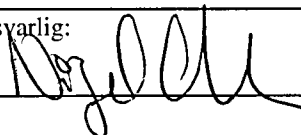


NGU Rapport 98.150

**Anortositt-ressurser i
Indre Sogn og Voss**

Rapport nr.: 98.150		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Anortositt-ressurser i Indre Sogn og Voss				
Forfatter: Wanvik, Jan Egil		Oppdragsgiver: NGU, Hordaland Fylkeskommune, Sogn og Fjordane Fylkeskommune		
Fylke: Hordaland, Sogn og Fjordane.		Kommune: Aurland, Luster, Lærdal, Sogndal, Vik, Voss		
Kartblad (M=1:250.000) Årdal, Odda		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 55	Pris: kr. 290	
		Kartbilag: 14		
Feltarbeid utført: til 1997	Rapportdato: 21.4.99	Prosjektnr.: 267300	Ansvarlig: 	
Sammendrag:				
<p>Omkring indre deler av Sognefjorden ligger store områder med anortosittiske bergarter tilhørende Jotundekket. I flere perioder fra 1915 og fram til våre dager har de reneste partiene med anortositt her vært vurdert som aluminiums-råstoff. Detaljerte undersøkelser har vært utført på flere lokaliteter, med prøvebryting i Kinsedal under krigen og omfattende undersøkelser i regi av I/S Anortal i området sør for Nærøydalen som de viktigste.</p> <p>Nye industriprosesser og forslag om opprettelse av Nærøyfjord landskapsvernområde har aktualisert oppfølgende geologiske undersøkelser i deler av anortosittene. Som en følge av dette, har det blitt ønskelig å fremskaffe en regional oversikt over anortosittenes potensiale som råstoff for aktuelle anvendelsesområder. Denne rapporten gir en slik oversikt med basis i gjennomgang av tidligere undersøkelsesarbeider og supplerende nye undersøkelser.</p> <p>Anortositten i Gudvangen-Mjølfjell massivet står i en særstilling når det gjelder kvalitet og potensiale for de fleste relevante anvendelsesområder, og meget store kvanta med utmerket stein er her tilstede. Flere av de ressursmessig mest interessante partiene av dette feltet ligger nå innenfor grensa til det foreslåtte verneområdet, og NGU tilrår sterkt at grensa blir justert i dette området.</p>				
Emneord: industrimineraler	anortositt		feltspat	
fagrapport				

INNHold

1 INNLEDNING	6
2 GENERELL GEOLOGI	7
4 INDUSTRIELLE ANVENDELSESOMRÅDER.....	9
4.1 Prosesser basert på syreløselighet	10
4.2 Ikke-syrebaserte prosesser.....	10
4.3 Pukk og filler.....	11
5 RÅSTOFFKRITERIER FOR DE ENKELTE BRUKSOMRÅDER	12
6 GEOLOGISKE FAKTORER SOM ER AVGJØRENDE FOR ANORTOSITTENS KVALITET SOM INDUSTRIRESSURS.	13
6.1 Aluminiumsinnhold	13
6.2 Syreløselighet.....	14
6.2 Innhold av andre mineraler og ganger av andre bergarter.....	15
7 DE ENKELTE ANORTOSITTPROVINSER	16
7.1 Gudvangen-Mjølfjell provinsen.....	16
7.1.1 Nærøydalen	17
7.1.2 Sivlesnipa.....	19
7.1.3 Høyfjellspartiene sør for Nærøydalen	20
7.1.4 Øvsthusdalen - Fyrde	20
7.1.5 Brandsetdalen.....	21
7.1.6 Mjølfjell-Grodgjuvet.....	21
7.1.8 Valafjell og Brekkenipa	22
7.2 Fresvik-Dyrdal provinsen.....	22
7.2.1 Jordalsskardet.....	23
7.2.2 Nærøynes	24
7.3 Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal provinsen	24
7.3.1 Kolarbotn	25
7.3.2 Kappadalsfeltet	25
7.3.2 Kotningen.....	25
7.4 Kaupanger-Sogndal provinsen.....	26
7.4.1 Langaneset-Lingesete.....	26
7.4.2 Fimreite / Vines.....	27
7.5 Kinsedal-Offerdal provinsen.....	28
7.5.1 Feltene i selve Kinsedal	29
7.5.2 Inne på fjellet / Reinspelnosi.....	31
7.5.3 Det nordvestlige anortosittbeltet	32
7.6 Kommentarer til kartene over kvalitetsvariasjoner innenfor de enkelte provinser	32
8 PUKK.....	35
8.1 Testing av ulike anortosittvarianter (ved Eyolf Erichsen, NGU).....	35
9 NATURSTEIN.....	36

10 SAMMENLIGNING MED ANDRE ANORTOSITTFOREKOMSTER.....	36
10.1 Norske forekomster.....	36
10.2 Andre land.....	37
11 NÆRØYFJORDEN LANDSKAPSVERNOMRÅDE OG ANORTOSITTRESSURSENE.	38
12 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER.....	40
13 REFERANSER	42

FIGURER

<i>Figur 1 Det kjente maleriet "Fra Stalheim" av J.C. Dahl fra 1842 som henger i Nasjonalgalleriet, viser karakteristisk blåfiolett anortositt i fjellene Jordalsnuten ("sukkertoppen") og Sivlesnipa sentralt i bildet.</i>	6
<i>Figur 2 Utbredelse av anortosittiske bergarter i Indre Sogn og Voss.....</i>	45
<i>Figur 3 Variasjoner i hovedelementer for plagioklasmineraler.....</i>	46
<i>Figur 4 Løselighetskurve for plagioklasmineraler</i>	46
<i>Figur 5 Stadier i omvandling av bytownitt til epidot-oligoklas (Bryhni 1977)</i>	47
<i>Figur 6 Diagrammer som viser forholdet mellom ulike måter å angi syreløseligheten.</i>	48
<i>Figur 7 Flekket anortositt fra Kaldafjell-feltet</i>	49
<i>Figur 8 Spettet anortositt i Hyllandfeltet som viser retningsorientering.....</i>	49
<i>Figur 9 Forgneiset anortositt, Hyllandfeltet.....</i>	50
<i>Figur 10 Anortositt-gabbro, vest for Lærdalsøyri</i>	50
<i>Figur 11 Gabbroide ganger i området sør for Øvsthusdalen.....</i>	51
<i>Figur 12 Nærøydalen, sett fra Stalheim.....</i>	52
<i>Figur 13 Hyllandfeltet. Prøvetaking 1977 med Nærøyfjorden i bakgrunnen.</i>	52
<i>Figur 14 Kjerneboring, Kaldafjellet 1979, retning Oppheim.....</i>	53
<i>Figur 15 Øvsthusdalen anortosittfelt, sett mot SØ</i>	53
<i>Figur 16 Anortosittfelt i Brandsetdalen.....</i>	54
<i>Figur 17 Godt blottet anortositt i Jordalsskardet.....</i>	54
<i>Figur 18 Vines ved Fimreite, sett fra andre side av fjorden.</i>	55
<i>Figur 19 Kinsedal, med rester av transporttrasé.....</i>	55

TABELLER

Tabell 1 Kriterier som det legges vekt på for en del aktuelle anvendelsesområder.....	12
Tabell 2 Oversikt over gjennomsnittlige kjemiske verdier for de mest interessante anortosittfelter.	34

VEDLEGG

- Vedlegg 1 Fordeling av mørke mineraler innenfor de enkelte provinser
- Vedlegg 2 Variasjoner i syreløselighet innenfor de enkelte provinser.
- Vedlegg 3 Fordeling av god anortositt i Gudvangen-Mjølfjell massivet
- Vedlegg 4 De mest interessante partier i området fra Nærøydalen og sørover
- Vedlegg 5 Vertikalprofil på tvers av Nærøydalen
- Vedlegg 6 Borkjerneprofil i Glashammaren med angivelse av Al_2O_3 -løselighet.
- Vedlegg 7 Kart over opptreden av hvit, omvandlet anortositt.
- Vedlegg 8 Jordalsskard-Steindalen feltet
- Vedlegg 9 Vines forekomsten ved Fimreite
- Vedlegg 10 Anortositt i området Langanes-Lingesete.
- Vedlegg 11 Forekomster i Kinsedal
- Vedlegg 12 Beliggenhet av verneområde og skytefelt i forhold til Gudvangen-Mjølfjell anortositt-felt
- Vedlegg 13 Egnethetsvurdering til vegformål ut fra norske krav
- Vedlegg 14 Egnethetsvurdering til vegformål i en del Europeiske land.

1 INNLEDNING

De store massivene med anortosittiske bergarter som opptrer omkring indre deler av Sognefjorden er velkjente i norsk geologi og utgjør viktige deler av berggrunnen i et av Norges mest imponerende naturområder. I ressursammenheng er Voss-Sogne-anortosittene veletablert som en potensiell alternativ aluminiumskilde, gjennom industriengasjement i flere undersøkelses-perioder i dette århundre fra og med 1. verdenskrig. Anortositten her har store partier med en spesielt Al-rik feltspat som viser seg å være lettløselig i syrer, og internasjonalt har det vist seg vanskelig å finne forekomster som kan konkurrere på kvalitet, volum og kystnær beliggenhet.

Nye anvendelsesområder for anortositten dukket opp på 90-tallet, og forslag om opprettelse av Nærøyfjorden landskapsvernområde har aktualisert oppfølgende geologiske undersøkelser i deler av anortosittene. Som en følge av dette har det blitt ønskelig å fremskaffe en regional oversikt over anortosittens potensiale som råstoff for aktuelle anvendelsesområder, og NGU har inngått avtale om et sammenstillingsprosjekt der Hordaland og Sogn og Fjordane fylkeskommuner dekker kr.143.000 av de beregnede total kostnader på kr.393.000. Planlagte supplerende feltundersøkelser er nå gjennomført, og sammen med den store informasjonsmengden som foreligger fra de omfattende tidligere undersøkelser har denne rapporten som formål å gi en helhetlig oversikt over Sogne-anortositten som nåværende og fremtidig mineralressurs.



Figur 1 Det kjente maleriet "Fra Stalheim" av J.C. Dahl fra 1842 som henger i Nasjonalgalleriet, viser karakteristisk blåfiolett anortositt i fjellene Jordalsnuten ("sukkertoppen") og Sivlesnipa sentralt i bildet.

2 GENERELL GEOLOGI

Anortositt er per definisjon en størkningsbergart som har minst 90 % plagioklas-feltspat. Innenfor de store massivene med anortosittiske bergarter i det aktuelle området har store deler mere enn 10% mørke mineraler, og bergartsdefinisjonene er som følger:

anortositt	0-10% mørke mineraler	
gabbro-anortositt	10-22.5% mørke mineraler	leuko-
anortositt-gabbro	22.5-35% mørke mineraler	gabbro

I geologisk litteratur brukes fortrinnsvis begrepet leukogabbro for området 10-35% mørke mineraler, men for vårt formål synes det mest formålstjenlig å benytte den mer nyanserte underinndelingen.

De geologiske strukturer i Indre Sogn er preget av en tykk blokk av krystalline bergarter, Jotundekket, som ligger i en nordøst-sydvest løpende forsenkning. Forsenkningen er i norsk geologi kalt for "foldningsgrøften". Jotundekket er av prekambrisk opprinnelse (omkring 1600 mill år), og disse enhetene ble skjøvet på plass under den kaledonske fjellkjededannelse (omkring 400 mill. år siden). Også anortosittene har således flere steder en skyvegrense til de underliggende bergarter, og inn mot skyveplanet er bergarten gjerne omdannet til en finkornet matt bergart fra sin opprinnelig grovkrystallinske sammensetning.

Anortosittene i Indre Sogn har et samlet areal på omkring 700 km². Dette er en lignende størrelse som anortosittene i Egersundsområdet og disse to feltene er de klart største i Vest-Europa. Se fig. 2 som viser utbredelsen fra Mjølfjell ved Bergensbanen i sør via Aurlandsfjorden og nordover til Sogndal og Lustrafjorden. Sognefjordnaturens dype snitt viser flere steder de store mektigheter av anortositt, og Nærøydalen er i så måte et meget godt eksempel. Det regnes med at tykkelsen av anortositten går opp i minst 2000 m. F. eks. rager fjellet Bleia inne i anortosittmassivet på østsiden av Aurlandsfjorden 1700 m opp.

De anortosittiske bergartene grenser vanligvis opp til gabbroide og mangerittiske gneiser, men noen av massivene omgis delvis av en mellomliggende randsone av kvartsitt. For detaljer om bergartene i tilgrensende områder til anortosittene og dekkeseriens oppbygning generelt henvises til Bryhni m.fl. (1977) og Qvale (1982a).

3 KILDEMATERIALE OG GEOLOGISK PROSPEKTERING

I 1905 kom Rekstad ut med det første geologiske kart over områdene øst for Aurlandsfjorden og Lustrafjorden. Av øvrig tidlig geologisk kartlegging som har vært av betydning for denne rapporten er Goldschmidt (1917) for området som helhet, og Hødal (1945) nord for Oppheimsvannet. På 70 og 80-tallet ble det utført omfattende geologisk kartlegging i store deler av området av Bryhni m.fl., med kart og rapporter i årene 1977-1980 (Bryhni 1977, Bryhni et al 1977, 1978, 1979, Bryhni 1979, 1980) og Qvale i årene 1979-1982 (Qvale 1979, 1980, 1981, 1982 a, b og c). Både Bryhni, og i særdeleshet Qvales arbeider, la sterkt vekt på de ressursmessige aspekter ved anortosittene.

