissedalsfjell.

Goldschmidt (1917c) har på grunnlag av blokkfunn under "labradorstensveggen søndre for Nissedalsøter" anbefalt området for nærmere undersøkelser. Lokaliseringen av denne veggen er noe uklar, men den er sannsynligvis identisk med sydveggen av Handklæfjell, tr.p. 1038.

Siste sommers feltarbeid viser at de anorthosittiske bergarter domineres av leucogabbro. Anorthositter finnes kun i den sydvestlige del av feltet mellom Handklæfjell og Skorvi. De ser der ut til å opptre i en 20-30 m mektig benk nær de anorthosittiske bergartenes undergrense, og danner ofte en brattkant i terrenget. Delvis saussurittisering er vanlig såvel i denne benken som i omgivende leucogabbro, og er den direkte årsak til at det ikke er påvist noe større sammenhengende område av god kvalitet.

Kolar-Frønningen-feltene. Dette store massivet av anorthosittiske bergarter grenser mot gneiser og Kappadalsfeltets anorthosittiske bergarter i syd og sydøst langs Lærdalsfjord/Aurlandsfjord-forkastningen og mot gabbroide bergarter i øst mellom Lærdalsøyri og Revsnes (Bryhni et al. 1977).

Goldschmidt (1917c) har ikke ved selvsyn påvist større brukbare forekomster innen disse feltene, og rapporterer høyt innhold av oppløselig jern og dårlig Al-utbytte. Derimot regner han med at det i Bleia-området etter forvitningsfarven å dømme burde finnes gode anorthositter. Sommerens feltarbeid har vist at dette ikke er tilfellet. Store deler av feltet består av leucogabbro av forskjellige utviklinger, med mindre forekomster av renere, frisk anorthositt sentralt i feltet nord for Kolarbotn og ellers spredt.

To hovedtyper av leucogabbro dominerer. Granat-leucogabbro er en middels- til finkornet bergart med de mørke mineraler jevnt fordelt i bergarten, eller konsentrert i bånd. I tillegg til granat opptre clinopyroksen og amfibol i likevekt med plagioklas med sammensetning svarende til  $An_{57-64}$ . Alle disse faser kan være sekundært omvandlet i varierende grad. Plagioklas kan i den forbindelse være inverst sonert. An-verdier opp til 74 er registrert nær korngrenser.

Koronittisk leucogabbro har de mørke mineraler konsentrert i koronaer (fig. 2) eller linseformete aggregater etter slike. Omgivende plagioklas har vanligvis sammensetning svarende til  $An_{58-62}$ . Plagioklasen viser ofte en



Fig. 2. Koronaer i leucogabbro fra Grånosi ved Kolarbotn.

karakteristisk heteroblastisk tekstur med 0,5-3 cm store, ofte mørke korn med ujevne hvite korngrenser definert av meget finkornet matriks. Det er ikke registrert vesentlig forskjell i sammensetning av de to modifikasjoner. Denne teksturen er lett å kjenne igjen selvom bergarten lokalt kan være så "ren" at den spesielle koronittiske tekstur ikke opptrer.

Bergarten viser skarpe grenser mot sidebergarten, som som oftest er den forannevnte granat-leucogabbro. I noen tilfeller er gjennomsettende relasjoner observert, f.eks. ved at en mafisk åre er kuttet (fig. 3). Ofte er imidlertid grenseforholdene gjort uklare ved utviklingen av en sekundær kløv.





Fig. 3. Gjennomsettende anorthositt i granat-leucogabbro. Grånosi ved Kolarbotn.

Jevnkornete anorthositter med Ca-rikere plagioklas er relativt uvanlig innenfor disse feltene. Forekomster ved Kolarbotn er av god kvalitet, men p.g.a. stadig forekommende gabbroide og granodiorittiske intrusiver og forgneisings/forskifringssoner synes feltene økonomisk uinteressante. Andre steder opptrer de gode anorthosittene stort sett i lagvis veksling med mafiske bergarter, som demonstrert av Bryhni et al. (1977) fra Frønningen (s. 56-58). Det dårlige inntrykket bekreftes også av Dugstad (1975).

Lærdalsfeltene. Disse feltene er lokalisert på begge sider av Lærdalsfjorden og omtales kort av Goldschmidt (1917c, s. 21): Feltet på nordsiden av fjorden ... "er absolut ubrukelig, idet det kun inneholder de sletteste sorter, dertil sterkt opblandet med hvite granitgange." Konklusjonen for feltet på sydsiden av fjorden er den samme, selv om årsaken der er høyt innhold av mørke mineraler og lavt An-innhold i plagioklasen.

Nyere kartlegging har bekreftet disse konklusjoner (Malm 1977).

Skjærdalsfeltene. Disse to mindre forekomstene er kartlagt av Bryhni (1977) som i dagboken ikke har rapportert funn av friske anorthositter. Deres strukturelle posisjon i en regional skyvesone forklarer dette.

Hornsnipa. Dette feltet ligger i samme strukturelle posisjon som de foran nevnte Skjærdalsfeltene mellom gabbronoritt/amfibolitt/granulitt og gneiser, men er større (Bryhni 1977, 1979a). "Forekomsten består av båndet leucogabbro hvor det er tallrike mørke granat-hornblende lag med tykkelse opptil flere 10-talls meter." "Lag av ren anorthositt opptrer som opptil 20-30 m tykke lag ...." (Bryhni 1979a). Både friske og kataklastisk deformerte anorthositter er observert, men de friske er ikke funnet i så store masser at drivverdighet kan komme på tale (Bryhni op.cit.).

Fresvik-Dyrdal. Denne provinsen omfatter anorthosittiske bergarter på østsiden av Nærøyfjorden og ytre del av Aurlandsfjorden mot vest til Moldbakkefjellet sydøst for Feios (bilag 01).

Også i dette området ble de regionalgeologiske undersøkelser innledet av Rekstad (1905) og Goldschmidt (1916), men en mer systematisk moderne kartlegging ble først påbegynt i 1970-årene. Provinsen dekkes av kartbladene Leikanger (Bryhni et al. 1978), Kaupanger (Bryhni 1979b), Aurland (Bryhni 1977) og Gudvangen (Bryhni, in prep.). De anorthosittiske bergartene opptrer i to flattliggende horisonter med en gruppe av basiske, ofte forgneisete bergarter, hovedsaklig gabbronoritt, granulitt og amfibolitt (Bryhni et al. 1978) både over og under.