Utnyttelse av anortositt som en industriressurs ble imidlertid initiert først i vårt århundre. Braaten (1991) indikerer året 1903 som første gang anortositt vurderes som alternativ råstoffkilde for aluminium i Norge. Professor V. M. Goldschmidt kom i alle fall i 1917 med sin oversiktsrapport til Elektrokemisk: "Beretning om labradorstensfelter i Sogn". Rapporten pekte allerede da ut de fleste av de lokaliteter innenfor anortosittmassivene som senere har vist seg å være de mest interessante, og mange opplysninger i hans rapport har vært nyttige for undertegnede for utfyllende informasjon om anortosittenes variasjoner og kvaliteter innenfor de enkelte delområder.

Arbeidet og ideene til Goldschmidt om utnyttelse av anortositten som Al-råstoff la grunnlaget for de senere intense prospekteringsarbeider som ble utført på 20-tallet av selskapet "Det norske Aktieselskap for Elektrokemisk Industri" med rapporter av Dietrichson (1919) Horneman (1919a og 1919b), Carstens (1920) og Nicolaysen (1920).

Under 2. verdenskrig ble undersøkelsene tatt opp igjen ved Norsk Hydro, med Carstens (1940, 1941, 1942a, 1942b og 1943) som den sentrale person i de geologiske vurderinger, og prøvedrift i Kinsedal som resultat. Norsk Hydro har en rekke mindre rapporter i sitt arkiv fra denne perioden som kulminerte med skipslaster til Herøya i 1944 før sabotasjeaksjoner satte en stopper for det hele. For øvrig var det en viss aktivitet i regi av Norsk Hydro/ Norsk Aluminium Company Høyanger i 1953-54 med bl.a et par skipninger av restmateriale av tidligere utdrevet anortositt fra Kinsedal.

I perioden 1975-1987 ble så det omfattende Anortalprosjektet gjennomført med Elkem og ÅSV som partnere (Braaten 1991). Prosjektet hadde totale kostnader på hele 64 mill. kr. Grundige undersøkelser med bl.a. 4000 m kjerneboring ble utført i fjellpartiene sør for Nærøydalen, og meget gode dagbruksalternativer i 100 mill. tonn klassen ble lokalisert som råstoffgrunnlag for et alternativ til importert bauxitt for den norske Al-industrien. Et omfattende rapportmateriale ble produsert og de viktigste geologiske bidragene er av Dugstad (1975), Ottesen (1977 og 1979), Jensen (1977), Jensen og Wanvik (1978, 1979 og 1980) og Wanvik (1981), foruten flere rapporter i NGU regi av Qvale (1979, 1980, 1981, 1982a,b,c) og

Graff (1981). Særlig Qvales rapport fra 1980 gir en meget god basis med en oppsummering av de geologiske kunnskaper for de ulike anortosittfelter innenfor hele komplekset fram til da. I/S Anortals rapportmateriale er for øvrig nå arkivert ved NGU.

På 90-tallet har nyutviklede industriprosesser igjen aktualisert anortositten som råstoff, med vannrensing (A/S Polymer), ildfaste materialer og aluminiumsproduksjon som aktuelle bruksområder. NGU har bistått de enkelte selskaper med geologisk veiledning og feltundersøkelser for lokalisering av alternative uttakssteder (Wanvik 1990, 1993, 1994, 1995, 1996 og 1997).

4 INDUSTRIELLE ANVENDELSESOMRÅDER

Anortositt har en lang rekke av potensielle anvendelsesområder, og følgende liste gir et inntrykk av mangfoldigheten:

- Syreløsning av anortositt kan gi: polyaluminiumklorid (*Polymer*), aluminiumsulfat, kalsiumkarbonat, kalsiumsilikat, kalsiumnitrat, silika-gel, zeolitter, ammoniumnitrat, aluminiumhydroksyd og alumina.
- Sinterprosesser av anortositt kan gi: alumina, kalsiumsilikat, sement, wollastonitt og zeolitt.
- Direkte elektrolyse av anortositt kan gi: aluminium og silisium metall.
- Ildfast materiale, som sperreskikt i aluminiumsovner
- Slaggdanner ved ferrosilisiumproduksjon
- Råstoff for steinull-produksjon
- Pukk
- Tilslag i lyse veidekker og betongelementer
- Abrasiver, skuremiddel i såpe, tannpasta
- Fyllstoff i plast o.l
- Råstoff for keramikk
- Råstoff for keramiske fliser
- Fluksmiddel i porselen
- Industriegulv

I det etterfølgende kommenteres nærmere de mest relevante anvendelser for anortositt av Voss-Sogn kvalitet.

4.1 Prosesser basert på syreløselighet

Det er som alternativt råstoff for aluminiums-produksjon at anortositten har vært av industriell interesse siden tidlig i dette århundre, og på grunn av sitt høye kalsiuminnhold i feltspaten er deler av Voss-Sogn anortositten som nærmere omtalt i kapittel 6, meget velegnet for en syrebasert prosess for frigjøring av anortosittens Al-innhold.

Dette alternativet for anvendelse har foreløpig kulminert med det forannevnte Anortalprosjektet, men i 1995 lanserte Institutt for energiteknikk (IFE) et nytt konsept for anortosittbasert Al-produksjon (Haaland 1995, IFE 1998) der CO₂ fra gasskraftverk integreres i en kombinasjonsprosess med 5 ulike sluttprodukter. Foruten el-kraft fra gasskraftverket og aluminiumhydroksyd for Al-produksjon vil prosessen gi silikarest (residue) med høy spesifikk overflate til vannrensing og tilsats i betong. Videre vil det produseres kalsiumkarbonat til bruk i bl.a. sementindustrien og ammoniumnitrat som råstoff til gjødsel- og sprengstoffindustrien. Dette prosessalternativet som baseres på syreløselig anortositt har meget store dimensjoner, og prosjektet er for tiden til vurdering hos politiske myndigheter og relevante industriselskaper.

Den norske selskapet A/S Polymer har siden 1989 arbeidet med utvikling og utprøving av en prosess for fremstilling av et poly-aluminiumklorid med anortositt fra Sogn-Voss som råstoff. Prosessen baseres på syreekstraksjon, og gjennom vellykkede pilotskalaforsøk i Polen er et produkt for rensing av drikke- og avløpsvann blitt testet hos potensielle kunder. Forsøkene har vært positive, og produktene er under videre utvikling. Gjennom de geologiske undersøkelser som NGU har utført for å sikre råstoffgrunlaget i dette prosjektet (Wanvik 1990 og 1997) har nye interessante områder innenfor Gudvangen-Mjølfjell massivet blitt lokalisert som alternative uttakssteder for god anortositt.

4.2 Ikke-syrebaserte prosesser

Borgestad Fabrikker har startet produksjon av et ildfast materiale med kalsiumrik Sogne-anortositt som råstoff. Flere lokaliteter innenfor Gudvangen-Mjølfjell massivet kan være aktuelle for den videre produksjon, som ser ut til å bli av en moderat størrelse.

Et tredje alternativ for Al-produksjon med anortositt som råstoff er direkte reduksjon ved elektrolyse, med både Si-metall og Al-metall som produkter, har vært vurdert bl.a. av Alcan på 60- og 70-tallet. Ved Høgskolen i Oslo har det i senere år blitt utviklet en ny prosess der disse to metallene fremstilles i en kontinuerlig prosess (Stuberg 1994), og anortositt fra Gudvangen-området er testet med positivt resultat. Et større norsk industriselskap er koblet inn for å vurdere om dette spennende alternativet er industrielt konkurransedyktig.

Til keramiske formål har hvit anortositt fra Nærøydalen blitt vurdert som fluksmiddel, både i forbindelse med elektroporselen og vitroporselen (Lyng og Gamlem 1974) og keramiske fliser (Gamlem og Lyng 1974). Forsøkene var positive. Firmaet Hellviksplitt nær Egersund eksporterer årlig 10-15.000 t. 0-3 mm hvit anortositt til gulvflis-produsenter i Tyskland og Belgia.

North Cape Minerals har relativt nylig testet prøver (muntl. medd. N.E. Johannessen) fra driftsområdet til Gudvangen Stein i Nærøydalen for eventuelle keramiske formål. I smeltefase ble den hvite omvandlete anortositten brunlig. Dette tilskrives jerninnhold i epidotmineraler som vanskelig lar seg fjernes ved oppredning, og mørkere uomvandet anortositt gav faktisk et produkt med lavest jerninnhold (0.44% Fe_2O_3). Mørk plagioklas har på den annen side gjerne mikroskopiske inneslutninger av FeTi-oksyder, og ved fremtidig utviklingsarbeide innefor keramiske anvendelser vil det være viktig å legge vekt på mineralogiske studier av de aktuelle anortosittkvaliteter.

Det har i senere tid blitt noe interesse for å se på muligheten for å anvende anortositt som delråstoff i produksjon av steinull (Rockwool), og det er også da bergartens høye aluminiumsinnhold som er av særlig interesse.

Videre er det omtalt å være muligheter innenfor glassfiber (N.E. Johannessen, muntl. medd.), og syntetisk zeolitt og wollastonitt (Dolan et al. 1991). De sistnevnte baseres på såkalte sinterprosesser, som for øvrig også har vært utprøvd som alternative metoder for produksjon av alumina som Al-råstoff.

4.3 Pukk og filler

I Nærøydalen har det vært drevet gruvedrift på pukk siden 1964, først i Glashammaren på sørsida av dalen og senere i Jordalsnuten på nordsida. Det er den omvandlete, hvite anortositten i bunnsålen av Gudvangen-Mjølfjell massivet som taes ut her, og det er produktets hvithet som er attraktivt. Stenen egner seg til lyse toppdekker i asfalt og som tilslag i fasadeplater og betongelementer, men tidligere har det også vært eksportert en god del for nedmaling på kontinentet til bruk som abrasivt filler i vaskepulver og tannpasta. Gruva drives i dag av firmaet Gudvangen Stein A/S.

Anortositt sies også å ha muligheter som filler i andre produkter (Dolan et al. 1991) som maling, plast og gummi.

I Egersundsområdet drives det pukkuttak flere steder, og også der er det først og fremst bergartens lyshet som er markedsmessig viktig. Nær Jøssingfjorden foreligger det for øvrig planer om etablering av et gigantpukkverk for uttak av mørk uomvandet anortositt, ut i fra at

også denne varianten har gode tekniske egenskaper. Gigantpukkverk for eksportmarkedet kan være relevant også for anortosittene ved Sognefjorden.

Et mindre firma på Voss har eksperimentert med anvendelse av lys anortositt for bruk i industrigulv.

5 RÅSTOFFKRITERIER FOR DE ENKELTE BRUKSOMRÅDER

For nær sagt alle tenkelig bruksområder for anortositten er det ønskelig med et lavt innhold av mørke (jern-holdige) mineraler. Følgende tabell gir en oppsummering av dette og øvrige kriterier som danner grunnlaget for de geologiske vurderinger i forhold til de ulike bruksområder som har vært aktuelle for Voss-Sogn anortositten:

anvendelse	syre-løselighet	Al	Fe	Ca	glødetap	annet	råstoffbehov/ brytningsvolum
Al-produksjon	høy	høy	lav				stort
Al + CO2-fri gasskraft	høy	høy	lav				stort
vannrensing	høy	høy	lav			ikke kvarts	middels
Si + Al-produksjon		høy	lav			høy Si, lav P,B og K	stort
ildfast		høy	lav	høy	lavt	ikke kvarts	lite
keramikk			lav		lavt		middels
pukk						hvithet, mekaniske egenskaper	middels/stort
naturstein						oppsprekningsgrad, blokkstørrelse	lite

Tabell 1 Kriterier som det legges vekt på for en del aktuelle anvendelsesområder.

Foruten lavt jerninnhold, har de fleste anvendelsesområder behov for høyt aluminiumsinnhold, og jo lavere innhold av mørke mineraler det er i anortositten, jo større andel av aluminiumrik feltspat vil det bli rom for. Områder med lite mørke mineraler vil derfor også være å foretrekke med tanke på aluminiumsinnholdet.

Dertil er feltspatkjemien viktig, og anortosittene i Indre Sogn har her en fordel fremfor f. eks. de store forekomstene nær Egersund som har en feltspat med lavere aluminiuminnhold.

I hovedsak vil de anortosittkvaliteter som er best for de bruksområder som er basert på syreoppslutning (*vannrensing, Al+CO2-fri gasskraft*) også være å foretrekke i en prosess for *både silisium og aluminium-fremstilling*. Tilsvarende vil det også for *ildfast* anvendelse være ønskelig med høyt aluminiuminnhold, og dertil høyt kalsiuminnhold.

Ved feltvurderinger vil disse sammenfallende interesser derfor (for hovedtyngden av anvendelser) peke mot et felles mål om en anortittrik, jern-fattig anortositt, eller med andre ord en uomvandlet Sogn-anortositt med lite mørke mineraler.

Ved omvandling av anortositten dannes nemlig anortittfattig (uløselig) plagioklas. Samtidig har anortositten en tendens til å bli lys, og f. eks. i det kraftig omvandlete partiet som Gudvangen Stein driver på i Nærøydalen, er bergarten nærmest hvit. Til *pukkformål* vil en slik finkornet omvandlet anortositt klart være å foretrekke, i og med at de mekaniske egenskapene er bedre enn på en grovkornet uomvandlet type. I praksis er det de kraftig omvandlete partier langs bunnflatene av flere av de store anortosittfeltene i Indre Sogn som da peker seg ut. Hvithetsgraden varierer her med innholdet av mørke mineraler og ganger i den opprinnelige bergart.

Ved anvendelse av anortositten som *naturstein* er blokkpotensiale av meget stor betydning, og det ser ut til å være meget vanskelig å lokalisere partier innenfor anortosittmassivene som ikke er ganske kraftig oppsprukket.

De ulike bruksområder vil ha behov for ulike kvanta med råstoff, og som en grov inndeling benyttes begrepet liten om forekomster på inntil 100.000 tonn, middels inntil 10 mill. tonn og stor over 10 mill tonn. Anortalprosjektet baserte seg f. eks. på en minimumsforekomst på 100 mill. tonn.

6 GEOLOGISKE FAKTORER SOM ER AVGJØRENDE FOR ANORTOSITTENS KVALITET SOM INDUSTRIRESSURS.

6.1 Aluminiumsinnhold

For de fleste aktuelle anvendelser er det som nevnt anortosittens aluminiumsinnhold som er av hovedinteresse. Det er feltspaten som er den primære aluminiumskilde, og plagioklasen opptrer i en serie med varierende kjemisk sammensetning. Avhengig av prosentandel (An-innhold) av endeleddene albitt ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_8$) og anortitt ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) vil innholdet av de enkelte elementene i plagioklasen variere som vist i fig 3. Al_2O_3 innholdet i endeledet albitt ligger på kun 19.5% og anortitt på hele 36.6%.

De gode områdene innenfor Sogne-anortositten har et An-innhold på noe over 70 og således et Al_2O_3 innhold på vel 30%. Til sammenligning har Egersunds-anortositt omkring 26% Al_2O_3 , og anortositt fra Bergens-området omkring 28%.

6.2 Syreløselighet

Feltspatkjemien er imidlertid viktigst når det gjelder bergartens løselighet i syrer. Løseligheten er sterkt avhengig av An-innholdet (Graff 1981 og Qvale 1982b). Som figur 4 viser endres løseligheten kraftig ved et anortittinnhold på omkring 50%. Under 50% (albitt, oligoklas og andesin) er løseligheten meget lav. Fra 50-70% (labrador) stiger løseligheten raskt og over ca. 70% (bytownitt og anortitt) har plagioklasen nær full løselighet. De dominerende deler av Gudvangen-Mjølfjell massivet har en plagioklas med over An 70, mens innenfor de øvrige provinser er det kun begrensede lokale områder som har lettløselig plagioklas med An av labrador-sammensetning. Til sammenligning har anortosittfeltene i Egersundsområdet et An innhold på 40-55% og er således svært lite løselige.

Plagioklasens An-innhold reduseres ved tektonisk deformasjon, og eksempelvis den hvite anortositten som Gudvangen Stein driver på i Nærøydalen ligger i den kraftig omvandlete bunnsålen i Gudvangen-Mjølfjell massivet. Den opprinnelig bytownittiske plagioklasen er her omvandlet ved såkalt saussurittisering. Primær grovkornet kalsiumrik plagioklas er da rekrytallisert til en finkornet og mer natriumrik plagioklas, samtidig som det er nydannet ulike epidotmineraller og sericitt-glimmer. Se illustrasjon av denne prosessen i figur 5, der An-innholdet er redusert til ned mot 20% slik at bergarten blir tungtløselig i syre og følgelig uegnet til syrebaserte prosesser. I hovedsak viser det seg å være lite endringer i bergartens totale kjemi ved en slik saussurittiseringsprosess, bortsett fra glødetapet som viser en markert økning..

Slik plagioklasomvandling kan opptre i større og mindre grad i de fleste områder, og selv i ellers helt upåvirkede felter kan det gjerne opptre gjennomsettende forgneisningssoner der An-innholdet er lavt (fig 9.) Begynnende omdanning kan ofte observeres i felt som en bikaketekstur på vitret flate der de enkelte primære plagioklaskorn omgis av en randsone av surere (mer albittisk) mindre plagioklaskorn som er tungt-løselig, og derved står ut i forhold til de lettløselige større kornene.

Når det gjelder angivelse av løselighet for anortositten, så er det ved kjemiske analyser mulig å angi dette på tre forskjellige måter. Ettersom det er anortosittens aluminiumsinnhold som er av interesse for de industriprosesser som benytter syreoppløsning så er jo den mest veiledende måleangivelsen mengde løst Al_2O_3 i prosent av total vekt bergart. Dette var den angivelse som ble benyttet som standard ved undersøkelsene før og under krigen.

I Anortal-prosjektet ble det imidlertid praktisert å vise løseligheten i prosentandel løst Al_2O_3 i forhold til bergartens totale aluminiumsinnhold. Det ble den gang vurdert at denne angivelsen (med sine høye tallverdier) lettere gav et mer nyansert bilde av løselighetsvariasjonene for anortositten.

En tredje (og analysemessig enkleste) metode er å angi bergartens totale løselighet. Det viser seg nemlig å være en god korrelasjon mellom total løselighet og løselighet av aluminium, og

denne forenklete analysemetodikk er lagt til grunn for en god del av analysene i de seneste år. Kurver som viser forholdene mellom de ulike løselighetsangivelser er presentert i figur 6.

I rapporten er det funnet mest illustrativt å primært benytte samme angivelse som under Anortal-prosjektet, med andel løst Al_2O_3 i forhold til total Al_2O_3 . I referanser til undersøkelsene f. eks. i Kinsedal hvor kun bergartens løsbare aluminium er rapportert, er disse tallene gjengitt, selv om det for leseren hadde vært mindre forvirrende kun å operere med en måte å angi løseligheten på i rapporten.

6.2 Innhold av andre mineraler og ganger av andre bergarter

Innholdet av ikke-feltspat mineraler er også viktig, og først og fremst er det ulike mørke jernholdige mineraler som amfibol, pyroksen, granat, biotitt og epidot som forringer anortosittens kvalitet. De store områder med gabbro-anortositt og anortositt-gabbro har mye av disse mørke mineralene (fig. 10), og er således lite interessante for industriell anvendelse. Også innenfor de renere partier av anortosittene opptrer mørke mineraler (fig 7 og 8). De beste feltene i Anortalprosjektet ble lokalisert ut fra et ønske om under 5% mørke mineraler, og de forekomstene som til slutt ble utvalgt som de best egnede hadde gjennomsnittsinhold på kun omkring 3% mørke mineraler.

Foruten anortositten selv, opptrer det innen massivet ganger av andre bergarter. I forbindelse med undersøkelsene til Anortal på slutten av 70-tallet, ble det av Ottesen kartlagt slike ganger detaljert sør for Nærøydalen (Wanvik 1981), og observasjonene i dette godt blottede høyfjells-partiet illustrerer meget bra hvor komplisert disse gangene er foldet. (Se utsnitt i fig. 11).

Det er de *gabbroide* ganger som dominerer. Dette er helt mørke bergarter som hovedsakelig utgjøres av granat-amfibolitt. Gangene opptrer gjerne i svermer, og vil forringe en ellers interessant anortositt.

Derne opptrer normalt i langt mindre mengder *pegmatitt- og diorittganger*. Innenfor sørlige områder av Sogndal-Kaupanger og Kinsedal-provinsene opptrer imidlertid granodiorittiske ganger med stor hyppighet.

7 DE ENKELTE ANORTOSITTPROVINSER

I de etterfølgende kapitler vil de enkelte anortosittprovinser bli omtalt hver for seg, i rekkefølge fra sør mot nord. Foruten detaljkart for de partier som er mest interessante, henvises til oversiktskartene i figur 2 og vedlegg 1 og 2. For oversikt over kjemisk sammensetning av de interessante felter innenfor provinsene henvises til tabell 2 sist i dette kapitlet.

7.1 Gudvangen-Mjølfjell provinsen

Denne provinsen består først og fremst av det store massivet mellom Nærøydalen og Mjølfjell. I tillegg opptrer en del mindre felter på vestsiden og omkring de sørlige deler av hovedmassivet (se vedlegg 1 og 3). De mindre feltene er alle av underordnet interesse i forhold til hovedmassivet, og bortsett fra de to feltene Valafjellet og Brekkenipa vest for Stalheim, vil ikke de øvrige felter bli nærmere omtalt i denne rapporten. For nærmere informasjon om satellittfeltene nær Mjølfjell henvises til Qvale (1979).

Det omkring 145 km² store hovedmassivet har helt siden Goldschmidts undersøkelser omkring 1917 vært ansett å ha de klart beste områder med anortositt, og alle senere undersøkelser har bekreftet at dette området står i en særstilling både når det gjelder kvalitet og volumer av meget god kvalitet.

Anortositten er for det meste jevnkornet hvit/grå/fiolett med opptil 1 cm store plagioklaskorn som i følge Qvale (1982a) viser variasjoner mellom 65 og 78% An, og med over 70% An som dominerende. Øvrige mineraler opptrer vanligst i et innhold på 3 til 10% og utgjøres av epidot, amfibol, pyroksen og noe granat, med epidot og partivis amfibol som gjennomgående mest dominerende mørke mineraler.

Massivet har form som et stort NV-SØ gående traue som krysser Nærøydalen ved utløpet av Jordalen. Nåværende gruvedriftsområder ligger her helt ned mot sålen av traue. Massivet har skyvekontakt mot underliggende mangerittiske bergarter, og anortositten er omdannet i opptil et par hundre meters tykkelse langs kontaktsonen. I denne omdanningssonen har feltspaten et An-innhold ned mot 20%.

I Anortalprosjektet ble de geologiske undersøkelser konsentrert om områdene sør for Nærøydalen, og store beløp ble her anvendt på bl.a omfattende kjerneboringer (fig. 14). Senere har nye anvendelsesområder kommet inn i bildet, og de ulike industriprosjekter har ulike behov for råstoffvolum. Dette resulterer i at ulike deler av det store massivet kan gi

tilfredsstillende kvaliteter og tonnasjer for hver enkelt av de forskjellige bruksområder. I det etterfølgende vil de enkelte underområder av massivet beskrives.

I Anortalprosjektet ble det lagt vekt på lavt innhold av mørke mineraler, og det viste seg ved undersøkelsene at større partier innenfor Gudvangen-Mjølfjell massivet har anortositt med mindre enn 5% mørke mineraler. Gjennomsnittsinholdet innenfor de utvalgte områder Hyllandfeltet og Kaldafjellfeltet ligger således på omkring 3% mørke mineraler. Det bemerkes for øvrig at disse feltene i stor grad også ble utvalgt fordi opptreden av gabbroide ganger er beskjedent der, men at innholdet av mørke mineraler i anortositten selv til dels kan være like lavt i mange øvrige partier som imidlertid er befengt med relativt hyppige ganger (se fig. 11).

På kartet i vedlegg 1 er variasjoner i innhold av mørke mineraler og syreløselighet presentert. Det er her ikke særskilt skilt ut områder med under 5% mørke mineraler, ettersom dette ville forde mer omfattende detaljundersøkelser i hele massivet enn det som er gjennomført, men det er viktig å være oppmerksom på at den gule fargen på vedlegg 1 innenfor Gudvangen-Mjølfjell provinsen i en del områder representerer anortositt med under 5% mørke mineraler, ja i partier endog under 3%.

7.1.1 Nærøydalen

I Jordalsnut-området har det i omkring 35 år blitt drevet ut hvit omvandlet anortositt til pukkformål og diverse andre produkter. Gudvangen Stein A/S som driver her i dag gjennomførte kjerneboringer i 1992 som konstaterte at det gjenstår rikelige reserver for videre uttak i den skala på omkring 25.000 t/år som de har ligget på i senere år.

Det har i hovedsak vært antatt at den omvandlede sone er såpass mektig at gruvedrift med basis i syreløselig anortositt ikke kunne være aktuell i områdene her i bunnen av dalen. Uttak av hvit anortositt har dog kun foregått i en omkring 100 m bred dagnær sone parallelt med Nærøydalen, og driverne i gruva har poengtert at drift innover i fjellet har stoppet opp ved møte med en mørkere, mer grovkrySTALLinsk "blå" anortositt. I 1994 ble det for første gang utført dagprøvetaking av de spredte blotningene opp mot fjellveggen på sørøstsiden av dalen, og det viste seg at godt løselig anortositt opptrer også i partiene umiddelbart over Glashammar-nivå (se vedlegg 6).