Innen provinsen er det av Goldschmidt (1917c) skilt ut to anorthosittfelt, Dyrdalsfeltet og Fresvikfeltet, som skulle være sammenhengende. Kartbildet (Bryhni et al. 1978) tyder imidlertid på at de representerer minst to separate nivåer i tektonostratigrafien. Selvom Goldschmidt ikke er konsekvent i bruken av disse navn, vil de bli benyttet her (bilag 05): Dyrdalsfeltet beliggende sydøst for Dyrdal med en tynn utløper mot nord langs Nonhaugfjelllets vestsida; Fresvikfeltet mellom Aurlandsfjorden og Fresvik. I tillegg omtales de anorthosittiske bergartene vest for Fresvik i Enggjafjell, Moldbakkefjellet og ved Fresvikbreen separat (bilag 05).

Anorthosittiske bergarter i Dyrdalsfeltet (slik det her er begrenset) beskrives ikke direkte av Goldschmidt, men hans negative konklusjon for alle anorthositter syd for Lægdesetrene omfatter sannsynligvis også Dyrdalsfeltet. Bryhni & Brastad (1978, s. 12) anslår gjennomsnittssammensetningen til å være "gabbro anorthosittisk".

Fresvikfeltet er også dominert av anorthosittiske bergarter med for høyt innhold av mørke mineraler (80-85% plag. Bryhni & Brastad 1978), og stadige linser og lag av mafiske bergarter. De samme grenseforhold mellom tilsynelatende friske koronittiske anorthositter og jevnkornig mer granulær, hvit leucogabbro som er observert i Kolar-Frønningen-feltene, er også funnet her.

På grunnlag av bergartenes massive erosjonsformer og gråhvite farve har Goldschmidt (1917c) antydnet mulige brukbare forekomster i Lægdefjell og Troldskilholten

I dette området er det ved senere befaringer av Wanvik (Jensen & Wanvik 1979, s. 6-8) og av undertegnede ikke funnet at det skilder seg vesentlig fra resten av feltet. Det samlede inntrykk av Fresvikfeltet er at det er lett å påvise ubegrensede forekomster av tildels meget god anorthositt, men at de aldri når opp i slike masser at diskusjon om drivverdighet blir aktuelt. Dette illustreres godt av at det forsøksvis ble tatt ut et prøveparti anorthositt fra Aksnes for oppredning ved Høyanger, men da anorthositten her forekommer i benker i veksling med mer mafisk materiale, måtte håndskeiding til for å få tilstrekkelig god kvalitet (Dugstad 1975, s. 5).

Undersøkelser av foreløpig 2 prøver med h.h.v. ca. 10 og ca. 30% mørke mineraler viser plagioklas ( $An_{56-65}$ ) i likevekt med hornblende og/eller clinopyroksen. Granater er omgitt av symplektittiske aggregater mot plagioklas og clinopyroksen.

Moldbakkefjellets og Engjafjellets anorthositter danner sannsynligvis en strukturell fortsettelse av Fresvikfeltene (Bryhni et al. 1978) og opptrer som et horisontbestandig lag med mektighet mellom 200 og 400 m. Som et gjennomsnitt oppgis bergartene å inneholde 15-20% mørke mineraler, men variasjon ut over disse verdier er vanlig. Forekomsten syd for Fresvikbreen er noe mektigere, men har også høyere innhold av mørke mineraler (Bryhni & Brastad 1978).

#### Gudvangen-Mjølfjell

Denne provinsen omfatter anorthositt-forekomstene mellom og syd for Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden. De tidligste generelle undersøkelser herfra er rapportert av Goldschmidt (1916). Mer detaljerte regionale undersøkelser er senere

utført i den vestlige del av Hødal (1945) og senest av Bryhni som har kartbladet Gudvangen i store trekk ferdig. Provinsens sydlige del ligger innenfor kartbladet Ulvik hvor rekognoserende kartlegging er utført av prof. A. Kvale og medarbeidere.

I den sydlige del finnes de anorthosittiske bergartene som tykke plater høyst i lagserien. Hovedmassivet danner et nordvest-sydøst-gående nedfoldet trau mellom Nærøydalen og Mjølfjell (bilag 01), mens et stort antall mindre forekomster opptrer omkring dette, dels på toppene, og dels i lavere nivå som følge av forkastningsaktivitet (fig. 4). I nord, mellom Undredal og Nærøyfjorden opptrer anorthosittiske bergarter som en tykk benk i mafiske bergarter, delvis som en direkte fortsettelse av Dyrdalsfeltets anorthositter (Bryhni 1977).

De enkelte massivene som blir omtalt i det følgende er (bilag 06): Gudvangen-Mjølfjell, Brekkenipa, Valafjell, Åmidlenutane, Klårafjell, Mjølfjell stasjon, Mjølfjell øst, Mjølfjell nord, Magnhildnuten, Grånosi, Trollnuten, Undredal og Hauberget.

Gudvangen-Mjølfjell-massivet er det uten sammenligning grundigst undersøkt av alle områdene som omfattes av denne rapporten. Dette skyldes at området, så lenge det har vært drevet prospekteringsaktivitet i Jotun-anorthosittene, har vært ansett som mest lovende. Av transporttekniske årsaker konsentrerte Goldschmidt (1917c) oppmerksomheten om feltene rundt Nærøydalen og feltene sydøstover mot Mjølfjell ble derfor ikke undersøkt.

Arbeidene (se Goldschmidt 1917 a, b og c) konkluderer med

- 1) at anorthositten ned mot massivets såle er ubrukelig;  
og
- 2) at store forekomster av god kvalitet opptrer langs Nærøydalens sydøst side, i høyfjellet mellom Sivledalen (Brekkedalen) og Jordalen og i de øvre partier av Jordalsnutens sydøst side.

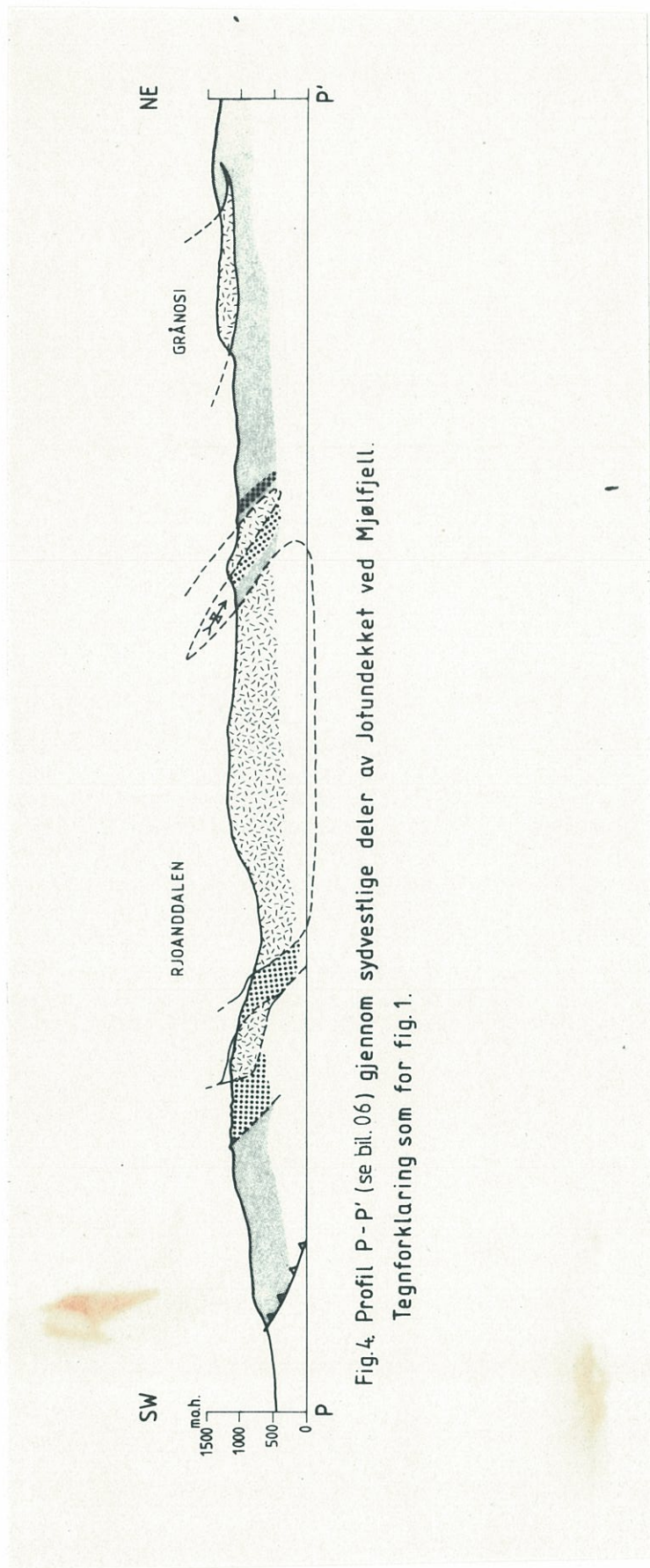


Fig. 4. Profil P - P' (se bil. 06) gjennom sydvestlige deler av Jotundekket ved Mjølfjell.  
Tegnforklaring som for fig. 1.

Siden 1965 og da særlig i de siste 5 år, er det utført omfattende undersøkelser innenfor Gudvangen-Mjølfjellmassivet. Disse har avdekket følgende forhold:

- Mot undergrensen er de anorthosittiske bergartene saussurittisert, forgneiset og tildels mylonittisert i flere hundre meters tykkelse. Graden av omvandling i sammenheng med bevegelse langs undergrensen avtar med økende avstand fra grensen (Bryhni et al. 1977).
- Innholdet av mørke mineraler øker nær undergrensen, særlig langs sørvestsiden av massivet.
- Store deler av massivet består av anorthositter s.s. og er dermed langt "renere" m.h.p. innhold av mørke mineraler enn de 4 foran beskrevne provinsene.
- De viktigste "primære" mørke mineraler er epidot og hornblende, og lokalt granat og korund, alle krystallisert i likevekt med plagioklas med sammensetning svarende til  $An_{67-78}$  (Qvale 1979). Saussurittisering har funnet sted langs korngrenser samtidig med krystallisasjon av diverse skikt silikater i forbindelse med forskifring og forgneising.
- Anorthosittene er skåret av flere generasjoner av sure og basiske intrusjoner samt forgneisings- og forskifringssoner som nedsetter kvaliteten lokalt.
- Detaljert oppfølging av disse og andre "strukturer" har avdekket et komplisert deformasjonsmønster internt i anorthosittene (Ottesen 1977, 1979).

Kartleggingen av anorthosittene har dermed gitt grunnlag for detaljundersøkelser i spesielt lovende felt (se bilag 06)

- 1) ved Styggebotn syd for Nærøydalen: Oksenfeltet og Trekanten-feltet (Ottesen 1977, Jensen & Wanvik 1978). Disse er undersøkt ved kartlegging, prøvetaking i dagen og ved diamantboring. Tilstrekkelige masser av

tilfredsstillende kvalitet er påvist her, men feltenes beliggenhet nær kanten mot Nørøydalen er imidlertid av tekniske og sikkerhetsmessige årsaker ikke ideell (Jensen & Wanvik 1978).

- 2) Kaldafjell mellom Øvsthusdalen og Kvitaherbyrgje: Kaldafjellsfeltet og "Korridoren" (Ottesen 1979). Kartlegging og systematisk prøvetakning har vist at det sistnevnte feltet omfatter anorthositter av tilfredsstillende kvalitet, men ikke i tilstrekkelige mengder (Jensen & Wanvik 1979). Kaldefjellsfeltet er derimot meget stort (antatt utgående  $0,45 \text{ km}^2$ , Jensen & Wanvik 1979) og består av jevnt meget gode kvaliteter. I dette feltet er det sommeren 1979 gjennomført et omfattende diamantboringsprogram.
- 3) I Mjølfjellområdet mellom Kvitaherbyrgje og Mjølfjell er det påvist en rekke mindre felt med relativt gode anorthosittkvaliteter (Qvale 1979). Ved to av disse, Grodgjuvdalen Øvre og Såtebu er det sist sommer foretatt detaljkartlegging, systematisk prøvetakning og for det førstes vedkommende også gjennomført et mindre diamantboringsprogram for å kunne vurdere feltene som mulige kilder for masser til et eventuelt pilotanlegg.

Brekkenipas og Valafjellets anorthosittiske bergarter er beskrevet av Hødal (1945): Sammensetningen spenner fra gabbro til anorthositt. En 100-200 m tykk forskifret sone danner grensen mot underliggende diorittiske til mange-rittiske bergarter. Over denne avtar forskifringen sammen med innholdet av mørke mineraler oppover slik at man på de strukturelt høyeste nivåer lokalt kan finne relativt rene og friske anorthositter. En befaring sist sommer innen Valafjellfeltet med prøvetakning som viktigste formål, bekreftet ovenstående karakteristikker.