Prøvetaking av fjellsiden over tunneldriften i Jordalsnuten ble også gjennomført for første gang i 1995. De visuelle observasjoner og kjemiske analyser indikerte at nivået for overgang mellom uomvandlet og begynnende omvandlet anortositt ligger i en høyde på omkring 130 m over dagens tunneldrift på 115-120 m.o.h. Dette korresponderer med toppen av Glashammaren om vi legger inn en fallvinkel som samsvarer med et observerbart slakt sydøstlig fall på anortosittmassivets bunn her i Nærøydalen.

Indikasjoner på at det i fjellmassivet innover og oppover fra tunnelene i Glashammaren også befinner seg anortositt med tilfredsstillende og god kvalitet for flere av de aktuelle bruksområder medførte at det i 1996 ble gjennomført kjerneboringer innover fra den innerste delen av tunnelene her.

Resultatene var meget positive, og det viser seg at den såkalte "blå" anortositten til driverne faktisk representerer overgangen fra den dagnære hvite sonen og til stort sett ganske uomvandlet, syreløselig anortositt innover i fjellet. En steil forgneisnings-sone parallelt med dalen kan synes å være tilstede og ha medført at den omvandlete anortositten her mot sørøst ligger i et lavere nivå enn i selve Glashammaren. Alternativt har vi her å gjøre med en steiltstående forkastning der en sydlig blokk ligger lavere (se vedlegg 5).

Det ble boret hull av 150 m lengde både horisontalt og på skrå oppover (se vedlegg 6), og innhold av mørke mineraler, mørke ganger og syreløselighet (Wanvik 1997) viser seg å være på høyde med resultatene fra kjerneboringene i 1977 i Hyllandfeltet oppe på fjellplatået mot SØ (Wanvik 1981). Jerninnholdet på omkring 0.7% Fe_2O_3 er faktisk en del lavere enn de ca 1.2% som ble konstatert ved boringene i Hyllandfeltet, og syreløseligheten ligger for de fleste bormetre over 80% Al_2O_3 . I det oppoverrettede hullet var løseligheten på de øverste 100 m på 88%, identisk med gjennomsnittet for de aktuelle soner i Hyllandfeltet.

Også ved kjerneboringer innover i fjellet fra de indre deler av tunnelene i Jordalsnuten ble det konstatert relativt uomvandlet anortositt, med syreløselighet på omkring 85%.

Ut i fra de gjennomførte kjerneboringer ser det således nå ut til at det ikke bare er i de høyere nivået av Gudvangen-Mjølfjellmassivet at uomvandlet og lettløselig anortositt opptrer, men at slike kvaliteter opptrer helt ned til nivå med dalbunnen i området ved Glashammaren og Jordalsnuten.

En rasjonell underjordsdrift i midlere og for den saks skyld stor skala vil kunne være mulig å gjennomføre i dette fjellmassivet på sørsiden av dalen som peker seg ut som meget interessant for både nåværende og mulige fremtidige industriinteresser. Storskala underjordsdrift vil kunne være en fremtidig mulighet om noen av de nyere industriprosjekter med basis i aluminium og eventuelt silisium- utvinning fra norsk anortositt blir realisert. En underjordsdrift i kombinasjon med dagbruddsdrift f. eks. i Hyllandfeltet kan da muligens bli relevant.

Et alternativt utskipningssted for eventuelle framtidige uttak i stor skala kan være Framfjord i Vik kommune. Dette forutsetter en vel 2 mil lang tunnel nordvestover, og ved et slikt alternativ ligger Jordalsnuten gunstigere til enn forekomstene på sørsida av Nærøydalen. Med basis i de oppmuntrende sonderende boringene som ble utført i Jordalsnuten i 1996, så kan man ikke se bort i fra at også dette fjellpartiet kan danne grunnlag for underjordsdrift i større

skala dersom Framfjord skulle bli et aktuelt utskipningssted. En verifisering av kvalitet og tilgjengelige volumer i Jordalsnuten forutsetter gjennomføring av et større kjerneboringsprogram.

7.1.2 Sivlesnipa

Ved gjennomgang av Norsk Hydros arkivmateriale har det framkommet interessante opplysninger om systematisk prøvetaking i Sivlesnipa på nordsiden av Nærøydalen (vedlegg 4). Under de undersøkelser som ble utført av Elektrokjemisk omkring 1920, var det foruten Kinsedalsfeltet, anortosittfeltet i Sivlesnipa vest for Jordalsnuten som ble utpekt til et alternativt uttakssted for de gode kvalitetene i Nærøydalsområdet. Det ble skutt ut 200 prøver i det såkalte Nålenfeltet, i fjellplatået på 500 til 900 m høyde ovenfor husmannsplassen Nåli (Nicolaysen 1920). Anortositten viste seg gjennomgående å være av en meget god syreløselig kvalitet, med en løselighet svarende til over 90% Al_2O_3 . Selv om løseligheten i Kinsedal lå på omkring 80% var de lavere transport- og brytningskostnader avgjørende for at Kinsedal den gang ble valgt som uttakssted.

Dette til tross for at Carstens (1940) uttrykte: "Nålenfeltet ligger etter min mening langt over alle andre felter både kvalitativt og driftsmessig". Det må her bemerkes at på den tiden var ikke fjellplatåene sør for Nærøydalen vurdert som spesielt aktuelle på grunn av den store høydeforskjellen fra dalbunnen. Hyllandfeltet ligger imidlertid nærmere en eventuell utskipning i Gudvangen og vil med utskipning østover være et klart bedre alternativ enn Sivlesnipa.

Bortsett fra Dugstad (1965) som rapporterte om An-innhold mellom 70 og 75% er det i nyere tid ikke utført detaljerte undersøkelser av anortosittens kvalitetsvariasjoner på Sivlesnipa. Det er først og fremst de gode resultatene fra de relativt omfattende undersøkelsene i mellomkrigstiden som viser potensialet i denne aller nordligste delen av Nærøydal-Mjølfjellmassivet. Det detaljert prøvetatte partiet over Nåli vil nok imidlertid i dag være uaktuelt for dagbruksdrift på grunn av et inngrep her nok ville bli synlig fra f. eks. Stalheim hotell.

Om Framfjord blir et fremtidig utskipningsalternativ vil Sivlesnipa ligge gunstigere til enn forekomstene på sørsida av Nærøydalen. Hvorvidt god kvalitet for et dagbruksalternativ som er skjermet for innsyn, er tilgjengelig i indre deler av Sivlesnipa, er ikke kjent, men den systematiske prøvetakingen av fjellplatået opp til 900 m. o. h. tilsier at feltet i alle fall kan være et aktuelt alternativ for underjordsdrift. En verifisering av kvalitet og tilgjengelige volumer i Sivlesnipa forutsetter gjennomføring av detaljerte overflateundersøkelser og kjerneboringer.

7.1.3 Høyfjellspartiene sør for Nærøydalen

Det var i dette området mellom Nærøydalen i nord og Kaldafjell/Bjørndalsvatn i sørøst (vedlegg 4) at Anortal utførte hovedtyngden av sine undersøkelser. Storparten av dette området har en relativt uomvandlet anortositt som gir god syreløselighet, og hovedoppgaven i felt under Anortalprosjektet var å sirkle inn og detaljundersøke de beste underområder med minst 100 mill. tonn. Dels var det da å styre unna partier med over 5% mørke mineraler og dels områder med gabbroide ganger.

To områder ble lokalisert og detaljundersøkt med bl.a. omfattende kjerneboringer (fig. 14). Begge disse områdene, Hyllandfeltet i nord (fig. 12) og Kaldafjell-feltet i sør (fig. 13), vil kunne ivareta kravene om kvalitet og volum til et uttak i stor skala. (Se kart vedlegg 4) Brytningsplaner og detaljerte investerings- og driftskostnader ble utarbeidet, og nedknust anortositt var påtenkt å transporteres i tunnel ut til stedet Telsnes et par kilometer utenfor Gudvangen på fjordens østside.

I Hyllandfeltet og Kaldafjellfeltet er vi sikret dagbruksalternativer for uttak i stor skala. Disse områdene bør det være av nasjonal interesse å sikre for eventuelle fremtidige prosjekter som har behov for råstoff av kalsiumrik anortositt. Feltundersøkelsene er beskrevet i flere rapporter (Jensen 1977, Jensen og Wanvik 1979,1980 og Wanvik 1981).

7.1.4 Øvsthusdalen - Fyrde

Relativt store partier over skoggrensa inne i Øvsthusdalen er undersøkt for Polymer (Wanvik 1990) og funnet å inneholde god syreløselig anortositt egnet for uttak av middels årlig kvantum. Dagprøvetakingen viste Al_2O_3 -løselighet på hele 93 til 97% i det mest aktuelle partiet. Selskapet har sikret seg grunneieravtaler i området (fig. 15) som er avmerket på kart vedlegg 4.

Store deler av de skogbevokste deler av Øvsthusdalen har enten anortositt med relativt høyt innhold av mørke mineraler (gabbro-anortositt og anortositt-gabbro) eller består av gabbro. Dette partiet med mye mørke mineraler opptrer også sørover i området Biskanolten og Oksli som indikert på vedlegg 4.

Området omkring Fyrde og ved Sleen (se vedlegg 7) på vestsiden av E16 har langs anortosittmassivets vestgrense en omvandlet matt hvit type tilsvarende den det brytes på i Nærøydalen. I nedre del av lia øst for Fyrde gård viser det seg at anortositten er av noe vekslende løselighet (70-85%) og således ikke så helt godt egnet for syreprosesser. For bruksområder som ikke er avhengig av å løse bergarten kan dette området stedvis inneholde brukbare kvaliteter, men området har vist seg å være relativt inhomogent.

7.1.5 Brandsetdalen

Den relativt nye vegen som forsvaret har anlagt innover Brandsetdalen har gjort området klart lettere tilgjengelig for eventuelle anortosittuttak. Tidligere undersøkelser har påvist at det innenfor flere områder i dalen opptrer partier med god anortositt.

Forsvarets arealer dekker imidlertid en forholdsvis stor del av det interessante området. Deler av dalen viser seg også å innebære visse problemer med hensyn til grunneieravtaler og steinuttak. De deler av dalen som er "tilgjengelig" om de forannevnte konfliktarealer holdes utenom, blir i praksis de innerste og nedre deler (se kart vedlegg 4).

Undersøkelser for Polymer har vist at det innenfor dette "tilgjengelige" området finnes arealer med brukbar anortositt, og et parti nær vegen har vært aktuell som et alternativt uttakssted for selskapets prøveproduksjon i Polen og muligens som et alternativ for en eventuell permanent produksjon. (se fig 16 og markert område på kart vedlegg 4)

Blotningsgraden i dette området er imidlertid relativt sparsom, og for å påvise kvaliteter og utbredelse av en middels stor forekomst vil det helt klart være nødvendig å gjennomføre et kjerneboringsprogram i området. Ved observasjoner av tilgjengelige blotninger nedover langs elva viser det seg å være relativt store kvalitetsvariasjoner, særlig når det gjelder innholdet av mørke mineraler, som partivis er 10-20%. Slike forhold vil da nærmere kunne fastslås ved kjerneboringer.

I nedre deler av Brandsetdalen, nedenfor utløpet av Ådnakkaelva (se vedlegg 4 og 2) viser prøvetaking at løseligheten er relativt lav (60-80%) og innholdet av mørke mineraler partivis noe høyt. I aller nederste del av dalen, nedenfor Brandset gård, er løseligheten lav (under 70%). I den vestligste del av massivet er innholdet av mørke mineraler høyt og mot skyveggen er bergarten kraftig omdannet (se vedlegg 2 og 7).

7.1.6 Mjølfjell-Grodgjuvet

De gode kvaliteter i de nordlige deler av massivet fortsetter også inn i den sørlige delen. Qvale (1979) har kartlagt og rapportert anortosittens variasjoner i denne delen av massivet og store deler av området har gode til utmerkede anortosittkvaliteter. Høyt innslag av mørke ganger i partier er også her med på avgrense arealene med ellers god anortositt. Anortal gjennomførte kjerneboring på en lokalitet innerst i Grodgjuvet i 1989 (vedlegg 3) som alternativt uttakssted for råstoff i en eventuell pilotfase, og kvaliteten viste seg å være utmerket (Wanvik 1981)

Borgestad Fabrikker A/S tok i 1993 ut 3000 tonn anortositt fra en lokalitet nær enden av den militære kjørevegen i Grodgvjuvet (Wanvik 1994) til forsyning for visse produkter innenfor sin ildfastproduksjon (vedlegg 3).

I forbindelse med fremtidig jernbane-tunnel gjennom Rjoandeggi øst for Mjølfjell stasjon har vi også vurdert eventuelle anortosittkvaliteter av utsprengt materiale fra tunneltraséen. Kartlegging og prøvetaking oppe på fjellryggen langsetter traséen viser interessante kvaliteter og anortositten fra tunnelsprengningene vil nok når den tid kommer kunne være velegnet råstoff for flere potensielle avtakere. Den steiltstående vestlige avgrensning av anortositten går imidlertid gjennom den vestlige del av trasé en, og kartlegging viser at de vestligste 200 m av anortositten har lav løselighet og høyt innhold av mørke mineraler.