Amidlenutane, Klårafjell og Mjølfjell stasjon. Disse feltene på nordsiden av Raundalen karakteriseres alle ved at de kontrolleres av en bruddsone som er parallell



Gudvangen-Mjølfjell-massivets sydvest-grense og som ligger i et lavere tektonisk nivå enn sistnevnte (fig. 4). De består alle tre av relativt rene anorthositter, som imidlertid har vært utsatt for sekundær omvandling slik at plagioklaskornenes ytterkanter er saussurittisert og kvaliteten tilsvarende redusert (Qvale 1979). Det er bare Klårafjellsfeltet som ved sitt utgående indikerer større forekomster, men da vi ikke har noen kontroll på feltenes undre begrensning, kan det ikke utelukkes at store volum er tilstede i alle tre.

Mjølfjell Øst er et lite felt med utgående begrenset av topografi og tektoniske grenser, en tilnærmet vertikal og en tilnærmet horisontal. Anorthositten er som i de forannevnte felt, relativt ren, men delvis saussurittisering og granulering har ført til dårlig kvalitet (Qvale 1979).

Mjølfjell Nord er et lite felt som er nedforkastet langs en sen, vertikal ØNØ-VSV-gående bruddsone (Qvale 1979), og består utelukkende av delvis saussurittisert leucogabbro.

Magnhildenuit-feltet på østsiden av Slondalen viser grenseforhold sammenlignbare med Mjølfjell Øst. De anorthosittiske bergarter domineres i bunnen av leucogabbro, mens innholdet av mørke mineraler avtar oppover og når lokalt ned i 5% nær toppen.

Grånosi-feltet mellom Mjølfjell og Flåmsdalen domineres av forgneisete anorthosittiske bergarter og leucogabbro. Lokalt forekommer frisk anorthositt. Feltet ser ut til å danne en kile med nordøstlig fall, nedfoldet/forkastet i de omgivende gneisene.

Trollenuten er et lite felt mellom Grånosi og Flåmsdalen. Feltet er ikke undersøkt i prospekterings-sammenheng, men er altfor lite til å kunne ha økonomisk interesse.

Undredalsfeltet danner en maksimum 200 m mektig kontinuerlig sone i gabbromassivet mellom Undredalen og Nærøyfjorden (Bhanumathi & Bryhni, in prep., Bryhni et al. 1977).

Sonen har kataklastisk basis og sammensetning som spenner fra anorthositt til gabbro. I tillegg inkluderes økende innslag av mafiske lag oppover i anorthositt-sonen.

Hauberget ("Vindeggi" på nyere kart) er et mindre felt på østsiden av Nærøyfjorden i samme gabbromassiv som Undredalsfeltet. Det er sist kommentert av Goldschmidt (1917c) som hadde undersøkt prøver fra feltet. Disse var alle av dårlig kvalitet.

#### KONKLUDERENDE BEMERKNINGER

I denne rapporten har det vært lagt vekt på å gi en likeverdige gjennomgåelse av alle de av Jotundekketts anorthosittfelt i Hordaland og Sogn som har vært fremme i diskusjonen om råstoffkilder for Al fremstilling. Detaljer er forsøkt unngått. For dem som ønsker mer detaljerte beskrivelser av feltforhold, mineralogi og kjemi, henvises til de refererte arbeider, samt til planlagte rapporter over disse temaer fra de enkelte provinser. For dette formål er det foretatt en omfattende innsamling av prøver, og kjemiske og mineralogiske undersøkelser er nå igang på dette materialet.

Gjennomgåelsen viser imidlertid klart at det er i det sydlige Gudvangen-Mjølfjell-massivet at de større konsentrasjoner av gode anorthositter finnes. I alle de fire øvrige provinser er det påvist forekomster av ren anorthositt, men intet tyder på at disse er av en slik størrelse eller kvalitet at drivverdighet synes aktuell. I det videre arbeidet vil denne mulighet selvfølgelig fortsatt bli holdt åpen. Ellers vil det fremover bli forsøkt å skaffe oversikt over de regionale kjemiske og mineralogiske variasjoner, både i rene og i "forurensete" anorthositter.

Dermed utgjør denne rapporten et utgangspunkt for det videre arbeide og den vil forhåpentligvis bli etterfulgt av en ny utgave ved anorthositt-prosjektets avslutning.

*Henning Ovale*

REFERANSER

BHANUMATHI, L. & BRYHNI, I. in prep.: Petrology of anorthositic rocks between Undredal and Stalheim, Sognefjord, Norway. M.s. 16 s.

BRYHNI, I. 1977: Berggrunnsgeologisk kart Aurland 1416 IV, M 1:50 000. Preliminær utgave. NGU.

BRYHNI, I. 1979a: Anorthosittiske bergarter, to forekomster og noen nye betraktninger. NGU-rapport. 11 s.

BRYHNI, I. 1979b: Berggrunnsgeologisk kart Kaupanger 1417 III, M 1:50 000. Preliminær utgave. NGU.

BRYHNI, I. 1980: in prep.: Kaupanger. Foreløpig beskrivelse til det berggrunnsgeologiske kart. Rapport NGU, 29 p.

BRYHNI, I. & BRASTAD, K. 1978: Beskrivelse til foreløpig utgave av kartblad Leikanger 1317 II. Rapport NGU, 28 s.

BRYHNI, I., BRASTAD, K. & JACOBSEN, V.W. 1977: Jotundekket og dets underlag i Sogn (Et regionalgeologisk studium med særlig hensyn til de anorthosittiske bergarter.) Rapport NGU. 74 s.

BRYHNI, I., BRASTAD, K. & JACOBSEN, V.W. 1978: Leikanger Berggrunnskart 1317 II. 1:50 000. Foreløpig utgave. NGU.

BUDDINGTON, A.F. 1939: Adirondack igneous rocks and their metamorphism. Geol. Soc. Am. Memoir 7, 354 s.

DUGSTAD, P. 1975: Anorthositter i Indre Sogn. Samle-rapport med bidrag av V.M. Goldschmidt, Per Dugstad, Håkon Rueslåtten.

GOLDSCHMIDT, V.M. 1916: Geologisch-Petrographische Studien im Hochgebirge des Südlichen Norwegens: IV, Übersicht der Eruptivgesteine im Kaledonischen Gebirge zwischen Stavanger und Trondhjem. Vidensk.-selsk. Skr. 1 Mat.Nat.Klasse 1916 nr. 2. 140 s.

GOLDSCHMIDT, V.M. 1917a: Memorandum om labradorsten etter det hittil foreliggende materiale (Memorandum nr. 2) Rapport. 2 s.