Samlet sett er det flere områder i Grodgvjuvet og på Rjoandeggi som har anortositt av interessante kvaliteter for ulike anvendelsesområder. Arealmessige sammenfall med forsvarets skytefelt (som dekker store deler av anortosittområdet) og hytte/friluftsinnteresser gjør imidlertid potensielle drivere tilbakeholdne med å engasjere seg videre i området. Området ligger transportmessig nær jernbanen men har relativt lang avstand til mulig utskipningshavn.

7.1.8 Valafjell og Brekkenipa

Dette er to satellittforekomster av hovedmassivet som ligger på fjelltopper vest for Stalheim og nord for Oppheimsvatnet (se vedlegg 3). De anortosittiske bergartene her ble undersøkt og grundig beskrevet av Hødal (1945). Forekomstene begrenses ved en 100-200 m bred forskifret sone mot de underliggende diorittiske til mangerittiske bergarter. Over denne sonen blir anortositten gradvis mer massiv, med økende An-innhold, og får et lavere innhold av mørke mineraler. I de høyere nivåer opptrer lokalt relativt ren og frisk anortositt med An over 60%. Viktigste mørke mineraler innen de renere partier er biotitt, granat, epidot og hornblende.

7.2 Fresvik-Dyrdal provinsen

Denne provinsen inkluderer de anortosittiske bergarter som ligger mellom Nærøyfjorden i sør, Aurlandsfjorden i øst og Sognefjorden i nord. Det opptrer her en øvre og en undre anortosittisk enhet (Bryhni og Brastad, 1979). Øvre enhet utgjøres av et minst 1000 m mektig hovedmassiv som strekker seg fra Fresvik i nord og ned mot Dyrdal, og et omkring 200 m mektig uregelmessig langstrakt enhet i Moldbakkefjellet nordøst for Fresvikbreen, vest for Fresvik. Undre enhet består av en 60-70 m mektig gabbro-anortositt som strekker seg som en

tarm vest for hovedmassivet i øvre enhet og som i sør går over i det klart mektigere Dyrdalsfeltet (se vedlegg 1 og 2).

De anortosittiske bergartene i hovedfeltet domineres av anortositt-gabbro. Eksempelvis er vegen over Fresvikåsen relativt nylig blitt forlenget helt ned til Simlenes ved Aurlandsfjorden (vedlegg 8). Vegskjæringene her viser tydelig at også i denne del av området er det stort sett ulike varianter av anortositt-gabbro og gabbro-anortositt som opptrer. Lommer og lag med relativt ren anortositt forekommer, men vanligvis kun i meget små/smale partier. Bare et begrenset område sentralt i hovedmassivet nær Jordalsskardet har arealer av regulær anortositt.

Anortositt-gabbroen, og til dels også gabbro-anortositten har plagioklas med lavt An-innhold (40-60%), og følgelig lav syreløselighet.

Moldbakkefjell-enheten er i følge Bryhni et al. (1978) en separat stratigrafisk enhet som domineres av gabbro-anortositt. Tilsvarende har Dyrdalsfeltet også generelt en gabbro-anortosittisk sammensetning.

På kartene i vedlegg 1 og 2 er variasjoner i innhold av mørke mineraler og aluminiumsløselighet innenfor provinsen presentert.

7.2.1 Jordalsskardet

I området fra Jordalsskardet og sørøstover mot Lægdeskardet og Steindalen (fig 17 og vedlegg 8) opptrer en anortositt som i større partier har et moderat innhold av mørke mineraler. Helt lokalt finnes områder ned mot 5% mørke mineraler, men gjennomsnittlig ligger andelen omkring 10%. Feltet har veksling mellom relativt frisk, grovkrystallinsk anortositt med grålig til litt fiolett farge og mer skifrige/forgneisete partier. Analyser av prøver fra feltet viser da også at løseligheten varierer ganske mye. Verdier fra 60 til 92% Al₂O₃-løselighet er registret, og gjennomsnittet ser ut til å ligge omkring 75%. Området i Lægda fjellet og Trollgilsholten og utover mot fjorden er uinteressant p.g.a. høyt innslag av gabbroide ganger og linsjer.

Jordalsskard-Steindal feltet har for lav gjennomsnittlig løselighet til å egne seg spesielt bra til syrebaserte anvendelser. Området ligger imidlertid rimelig nær fjorden, og kan være et mulig alternativ for anvendelser som ikke baseres på syrebehandling, og som samtidig kan tolerere et noe høyere innhold av mørke mineraler enn de aktuelle felter i Gudvangen-Mjølfjell massivet. Feltet er av en slik størrelse at store uttak vil være mulig.

Feltet varierer som nevnt en god del i sammensetning, både når det gjelder innhold av mørke mineraler og syreløselighet, og det vil absolutt være nødvendig å gjennomføre supplerende

detaljerte undersøkelser for å kartlegge feltets nøyaktige yttergrenser og indre variasjoner med tanke på eventuelle konkrete industrielle anvendelser.

Den sydlige delen av feltet ligger innenfor den nordlige grensen til det foreslåtte verneområdet (vedlegg 8), og for å sikre seg dette ressursalternativet for fremtiden bør grensa her justeres slik at feltet blir liggende nord for verneområdet.

7.2.2 Nærøynes

Like innenfor Nærøynes ved munningen av Nærøyfjorden kommer Fresvik-Dyrdal feltets undre skyveflate ned til sjøen (vedlegg 2). Som innen de øvrige anortosittfelter er det å forvente at anortositten nær denne skyveflaten har blitt omvandlet til en matt finkornet anortositt.

Denne lokaliteten ved Nærøynes ligger innenfor det foreslåtte landskapsvernområdet og det var derfor aktuelt å undersøke om det her ligger en større forekomst av god hvit anortositt egnet for et større pukuttak ved sjøen.

Ved nærmere undersøkelser fra båt ble det av undertegnede konstatert at det høye innholdet av mørke mineraler som er observert i øvrige deler av dette området tydeligvis også gjør seg gjeldende for massivets nederste parti. I det omvandlete partiet som riktignok er utviklet også her langsetter skyveflaten ved Nærøynes, er det ikke en god hvit anortositt som opptrer. Sonen domineres av et høyt innhold av mørke mineraler og dertil er gabbroide slirer og ganger hyppig tilstede. Vi har her å gjøre med en anortositt-gabbro som på ingen måte kan sammenlignes med de hvite kvaliteter som brytes av Gudvangen Stein.

7.3 Aurlandsfjorden-Bleia-Lærdal provinsen

Denne provinsen domineres av det store anortosittfeltet som dekker mesteparten av neset mellom ytre del av Aurlandsfjorden og Lærdal (vedlegg 1). I tillegg inkluderes felter ved Lærdal og små felter sørøst for det store hovedmassivet. Provinsen domineres helt av pyroksen/amfibol-rik anortositt-gabbro, og kun ved Kolarbotn, sentralt i hovedmassivet opptrer et noe større sammenhengende felt med regulær anortositt. Dertil viser det seg at plagioklasen i anortositt-gabbroen her normalt er lite syreløselig.

På kartene i vedlegg 1 og 2 er variasjoner i innhold av mørke mineraler og i aluminiumsløselighet innenfor provinsen presentert.

7.3.1 Kolarbotn

Dette feltet som ligger meget avsides omkring 5 km inn fra Aurlandsfjorden (vedlegg 1 og 2) viser seg å ha lettløselig anortositt i følge Qvale (1980 og 1982a) som skriver: "Jevnkornete anorthositter med Ca-rikere plagioklas er relativt uvanlig innenfor disse feltene (provinsen som helhet). Sentralt i provinsen, nord for Kolarbotn, finnes et større felt med lettløselig anorthositt, men p.g.a. stadig forekommende gabbroide og granodiorittiske intrusiver og forgneisnings- og forskifringssoner er feltene økonomisk uinteressante".

7.3.2 Kappadalsfeltet

Goldschmidt (1917) refererte til blokkfunn av god syreløselig kvalitet ved sjøen i området nær Handklefjellet vis a vis Undredal. Beliggenhet ved sjø var interessant og i 1919 ble området undersøkt med prøvetaking oppe på høydeplatået mellom Skjærdal og Kappadal (Horneman 1920). De beste partier viste omkring 23% oppløst Al_2O_3 (svarende til 75% av total Al_2O_3).

Qvale (1980) har også undersøkt forekomsten og konkluderer med at "anortositter finnes kun i den sydvestlige del av feltet mellom Hanklæfjell og Skorvi". De ser der ut til å opptre i en 20-30 m mektig benk nær de anortosittiske bergartenes undergrense (vedlegg 1 og 2), 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.

Feltet er for lite og har for dårlig kvalitet til å være av økonomisk interesse.

7.3.2 Kotningen

I forbindelse med den nye verneplanen var det aktuelt å se nærmere på anortosittkvaliteten langssetter massivets undergrense ved elvedalen Kotningen i Aurlandsfjorden (vedlegg 2), siden området ligger innenfor grensene til foreslått landskapsvernområde. Tilsvarende som langs undergrensa på vestsida av fjorden var det sannsynlig at det også her opptre en omvandlet anortositt, og eventuelle muligheter for pukktak burde bli vurdert.

Undersøkelsene viser imidlertid at den omvandlete sonen også her inneholder for mye mørke mineraler og mørke ganger til å være av spesiell interesse for pukkdirift.

7.4 Kaupanger-Sogndal provinsen

Provinsen omfatter anortosittiske bergarter vest for Lustrafjorden med det store massivet som strekker seg helt vest på Kaupangerhalvøya, og i tillegg en liten forekomst på fjellet Stora Skriki nordvest for Sogndalsfjorden (fig.2).

Provinsen domineres av høyt innhold av mørke mineraler og mesteparten av området må karakteriseres som en anortositt-gabbro. Denne har normalt et An-innhold omkring 40-50% og er således lite syreløselig. Prøver indikerer en Al_2O_3 -løselighet på mellom 20 og 50% av totalt Al_2O_3 -innhold.

Deler av området har gabbro-anortositt, og anortositt opptrer lagvis i en begrenset sone på Kaupangerhalvøya fra Langaneset ved Eidsfjorden og sydover. Et nyoppdaget mindre felt av ren anortositt er lokalisert rett øst for Fimreite.

De sydlige partier har et meget høyt innslag av granodiorittiske ganger som vist på kartet i vedlegg 1, som også viser variasjoner i innhold av mørke mineraler. Vedlegg 2 viser variasjoner i aluminiumsløselighet innenfor provinsen.

7.4.1 Langaneset-Lingesete

Goldschmidt (1917) påpekte at det ved sydsiden av Eidsfjorden nær Langaneset (se vedlegg 10) var en "temmelig brukbar labradorsten". Under 2. verdenskrig ble 33 prøver analysert fra dette feltet som strekker seg oppover fra sjøen mot Eldingsskuten (Ellingsknuten?). Gjennomsnittlig 24% oppløselig Al_2O_3 ble konstatert, mens Åsenfeltet i Kinsedal til sammenligning hadde 25% ved dagprøvetaking (Carstens 1942a). Senere undersøkelser i dette området av Bryhni (1980) viser at de renere partier med anortositt her opptrer i veksling med mørke lag og linser. Lagene opptrer i benker, og ved utløpet av Langanesbekken danner denne gabbro-anortositten steile skrenter der de renere lag ligger nær parallelt med dalsiden. De renere partier får på den måten tilsynelatende større volumer enn de i virkeligheten har, og det var nettopp disse partiene ved sjøen som i sin tid fenget Goldschmidts interesse.

Nyere undersøkelser ved forfatteren bekrefter området inhomogenitet, og særlig langsetter den nye vegen ved fjorden utover til Fimreite er de anortosittiske bergartene blottlagt i en del gode skjæringer. Relativt ren anortositt kan her observeres i et 50 m langt parti litt vest for Langaneset. Samleprøver herfra viser en total løselighet svarende til 25% oppløselig Al_2O_3 , meget samsvarende med de gamle analyser. En gunstig beliggenhet til tross så vil dette stedet ikke være egnet selv til mindre uttak med mindre man er forberedt på å måtte basere seg på en hel del selektiv brytning og trolig skeiding.

Beltet med gabbro-anortositt strekker seg imidlertid også lengre sørover, og like nord for Lingesete beskriver Bryhni (1980) store, hvite rundsua av gabbro-anortositt som han karakteriserer som mer egnet for uttak enn feltet ned mot sjøen. Flekker av amfibol i bergarten bidrar dog til at innholdet av mørke mineraler også her for det meste overstiger 10%. Bryhni sier at "Heller ikke ovenfor Lingesete synes volumet av eventuelt brukbar anortositt å være tilfredsstillende sammenlignet med forekomstene i Gudvangen-Mjølfjell feltene."

Anortositten har imidlertid god løselighet (mellom 83 og 93%) og feltet er ikke helt uten fremtidig potensiale i og med at det ligger kun omkring 3 km fra sjøen. Feltet fordrer detaljerte undersøkelser og eventuelt kjerneboringer for å fastlegge potensialet med større sikkerhet.

7.4.2 Fimreite / Vines

Den nye vegen til Fimreite har ved Vines (Tallbergåsen/Otrabråki) avdekket en utløper av anortositt fra hovedmassivet på Kaupangerhalvøya, som tidligere ikke var kjent (se kart vedlegg 1 og 9). I det steile berget rett NØ for Fimreite har sammenhengende vegskjæringer blottlagt en relativt ren anortositt i en lengde på omkring 170 m langsetter vegen. (fig 18).