GOLDSCHMIDT, V.M. 1917b: Til Det Norske Aktieselskap for Elektrokemisk Industri, Kristiania. Rapport. 1 s.

GOLDSCHMIDT, V.M. 1917c: Beretning om labradorstensfelter i Sogn. Rapport. 31 s. med kart.

HØDAL, J. 1945: Rocks of the anorthosite kindred in Vossestrand, (Norway). N.G.T. v. 44, s. 129-243.

I.U.G.S. 1973: Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Geotimes 18, 10, 26-30.

JACOBSEN, V.W. 1978: Samarbeidet N.G.U. - I/S ANORTAL. Statusrapport pr. 31/5-1978. 17 s.

JENSEN, R. 1977: Rapport over Råstoffundersøkelser - 1976. Anorthosittforekomster i Sogn. Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket A/S. 85 s.

JENSEN, R. & WANVIK, J.E. 1978: Rapport over råstoffundersøkelser 1977. Anorthosittforekomster i Sogn. Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket A/S. 160 s.

JENSEN, R. & WANVIK, J.E. 1979: Rapport over råstoffundersøkelser 1978. Anorthosittforekomster i Sogn. Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket A/S. 111 s.

LACOUR, A. 1969: Données pétrologiques sur la nappe de Sogn-Jotun et son substratum dans la région de Sogndal (District de Sogn, Norvège centro-meridionale). Bull. Soc. Geol. France 7, XI, 354-366.

LACOUR, A. 1971: Observations sur la mylonitization des roches de la nappe du Jotun dans la région de Sogndal, Norvège centro-meridionale. Extrait du C.R. Sommaire des séances de la Soc. Geol. de France 1971. Fascicute 3, 150-151.

LUTRO, O. 1979a: Lustrafjorden. Berggrunnsgeologisk kart 1417 I. 1:50 000. Foreløpig utgave. N.G.U.

LUTRO, O. 1979b: Anortosittundersøkelser i Kinsedalsfeltet. Feltrapport. N.G.U. 3 s.

MALM, O.A. 1977: Feltrapport sommeren 1977. Område Årdalsfjord/Lærdalsfjord/Aurlandsfjord. 4 s. + kartvedlegg.

OTTESEN, J. 1977: Geologisk kartlegging av anorthosittmassivet mellom Nærøydalen og Øvsthusdalen, Sogn.

OTTESEN, J. 1979: Anorthosittmassivet mellom Øvsthusdalen og Kvitaherbyrgje. Resultat av innsirklingen i 1978-sesongen. Rapport. 8 s.

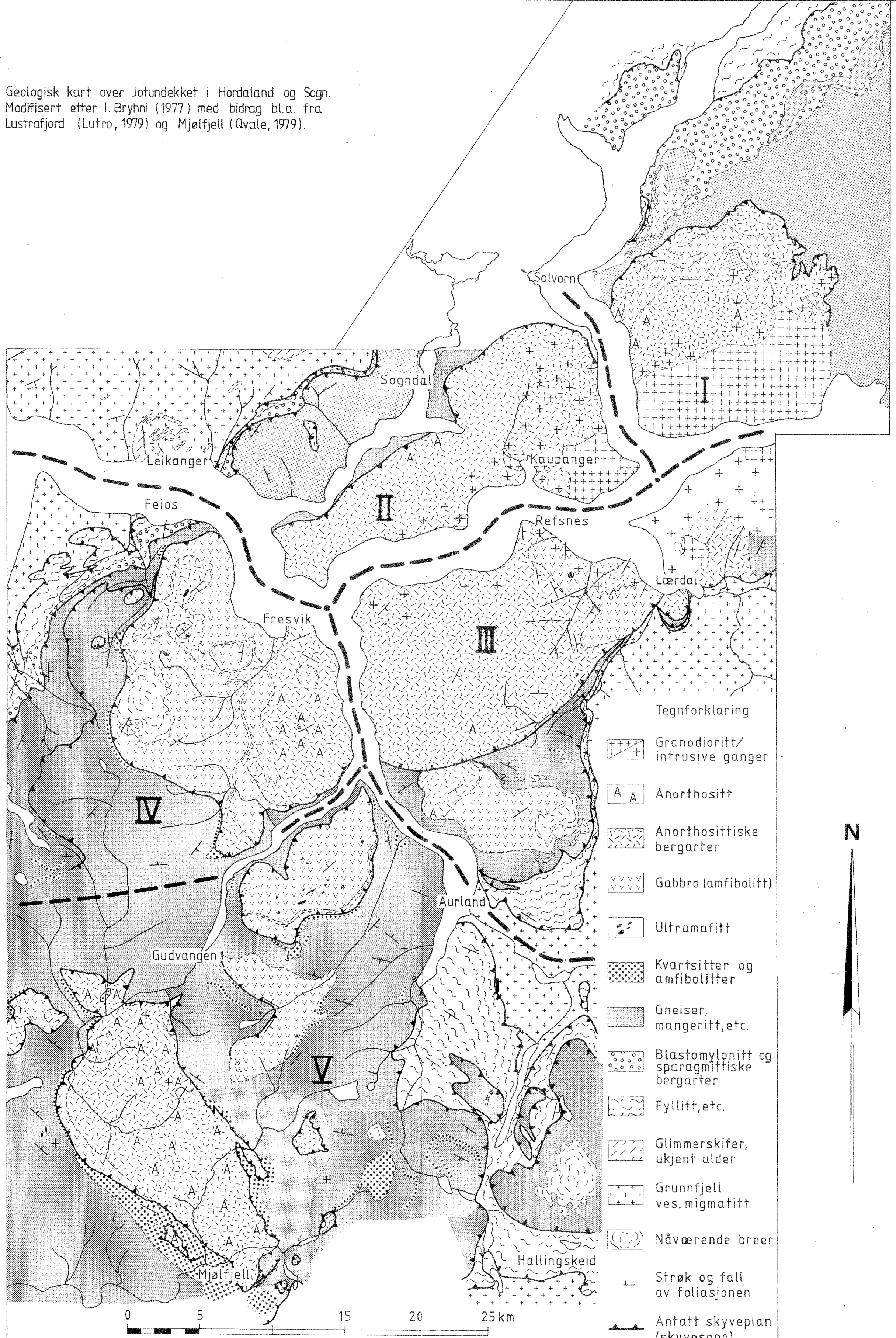
QVALE, H. 1979: Geologiske undersøkelser av anorthosittforekomster rundt Mjølfjell i Hordaland. N.G.U.-rapport 1560/26. 33 s.

REKSTAD, J. 1905: Fra Indre Sogn. N.G.U. 43, 7. 53 s.