Denne renere anortositten er en del av et omkring 1 km bredt anortositt-gabbro område som påtreffes i vegskjæringer fra neset og i omkring 1 km lengde i retning Fimreite. Anortositten stiger relativt steilt opp fra sjøen ved Vines og fortsetter oppover Tallbergåsen i østlig retning.

Anortositten er dels brunfiolett og dels grålig, og har innimellom enkelte smalere lag og årer med ansamling av mørke mineraler. I gjennomsnitt ligger mengden mørke mineraler i sonen på mellom 5 og 10%.

NGU har utført systematisk prøvetaking på tvers av sonen langsetter vegen og for øvrig på en del steder i terrenget både nede ved sjøen og oppover i terrenget. Det viser seg at den omgivende anortositt-gabbroen har en meget lav løselighet (godt under 50%), mens anortositten har løseligheter varierende fra 75-95%, og med et gjennomsnitt på mellom 85 og 90% Al_2O_3 -løselighet (se tabell 2, s.33).

Forekomsten ser ut til å være mer uren mot kantene der løseligheten ligger i underkant av 80% og jerninnholdet mellom 1 og 2% Fe_2O_3 . Et midtre part på omkring 100 meters mektighet viser en løselighet på rundt 90% og et Fe_2O_3 innhold på omkring 0.7%.

Kroppen smalner ut i den steile veggen på nedsiden av vegen, der den avsluttes et lite stykke ovenfor sjøkanten. Ovenfor vegen er forekomsten fulgt oppover i lia et stykke oppover mot Tallbergåsen, og prøvetaking viser at den gode kvaliteten ialfall fortsetter et par hundre meter

oppover i fjellsida. Hvorvidt kroppen strekker seg helt opp på Lingesetfjellet er ikke kjent, men ut i fra observasjoner av strøk og fall i området ved vegen øker mektigheten gradvis ovenfor vegen. Partivis mangelfullt med blotninger forhindrer at vi kan få full oversikt over utbredelsen, men med en minimumsmektighet på 100 m og en minimumslengde på 300 m har vi her å gjøre med en forekomst med mellom 5 og 10 millioner tonn av brukbar anortositt.

På grunn av det bratte terrenget vil det være vanskelig å bryte forekomsten i dagbrudd, men den steile kroppen vil kunne egne seg godt for underjordsdrift. Et uttak i mindre eller fortrinnsvis middels stor skala vil kunne være relevant og beliggenheten rett ved sjøen er gunstig. På sørsida nede ved stranda vil det kunne være mulig å legge et utskipningsanlegg.

Forekomstens homogenitet og totale utbredelse må dokumenteres nærmere ved supplerende kartlegging og prøvetaking foruten kjerneboringer for kunnskap om utbredelsen i den tredje dimensjon. Ut i fra de informasjonen vi har i dag må vi helt klart regne Vines som en potensiell fremtidig anortosittressurs.

7.5 Kinsedal-Offerdal provinsen

Sogndalsfeltet fortsetter også over på østsiden av Lustrafjorden. Her opptrer anortosittiske bergarter i to separate tektoniske enheter (vedlegg 1), fra Kinsedal i vest og innover fjellet i retning Øvre Årdal. Det er høyt innhold av mørke mineraler som preger området og den vanligste opptreden er i følge Lutro (1988) "veksling mellom ujevnkorna anortositt, leucogabbro og slira leucogabbro i målestokk fra dm tykke lag og oppover til soner på 40-50 m." An-innholdet beskrives å ligge på omkring 50%, og dette medfører at området generelt gir en veldig lav løselighet.

Innenfor den øverste enheten opptrer anortositt med høyere An-innhold (ca. 70%) og under 10% mørke mineraler på to lokaliteter, henholdsvis ved sjøen i Kinsedal og på fjellet Reinspelnosi 6 km øst for Kinsedal. Se kart vedlegg 1, 2 og 11.

Anortosittpartiene sør og øst for Kinsedal i retning Offerdal er dominert av granodiorittiske ganger, og er således uaktuelle i råstoffsammenheng.

Fra Urnes ble det i 1993 bygget veg helt fram til Kinsedal, som tidligere hadde vært uten vegforbindelse. Anortosittfeltet i Kinsedal er derfor mye lettere tilgjengelig og er således blitt mer attraktivt ved vurdering av ulike driftsalternativer.

7.5.1 Feltene i selve Kinsedal

Ved Kinsedal, omkring 5 km sør for Urnes på østsiden av Lustrafjorden, ble det under 2. verdenskrig i Norsk Hydros regi tatt ut omkring 15.000 tonn anortositt fra et brudd og en gruvestoll 300 m.o.h. i lia opp for gården Hamrane (fig. 18). Anortositten var påtenkt som råstoff for aluminiumsproduksjon, men sabotasjeaksjoner (ved raffineringsanlegget?) satte en stopper for driften.

Dette såkalte Åsenfeltet (vedlegg 11) ble forut for og under anleggsperioden grundig prøvetatt (over 1400 enkeltanalyser). Omfattende røsking og kjerneboring ble også gjennomført. Resultatene fra disse er ekstra viktige i vurderingen av feltets potensiale i dag, i og med at blotningsgraden er meget beskjedne i området. Hos Norsk Hydro finnes en god del rapportmateriale fra undersøkelsene, men lite eller ingenting av kartmaterialet er lenger å oppdrive, og det har medført en del puslespill-arbeide å rekonstruere de enkelte felter som er vist på kartet.

Boringene konstaterte reserver på 16 mill. tonn i en 50-100 m mektig plate (benk) i Åsenfeltet med et gjennomsnitt på 22% oppløselig Al_2O_3 (svarende til 72% Al_2O_3 -løselighet). Platen har et slakt fall (ca. 5°) utover i retning sjøen. Carstens (1942b) regnet det imidlertid som meget sannsynlig at ytterligere kjerneboringer ville påvise "betydelig større kvanta" i sammenheng med en forventet fortsettelse av sonen videre østover. Sonen grenser mot gabbro-anortositt både i heng og ligg. Carstens (1942b) fant imidlertid en del å sette fingeren på når det gjaldt homogenitet og kvalitet:

Åsen labradorstensfelt optrer i form av en over 100 m tykk, tildels buklet og uregelmessig utviklet labradorstensplate, sammensatt av hvit labradorsten. Overalt er labradorstensbenken gjennomsatt av slirer, anrikt på mørke silikatmineraler, tildels av rene gabbroslirer, leilighetsvis også av hvite granitganger (trondhjemitganger).

Feltet ble beskrevet å inneholde 10-12% slirer av anortositt-gabbro og gabbro og 2-3% granittiske ganger og den oppløselige Al_2O_3 -gehalt var sterkt varierende fra meter til meter. Foruten den oppborete forekomsten i Åsenfeltet ble det i 1. halvdel av århundret også gjort detaljerte undersøkelser av 2 andre felter i Kinsedal (vedlegg 11). Omkring 1919 ble et felt beliggende nede ved sjøen ca. 1 km sør for Kinsedalsbekken detaljert prøvetatt med i alt 118 prøver (Carstens 1941). Dette såkalte Kinserdalsfeltet (se vedlegg 11) som strekker seg fra sjøen og opp til 200 m.o.h hadde et gjennomsnittlig innhold på kun 19% oppløselig Al_2O_3 . Det gjennomsettes relativt hyppig med trondhjemitganger og ble etterhvert vraket til fordel for felter med bedre kvalitet lengre nord. Carstens beskrev feltet å være best i det nordlige parti fra sjøen og opp til 200 m.o.h. Analyser av et 280 m langt område her gav en løselighet på 22% Al_2O_3 .

I 1940 ble to nye felt i Kinserdalsfeltets fortsettelse nordover funnet. Først ble Kvithamarfeltet (i dag Kvitafjellet) umiddelbart nord for Kinserdalsfeltet lokalisert. Feltet er ca. 450 m langt og ligger 100-250 m.o.h. Innslaget av granittganger er her betydelig avtakende, og prøvetaking viste i den kvalitativt beste delen et gjennomsnittlig innhold på 24,5% oppløselig Al_2O_3 (Carstens 1941). Den brukbare sonen har en gjennomsnittlig mektighet på ca. 100 m.

Dernest ble det større Åsenfeltet lokalisert høyere opp, med tilsvarende syreløselig kvalitet og mindre hyppighet av trondhemittganger. Oppfølgende kjerneboringer og senere prøvebryting ble foretatt i dette feltet som omtalt foran.

Senere undersøkelser av NGU og Anortal (på slutten av 70-tallet) og NGU på 90-tallet har bekreftet de forannevnte forhold med et brukbart anortosittbelte som strekker seg i 100-200m bredde fra sjøen og omkring 2 km i NNØ-lig retning. Dette beltet grenser i ligg nær mot den vestenforliggende gabbro.

Blotningsgraden i området er dårlig og bortsett fra i dagbruddet og et bekkefar er det kun spredte blotninger. Det er derfor ikke mulig å få god kontroll med kvalitetsvariasjoner i felt. Anortositten i brytningsområdet har gjennomgående et noe matt og skifrig utseende, og det er tydelig at bergarten partivis er en del omvandlet. Det kan imidlertid se ut som at feltet er berørt av forskifring i varierende grad. Omvandlingen synes å være utviklet i forskifringssoner. Dette kan forklare de til dels store variasjoner i løselighet som ble registrert ved undersøkelsene under krigen, og som voldte en del hodebry. Den gang hadde man ikke full oversikt over sammenhengen mellom An-innhold, løselighet og omvandlingsgrad. Hyppighet og utbredelse av omvandlete soner var derfor ikke skikkelig vektlagt.

De prøver som er tatt av NGU på 70 og 90-tallet viser en spredning i Al_2O_3 -løselighet fra 70 til 85%. Angitte gjennomsnittstall fra borkjernene på vel 70% løselighet og vel 80% løselighet for en del skipslaster med skeidet anortositt, virker å samsvare godt med de faktiske forhold for kvaliteten innenfor Åsenfeltet.

Når det gjelder angivelse av % syreløselighet på prøver så vil jo dette avhenge av "oppskriften" på laboratoriet, slik som kornstørrelse, prosesseringstid etc. Løselighetstallene fra prøvetaking omkring 1920 og under krigen vil derfor kunne avvike noe fra analysetall i våre dager. En direkte sammenligning kan derfor være usikker. De forannevnte 22% løselig Al_2O_3 som ble konstatert som gjennomsnitt ved boringene i Kinsedal synes imidlertid å være i bra overensstemmelse med dagens analyser. Datidige analyser fra Nærøydalen viste 28-29% oppløselig Al_2O_3 (tilsvarende 90% Al_2O_3 -løselighet) i det såkalte Nålen-feltet i Nærøydalen (Carstens 1940), noe som stemmer bra overens med nyere analyser fra dette området (Wanvik 1997)

Kinsedalsfeltet har følgelig en markert dårligere kvalitet med hensyn på syreløselighet enn f.eks. de aktuelle partier av Gudvangen-Mjølfjellfeltet, og ingen kjente bruksområder vil foretrekke anortositten i Kinsedal foran de klart mer interessante kvaliteter ved Nærøydalen. Den rapporterte store andel av gabbroide partier (>10%) er også med på å gjøre Åsenforekomsten mindre attraktiv til tross for gunstig beliggenhet nær sjøen.

Årsaken til at det under krigen ble anlagt et brudd i Kinsedal og ikke i anortositt av bedre kvalitet i Nærøydalen var nok først og fremst nærhet til sjø, og dernest at lettløselig anortositt den gang ble ansett kun å være tilgjengelig oppe i fjellpartiene på begge sider av Nærøydalen. Dagbrudds- eller underjordsdrift ble den gang ansett å innebære kostbare og tidkrevende anleggsarbeider før drift kunne komme i gang i disse områdene som da samtidig innebar mye lengre frakt til sjøen.

Det meste av høyfjellspartiene innenfor Kinsedal er sterkt forurenset med mørke mineraler (hornblende og kloritt). I tillegg er An-innholdet lavt. Ren anortositt forekommer kun i små, spredte partier, med unntak av området ved Reinspelnosi (se neste avsnitt.)

7.5.2 Inne på fjellet / Reinspelnosi

Omkring 6km ØNØ for Åsenfeltet befinner det seg også et interessant anortosittområde. På fjellet Reinspelnosi i 1300 meters høyde (vedlegg 1) ligger et felt med relativt ren og syreløselig anortositt (vedlegg 2). Lutro (1988) beskriver lokaliteten som en "ca. 500 m mektig sone som kiler ut både mot Tisedalen i V og på Ø-sida av Reinspelnosi." An-innholdet er oppgitt til omkring 70% og prøver fra stedet viser en Al_2O_3 -løselighet på vel 80%. Mengden av mørke mineraler beskrives også å være lavt. Qvale (1980) omtaler anortositten som "massiv og frisk, men store mengder til dels flattliggende sure intrusjoner i nord og overdekning mot sydvest vanskeliggjør anslag av mektighet."

Høyden over havet og lang avstand til veg trekker i negativ retning. På den annen side er avstanden til sjøen nærmere enn en del av de feltene som er blitt vurdert for dagbruddsdrift i Gudvangen-Mjølfjell-massivet.