REUSCH, H. 1908: Geologisk kart over fjeldstrøkene mellem Jostedalsbræen og Ringerike. N.G.U. 47, 40 s.

SKJERLIE, F.J. 1958: Investigations between Fjærlandsfjord and Sogndalsdalen, Western Norway. Univ. i Bergen Årbok 1957. Naturv. rekke nr. 5, 67 s.

Geologisk kart over Jotundekket i Hordaland og Sogn.  
 Modifisert etter I. Bryhni (1977) med bidrag bl.a. fra  
 Lustrafjord (Lutro, 1979) og Mjølfjell (Qvale, 1979).

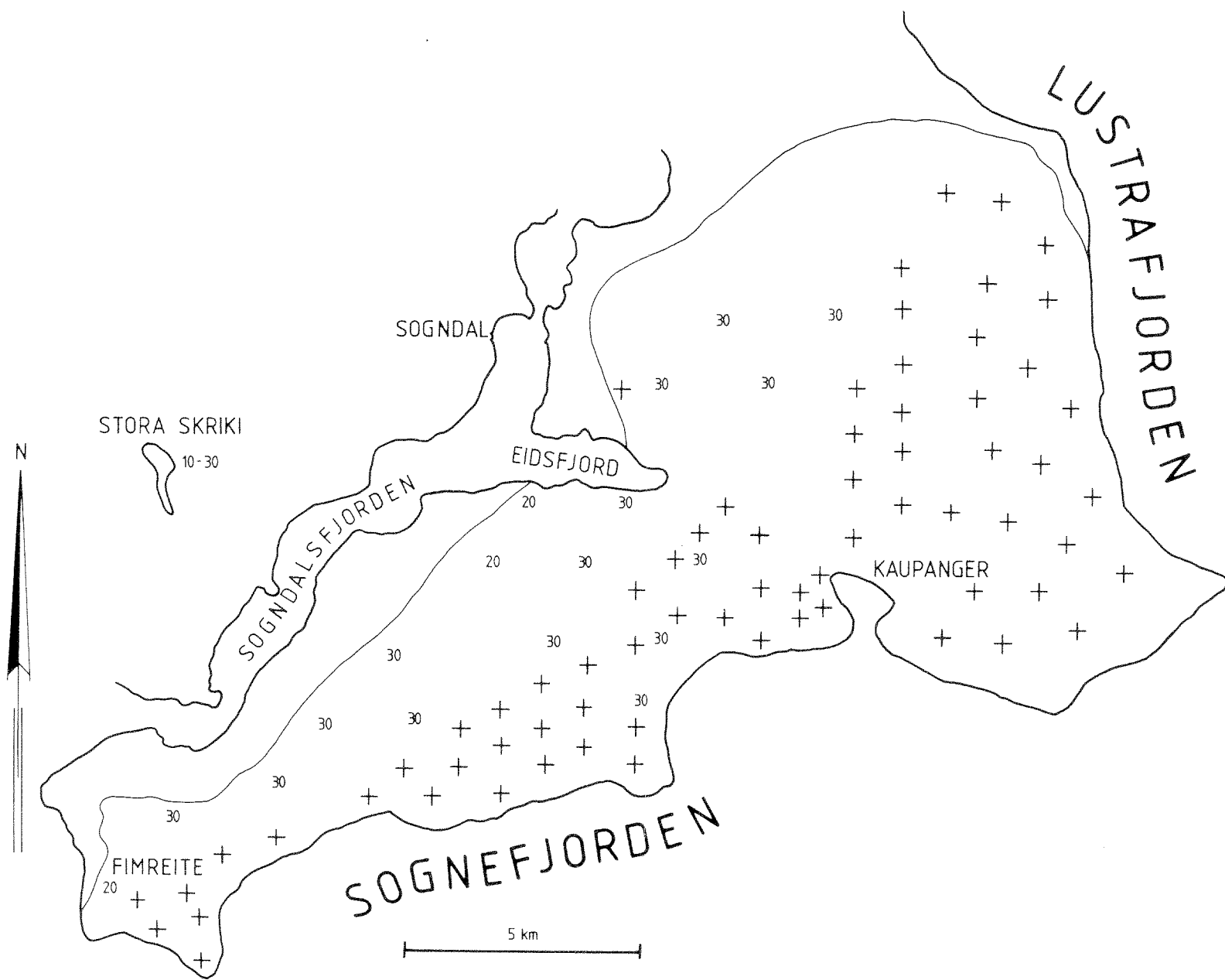


- Tegnforklaring
- Granodioritt/  
intrusive ganger
  - Anorthositt
  - Anorthosittiske  
bergarter
  - Gabbro (amfibolitt)
  - Ultramafitt
  - Kvartsitter og  
amfibolitter
  - Gneiser,  
mangeritt, etc.
  - Blastomylonitt og  
sparagmittiske  
bergarter
  - Fyllitt, etc.
  - Glimmerskifer,  
ukjent alder
  - Grunnfjell  
ves. migmatitt
  - Nåværende breer
  - Strøk og fall  
av foliasjonen
  - Antatt skyveplan  
(skyvesone)

Grove stiplede grenser og romertall refererer seg til  
 anorthositt-provinser beskrevet i teksten.

I/S ANORTAL - NGU, VESTLANDSPROGRAMMET ANORTHOSITTUNDERSØKELSER I HORDALAND OG SOGN	MÅLESTOKK	OBS. IB, OL, HQ	1975 - 1979
	ca. 1:193000	TEGN. IB, HQ	1979
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC. RS, ALH		
	KFR.		
	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	1560/27 - 01		