Feltet er for dårlig undersøkt til å kunne si noe sikkert om homogenitet og totalt areal/volum, men kvaliteten er nok helt klart noe dårligere enn de gode områder ved Nærøydalen når det gjelder An-innhold og syreløselighet. Det rapportert høye innslaget av sure intrusjoner synes dertil å gjøre feltet tvilsomt også med hensyn til homogenitet og volum.

7.5.3 Det nordvestlige anortosittbeltet

Friske vegskjæringer langs den nye Kinsedalsvegen viser at innholdet av mørke mineraler er meget variabelt i det nordvestlige anortosittbeltet der det krysser vegen nede ved sjøen ved Børtnes (se vedlegg 11). Partivis er mengden mørke mineraler lavt, og tilsynelatende akseptabelt for industrielle formål. Disse renere sonene er imidlertid smale og veksler raskt med lag der innholdet av mørke mineraler klart er for høyt.

De partiene som har et moderat innhold av mørke mineraler er for uregelmessige og representerer for små volum til at dette nordvestlige anortosittbeltet ved Kinsedal er brytningsmessig interessant.

7.6 Kommentarer til kartene over kvalitetsvariasjoner innenfor de enkelte provinser

Det gjøres oppmerksom på at når det gjelder de regionale variasjoner av løseligheten, så er det til dels sparsommelig med innsamlede prøver og analyser innenfor (de økonomisk uinteressante) områder av anortosittmassivene som er forurenset av mye mørke mineraler. De detaljerte undersøkelser har naturlig nok blitt konsentrert om de partier som utgjøres av rene anortositter (over 90% plagioklas). Kartbildene over løseligheten i vedlegg 2 gir mange steder således kun indikerende nivåer innenfor de større områdene med gabbro-anortositt og anortosittgabbro.

Det har vist seg ved de kjerneboringene som ble gjennomført under Anortal-prosjektet at dagprøvetaking gir et noe for positivt bilde av de faktiske forhold. Forurensende eller forringende andre bergarter og omdannede svakhetssoner opptrer nemlig ofte som smalere ganger og årer inni den gode anortositten. Volum/overflateareal av slike dårlige partier er derfor beskjedent og således vanskelig å prøveta i representativ mengde i forhold til den forringende betydning disse innebærer for den gjennomsnittlige kvalitet innenfor et område.

I tabell 2 kan observeres et eksempel på dette forholdet fra kjerneboringer i det meget gode Kaldafjellfeltet i Gudvangen-Mjølfjell-massivet. I tabellen er i linjen "uten ganger" alle ganger av gabbro og dioritt i kjernene utelatt, mens det i linjen "borkjerner 1979" kun er utelatt de større ganger som det vil være aktuelt å skeide ut ved en eventuell dagbruddsdrift. Som man ser så er den utlutede mengde Al_2O_3 sunket med 4 % og Fe og Mg-innholdet er doblet når slike relativt mindre ganger er tatt med.

I Kinsedal viser også borkjernene fra Åsenfeltet langt dårligere kvalitet enn det som er angitt som gjennomsnitt fra dagprøvetaking (se tabell 2).

Når det gjelder kartene over løselighet innenfor de enkelte provinser, så er det selvsagt kjemiske analyser fra dagprøvetaking og ikke borkjerner som vi må basere oss på. Selv om borkjernematerialet fra Hylland og Kaldafjellfeltet indikerer gjennomsnittlige Al_2O_3 -nivåer på et par prosent under 90%, så er det naturlig å illustrere løselighetsnivå også innen denne provinsen på basis av dagprøvetaking. Derved vil de dominerende deler av hovedmassivet her vise kvaliteter med en løselighet på minst 90% av Al_2O_3 .

Provins	Lokalitet	Prøvetype	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Gl.tap	Løst totalt	Løst Al ₂ O ₃		
													av Al ₂ O ₃	av total	
Gudvangen- Mjølfjell.	Kaldafjellet	dagprøver 1978		32,3	0,76		0,32					42,8	29,9	92,7	
		borkjerner 1979	50,0	29,6	1,4	0,15	0,7	13,7	3,1	0,27		40,8	25,9	87,7	
		uten ganger		29,8	1,0		0,4					41,3	27,3	89,0	
	Hyllandfeltet	dagprøver 1977		30,5	0,8								42,2	27-28	90-92
		borkjerner 1977		29,7	1,2		0,8							25,5	86,5
	Øvsthusdalen	dagprøver 1989	49,6	30,6	1,1	0,15	0,7	14,2	3,1	0,16	0,53		43,8	29,0	94,8
	Brandsetdalen	dagprøver 1994		31,1	0,45	0,07	0,07	14,2	2,9	0,14	0,55		41,6		
	Grodgjuvet	borkjerner 1979		30	1,2		0,4							26	87
	Glashammar oppover	dagprøver 1994		30,7	0,68	0,1	0,4	14,2	3,0	0,16	0,77		42,0		90,6
		borkjerner 1996		30,7	0,7	0,1		14,3			0,76		40,4		
	Jordalsnuten	dagprøver 1995		30,8	0,6	0,1	0,3	14,0					37,8		
		borkjerner 1996		30,6	1,0						0,6		39,4		
Sivlesnipa	dagprøver 1920												29-30		
Fresvik-Dyrdal	Jordalsskardet	dagpr. 1978 og 97		30,1	1,2		0,9				0,5			74	
Kaupanger- Sogndal.	Langanes	dagprøver 1997	48,4	29,4	1,2	0,1	0,8	13,6	2,9	0,3		37,4	25	80	
	Lingesete	dagprøver 1979	49,8	32,3	0,24	0,05	0,3	14,8	3,1	0,2		42,3	28,6	89,5	
	Fimreite	dagprøver 1997	49,4	30,4	1,0	0,1	0,6	14,1	3,0	0,2		40,1	27	87	
Kinsedal	Åsenfeltet	dagbruddet 1996	49,6	30,3	0,7	0,1	0,3	13,9	3,0	0,2		40,8	27,5	88	
		dagprøver 1940											25,0	80	
		borkjerner 1940-41		29									21,9	69	
		skipslaster 1944	50	29,2	0,9	0,13	0,5	14,0	4,1						

Tabell 2 Oversikt over gjennomsnittlige kjemiske verdier for de mest interessante anortosittfelter.

8 PUKK

Som omtalt i kapittel 4.3 har det vært pukkdrift på hvit anortositt i Nærøydalen siden 1964. Fortsatt så er det den meget lyse omvandlete anortositten som er mest interessant når det gjelder pukkuttak, og Gudvangen Stein som i dag driver i Jordalsnuten, fikk bekreftet tilstedeværelsen av fremtidige reserver ved gjennomføring av kjerneboringer på sin forekomst i 1992. Dette beltet med hvit anortositt som opptrer langs anortosittmassivets undergrense i Nærøydalen strekker seg videre sørvestover til Fyrde og Sleen sør for Stalheim (vedlegg 7).

I forbindelse med forslaget til Nærøyfjorden landskapsvernområde ble det viktig å få undersøkt om også Fresvik-Dyrdal provinsen har hvit anortositt der massivets undergrense går ned i fjorden på begge sider av Aurlandsfjorden like utenfor utløpet av Nærøyfjorden (vedlegg 2). Ved inspeksjon fra båt er det nå konstatert at riktignok har vi her å gjøre med en helt omdannet anortositt, men på grunn av primært høyt innhold av mørke mineraler og stor andel av mørke ganger har vi her en gabbro-anortositt til anortosittisk gabbro som vil gi et relativt mørkt pukk-produkt (se også kap. 7.2.2 og 7.3.2). Disse to lokalitetene vil derfor ikke ha noe hvithetsmessig fortrinn fremfor sjønnære deler av anortosittene som ligger nord for det foreslåtte verneområdet.

For lokalisering av eventuelle uttaksteder av anortositt i stor skala for eksportmarkedet synes det ikke mulig å finne hvit anortositt av tilfredsstillende kvalitet nær sjøen. Kun Gudvangen-Mjølfjellmassivet ser ut til å ha denne varianten, og det vil nok kun være mulig å lokalisere anortosittvarianter av mørkere typer med en god del mørke mineraler innenfor de mer fjordnære anortosittfeltene i de nordligere provinsene.

8.1 Testing av ulike anortosittvarianter (ved Eyolf Erichsen, NGU)

Som et ledd i vurderingen av Voss-Sogn anortosittens pukkeegenskaper har NGU tatt ut prøver for testing av mekaniske egenskaper fra tre ulike lokaliteter; henholdsvis hvit omdannet anortositt fra Jordalsnuten og fra Fyrde, og uomdannet anortositt fra Brandsetdalen.

Sammenholdt med to tidligere analyser av hvit anortositt fra Jordalsnuten viser de mekaniske testene at den friske anortositten er bedre egnet som tilslag i toppdekke enn den hvite omdannede anortositten. Ingen av variantene har god slitasjemotstand, men særlig Jordalsnut-type viser meget god PSV (Polished stone value) verdi, som på kontinentet og i England tillegges stor vekt på visse vegstrekninger. For detaljer se vedlegg 13 og 14.

9 NATURSTEIN

Gudvangen Stein har gjort noen prøveuttak av blokk fra tunnelene i Nærøydalen, og de hvite marmorlignende blokkene kan beskues inne i restauranten i Gudvangen Fjortell. Det viste seg imidlertid å være vanskelig å finne partier med brukbar blokkstørrelse, og brytningen har ikke fortsatt.

Markedsmessig er det nok den hvite anortositten som er mest interessant og ved Fyrde gård nær Stalheim ble blokkuttak også vurdert (Wanvik 1995). På begge sider av E16 opptrer pen hvit, omvandlet anortositt. Blotningene viser at hele området her er oppsprukket, og det var umulig å lokalisere partier som har rimelig brukbar blokkstørrelse. For eventuelle forsøk på produksjon av gate/kantstein kan vi derimot ikke avskrive anortositten, selv om bergarten nok ikke har utviklet gode kløvegenskaper.

For de øvrige deler av anortosittene i Voss og Indre Sogn ser det også ut til å være betydelig oppsprekning som dominerer. Det er ingen steder lokalisert partier som har tilfredsstillende blokkmuligheter for regningsvarende størrelser for flis- og plateproduksjon. Dette gjelder også de uomvandlede deler av anortosittområdene.

Det er kun til uttak av småblokk til spesielle formål og gate/kantstein at eventuell drift på anortositten for natursteinsformål kan ha noen muligheter. Det vil nok også da i såfall være den hvite varianten som er mest attraktiv. Slik produksjon vil nok først og fremst være avhengig av ideer og initiativ fra enkeltpersoner.

10 SAMMENLIGNING MED ANDRE ANORTOSITTFOREKOMSTER

10.1 Norske forekomster

I Norge opptrer anortosittiske bergarter på flere steder, både på Vestlandet, Østlandet og i Nord-Norge. Ved Egersund ligger et anortosittkompleks som er jamnstort med feltene i Indre Sogn. Karakteristisk for Egersunds-anortositten er en mer albittisk plagioklas (An_{40-55}), og den er således uegnet for syreprosesser. Aluminiumsinnholdet er følgelig også lavere, mens silisium-innholdet derimot er høyere, og denne typen kan muligens egne seg bedre for kontinuerelig elektrolyse for utvinning av både Si og Al. Egersundsfeltet ligger i tillegg gunstigere til for eventuell uttak av pukke i stor skala, pga. kortere transportavstand til eksportmarkedet. Det er heller ikke kjent andre norske anortosittforekomster av betydning som har syreløselig kvalitet, tilsvarende de i Indre Sogn.

10.2 Andre land

Anortositt er en bergartstype som opptrer relativt vanlig innenfor geologiske provinser med intrusive bergarter, og er således tilstede i mange land på alle kontinenter (Ashwal 1993). Det opptrer anortositter med alle varianter av An-innhold og en rekke forekomster har anortositt med syreløselig anortositt.

Vi har ikke noen fullgod oversikt over kvaliteter og utbredelse av disse men det synes klart at brorparten ikke kan måle seg med Gudvangen-Mjølfjellfeltet når det gjelder en samlet vurdering av faktorer som syreløselighet, mengde mørke mineraler, homogenitet, volum, infrastruktur og nærhet til sjøtransport. Mange relevante forekomster ligger f.eks. langt fra kysten, og til dels avsides i forhold til eksisterende veger. Så langt, kjenner vi ikke til noen enkeltforekomster som er på høyde med Sogn-Voss anortositt-komplekset, men som eksempler på anvendbare utenlandske anortositter kan nevnes en forekomst i Canada og en på Grønland.

Canada:

Shawmere Anorthosite Complex som er undersøkt av Polymer A/S, ligger omkring 200 km nord for de store sjøene på grensen mellom USA og Canada. An-innholdet ligger mellom 60 og 85% (Dolan et al 1991), og Polymer har konstatert at deler av denne forekomsten er av egnet kvalitet for råstoffuttak til en syrebasert industriprosess.

Grønland:

Ved Søndre Strømfjord på vestkysten av Grønland ligger en relativt stor anortosittforekomst med An-innhold på omkring 80%, som ved testing i Anortal-prosjektet viste seg å være meget lett syreløselig. Al₂O₃-innholdet er omkring 34-35% (Qvale 1982a). Forekomstens homogenitet og variasjoner i innhold av mørke mineraler er ikke kjent, men forekomsten synes å være en aktuell konkurrent til våre forekomster.