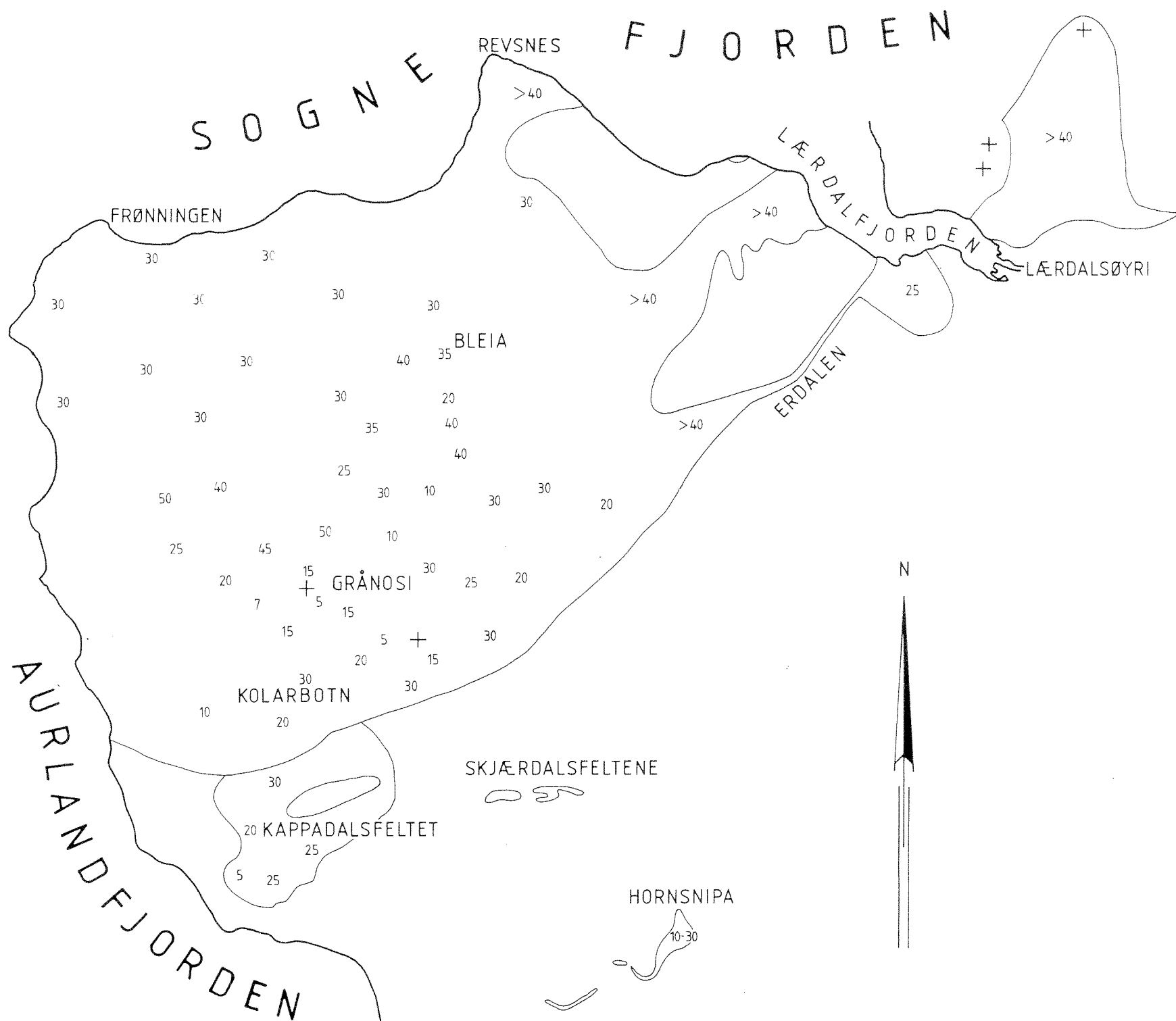




Anorthosittiske bergarter innenfor Sogndal - Kaupangerprovinsen  
 Tegnforklaring som bilag 02.

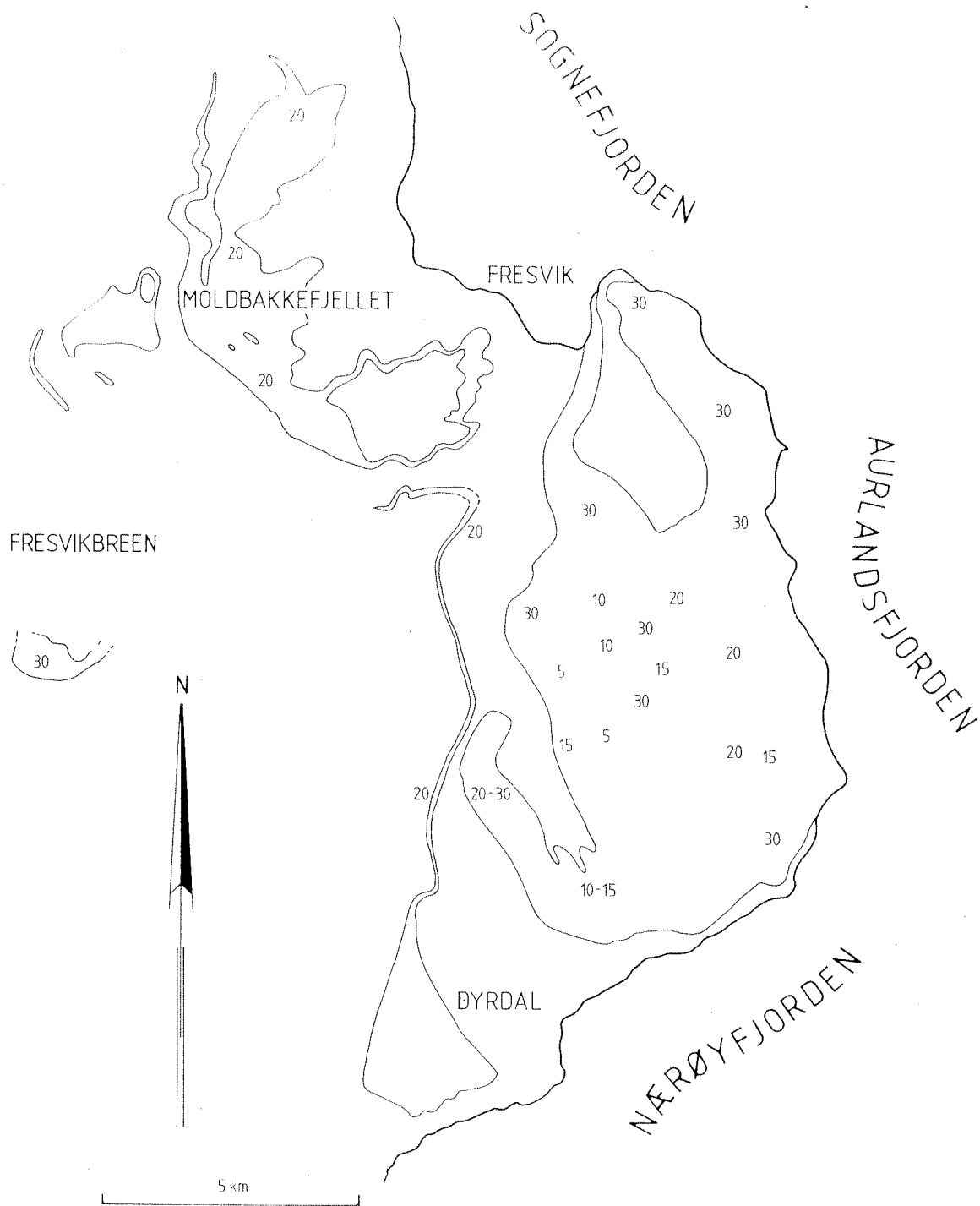
I/S ANORTAL - NGU, VESTLANDSPROGRAMMET ANORTHOSITTUNDERSØKELSER SOGNDAL - KAUPANGER SOGNDAL, SOGN OG FJORDANE	MÅLESTOKK	OBS. IB	1977 - 1979
	1:125 000	TEGN. HQ	1979
		TRAC. IL	DES 1979
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1560/27-03	KARTBLAD NR. 1317 II, 1417 III	





Anorthosittiske bergarter innenfor Aurlandfjord - Bleia - Lerdalfjordprovinsen.  
Tegnforklaring som for bilag 02.

I/S ANORTAL - NGU, VESTLANDSPROGRAMMET ANORTHOSITTUNDERSØKELSER AURLANDSFJORD, BLEIA, LÆRDAL AURLAND, LÆRDAL OG LEIKANGER, SOGN OG FJORDANE	MÅLESTOKK	OBS. IB, HQ	1977 - 1979
	1:125 000	TEGN. HQ	1979
		TRAC. IL	DES. 1979
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1560/27-04	KARTBLAD NR. 1417 II, III 1416 IV	



Anorthosittiske bergarter innenfor Dyrdal-Fresvikprovinsen  
Tegnforklaring som for bilag 02.

I/S ANORTAL - NGU, VESTLANDSPROGRAMMET  
ANORTHOSITTUNDERSØKELSER  
DYRDAL - FRESVIK  
LEIKANGER, AURLAND, SOGN OG FJORDANE

MÅLESTOKK

1:125 000

OBS. IB, HQ.

1977 - 1979

TEGN. HQ.

1979

TRAC. I L.

DES. 1979

KFR.

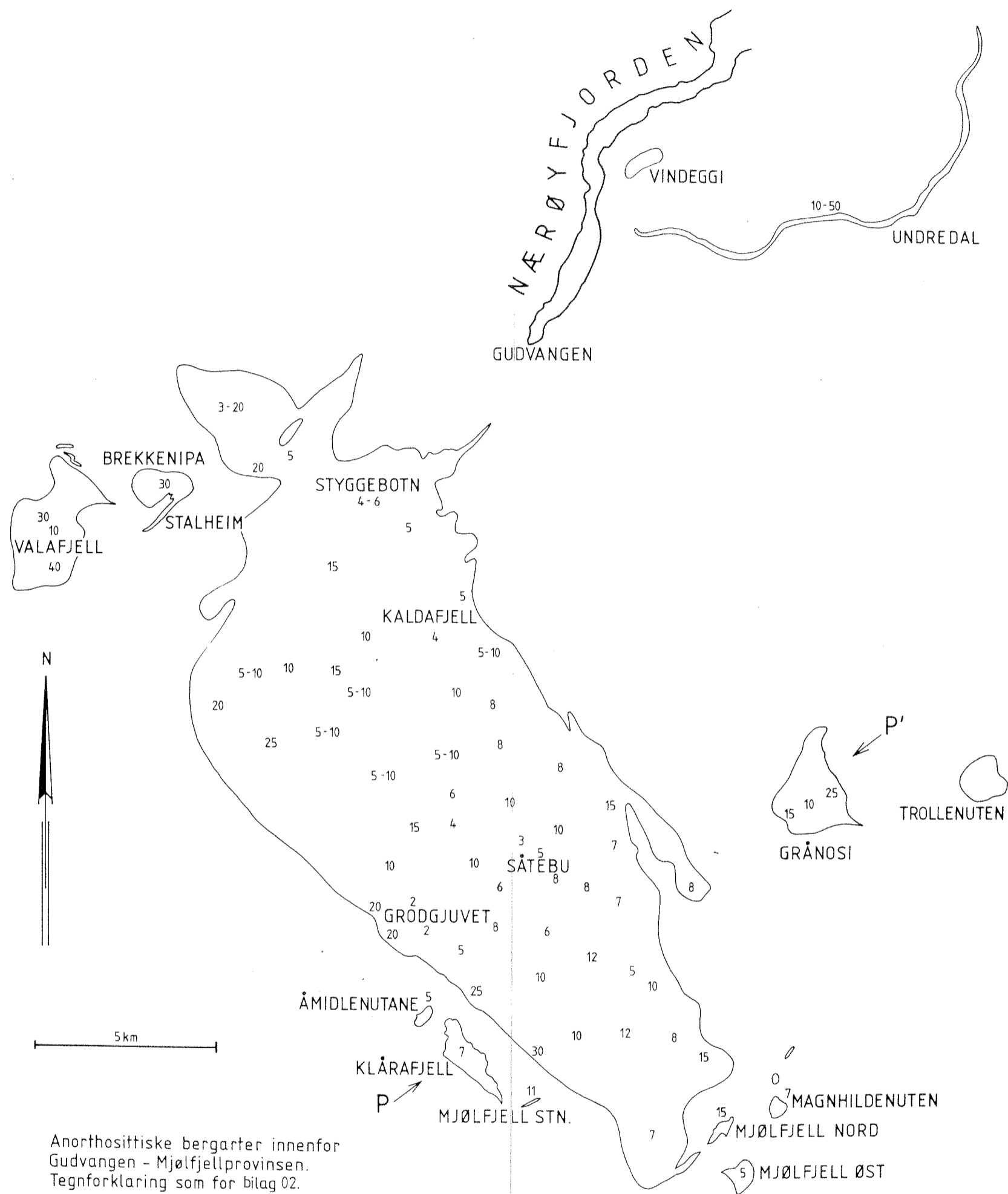
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

TEGNING NR.

1560/27-05

KARTBLAD NR.

1316 I	1416 IV
1317 II	1417 III



Anorthosittiske bergarter innenfor  
Gudvangen - Mjølfjellprovinsen.  
Tegnforklaring som for bilag 02.

I/S ANORTAL - NGU, VESTLANDSPROGRAMMET ANORTHOSITTUNDERSØKELSER <b>GUDVANGEN - MJØLFJELL,</b> AURLAND, SOGN OG FJORDANE, VOSS, HORDALAND.	MÅLESTOKK	OBS. IB, HQ	1975 - 1979
	1:125000	TEGN. HQ	1979
		TRAC. IL	DES 1979
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	1560/27-06	1316 I,II 14-16 IV	