For mer detaljerte informasjoner om utenlandske anortositter henvises til Qvale (1982a) og Ashwal (1993).

11 NÆRØYFJORDEN LANDSKAPSVERNOMRÅDE OG ANORTOSITTRESSURSENE.

Anortositten i **Nærøydalen og sørover mot Mjølfjell** vurderes å være en nasjonal ressurs som danner et meget godt råstoffgrunnlag for en rekke nåværende og fremtidige bruksområder. Ingen av de øvrige anortosittprovinser i Indre Sogn kan på noe vis måle seg med de kvaliteter og volumer som er tilstede i dette området.

Betydelige arealer av topp kvalitet anortositt ligger her innenfor grensene til det foreslåtte Nærøyfjorden landskapsvernopråde. Spesielt må nevnes **Hyllandfeltet** som i det omfattende Anortalprosjektet ble valgt ut som et av de best egnede arealer for industrielle formål (se kart i vedlegg 12 og 4). *Dette prosjektet hadde en total kostnad på over 60 millioner kroner, hvorav halvparten var offentlige midler.* Innenfor verneområdet ligger også det meget gode **Øvsthusdalfeltet**, som ble lokalisert som et aktuelt uttaksområde for selskapet Polymer AS.

Nyere kjerneboringer nede i Nærøydalen viser at god anortosittkvalitet opptrer i store deler av det 1000 m høye fjellmassivet på sørsiden av dalen. En kombinert drift der forekomsten drives under jord fra dalbunnen og opp til et dagbrudd i Hyllandfeltet kan være en aktuell fremtidig ressursmulighet for drift i større skala.

Det poengteres at en eventuell dagbruddsdrift oppe på fjellplatået vil måtte plasseres tilbaketrasket fra dalen og selve bruddområdet må selvsagt utformes mest mulig skånsomt i forhold til å minimalisere, eller aller helst forhindre, et eventuelt innsyn fra dalen og fjorden. Dette er forhold som har meget høy prioritet ved moderne gruveplanlegging, og i Norge er det utformet flere gode forslag på skjermet uttak i forbindelse med planlegging av store pukkverk langs kysten.

Norges geologiske undersøkelse tilrår sterkt at grensa for Nærøyfjorden landskapsvernopråde justeres slik at de ressursmessig meget viktige deler av anortositten sør for Nærøydalen blir holdt utenfor verneområdet.

Nyere undersøkelser indikerer at også fjellene Jordalsnuten og Sivlesnipa på nordsiden av Nærøydalen har større mengder anortositt av god kvalitet. Forekomstene vil fortrinnsvis egne seg best for underjordsdrift, men feltene bør anmerkes i verneplanen på en slik måte at muligheten for driving av ventilasjonssjakter opp til overflaten ikke vil bli forhindre. En alternativ løsning med dagbruddsuttak i *bakre deler av Sivlesnipa* bør nok også legges inn som en mulighet om utskipning i Framfjord aktualiseres, og det er da nødvendig å forskyve grensa litt nærmere mot Nærøydalen.

I Anortal-prosjektet var stedet *Telsnes* 2 km ut i Nærøyfjorden påtenkt som utskipningssted og endestasjon for transporttunnelen fra Hylland/Kaldafjellfeltet, og NGU vil overfor Sogn og

Fjordane fylkeskommune påpeke at dette stedet ligger innenfor grensa til foreslått verneområde (se vedlegg 12).

De anortositt-områdene som ligger innenfor det foreslåtte landskapsvernområdet på begge sider av Aurlandsfjorden har gjennomgående for høyt innhold av mørke mineraler til å være spesielt attraktive for industriformål. Ved **Jordalskardet-Steindalen** midtveis mellom Dyrdal og Fresvik ligger imidlertid et område med moderat innhold av mørke mineraler og relativt brukbar syreløselighet. Dette feltet kan være et alternativt sjønært område for mulige fremtidige råstoffinteresser. Feltet deles i to av den foreslåtte vernegrensa, og det bør her foretaes en mindre grensejustering slik at grensa blir liggende på sydsida av feltet.

12 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

Indre Sogn og Voss har meget store arealer av anortosittiske bergarter men kun mindre deler av disse består av regulær anortositt med mindre enn 10% mørke mineraler. Det meste av områdene har en god del mer mørke mineraler - svarende til gabbro-anortositt og anortositt-gabbro og er således mindre interessante for industrielle formål. Brorparten av de kjente bruksområder betinger nemlig et råstoff med høyt aluminiuminnhold og lite jern. Og dette viser seg i praksis også å være sammenfallende med de viktige utvelgelseskriterier for syreløselig anortositt. Bortsett fra hvit pukk er derfor områder med lite mørke mineraler og lettløselig anortositt også velegnet for prosesser som ikke er basert på syreopløsning.

Anortositten i Gudvangen-Mjølfjell massivet står i en særstilling i forhold til de øvrige anortosittområder i Indre Sogn. Store deler av dette massivet har meget god anortositt som kan egne seg for en rekke ulike anvendelsesområder. Varierende innhold av mørke mineraler og gabbroide ganger medfører imidlertid at det også innen dette området er visse partier som er mer velegnet enn andre.

I Anortalprosjektet omkring 1980 ble således to områder for stor dagbruddsdrift lokalisert i høyfjellspartiene sør for Nærøydalen. Dette er lokalitetene Hyllandfeltet ut mot Nærøydalen og Kaldafjellfeltet sør for Øvsthusdalen. Hver av disse feltene har påviste reserver på over 100 mill. tonn av utmerket anortosittkvalitet.

Nyere kjerneboringer nede i Nærøydalen har påvist at den gode syreløselige kvaliteten strekker seg helt ned til dalbunnsnivå, og muliggjør underjordsdrift i ulike skalaer på de ubegrensede kvanta som er til stede innover og oppover i fjellsiden fra Glashammaren.

Også i fjellene Jordalsnuten og Sivlesnipa på nordsida av Nærøydalen er det sterke indikasjoner på at god lettløselig anortosittkvalitet for mulige fremtidige underjordsalternativer er tilstede. Supplerende kjerneboringer er påkrevet.

Partier egnet for dagbruddsdrift av middels størrelse er lokalisert i øvre deler av Øvsthusdalen. Også her er kvaliteten meget god.

I Brandsetdalen reduserer forsvarets arealer og grunneierinteresser det tilgjengelige areal i et område som for øvrig peker seg positivt ut for middels stor dagbruddsdrift. Et område egnet for uttak til en mindre prøveproduksjon for selskapet Polymer er her lokalisert, men et kjerneboringsprogram må gjennomføres for å avgjøre om råstoff til en permanent produksjonsfase er tilgjengelig.

I Mjølfjellområdet ser det ut til at Forsvarets skytefelt og hytte/friluftsområder vanskeliggjør utnyttelse av alternative felter med god kvalitet egnet for middels stor drift. Borgestad Fabrikker har tatt ut et prøveparti i Grodgjuvet. Området ligger for øvrig relativt langt fra

sjøen. Når NSB skal drive en planlagt tunnel gjennom Rjoandeggi ved Mjølfjell vil god anortositt bli tatt ut fra tunneltraséen og bli tilgjengelig for industriell anvendelse.

I Fyrde-Sleen området sør for Stalheim ligger områder med hvit, omvandlet anortositt av pukk-kvalitet. Dette området vil kunne være et alternativ til forekomstene nede i Jordalsnuten. Det er forøvrig ikke påvist skikkelig lys anortositt i de omdannede partier nær skyvekontaktene ute i Aurlandsfjorden eller på andre lokaliteter i de nordlige anortosittprovinser.

Ingen av anortosittfeltene på begge sider av Aurlandsfjorden er vurdert å ha tilgjengelige lokaliteter med interessante kvaliteter.

Like øst for Fimreite er det lokalisert en ny anortosittforekomst av god syreløselig kvalitet. Den ligger rett ved Sogndalsfjorden og kan egne seg for en liten eller middels stor underjordsdrift.

Ved Jordalsskardet sør for Fresvik opptrer anortositt av moderat kvalitet med hensyn på syreløselighet og andel mørke mineraler. Feltet kan representere et interessant fjordnært alternativt av annen klasse dersom verne/turisme-interesser forhindrer uttak av førstklasses anortositt innenfor Gudvangen-Mjølfjell regionen.

I Kinsedal er det feltet som det var prøvedrift på under krigen, i dag vurdert å være for inhomogent til å kunne sammenlignes med kvaliteter og muligheter i Nærøydal-Mjølfjell massivet. På grunn av sin nærhet til sjøen representerer imidlertid Åsenfeltet et interessant alternativ for anvendelser som ikke har alt for høye kvalitetskrav.

Det planlagte Nærøyfjorden landskapsvernområde dekker med sine forslåtte nåværende grenser sentrale deler av de beste og mest aktuelle deler av den nordlige del av Gudvangen-Mjølfjell-massivet. Både Hyllandfeltet som ble valgt ut som et egnet uttakssted av Anortal og Øvsthusdalfeltet som Polymer har rettigheter på, ligger i sin helhet innenfor verneområdet. NGU anbefaler sterkt at grensa for verneområdet justeres slik at disse feltene blir holdt utenfor verneområdet.

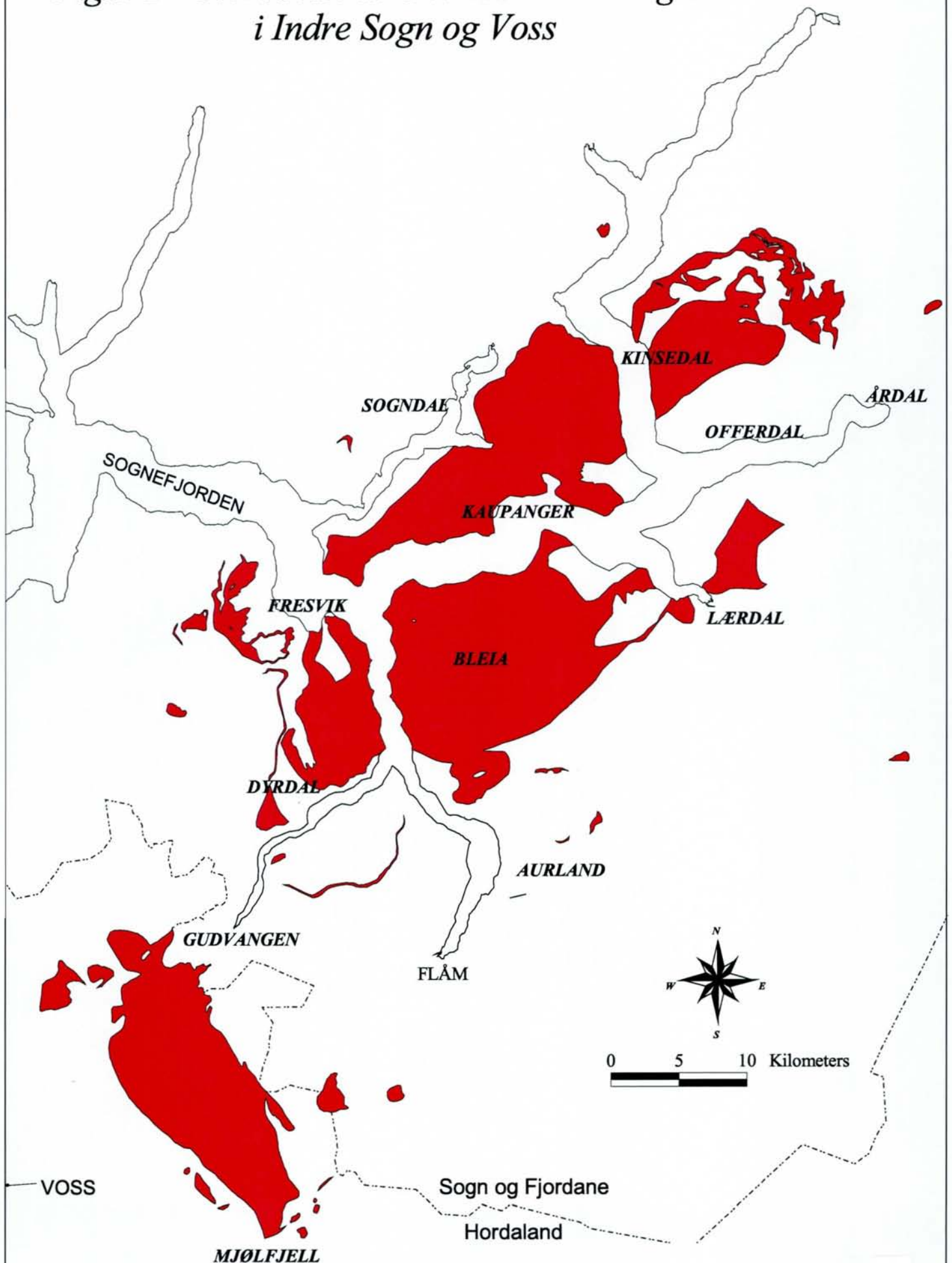
13 REFERANSER

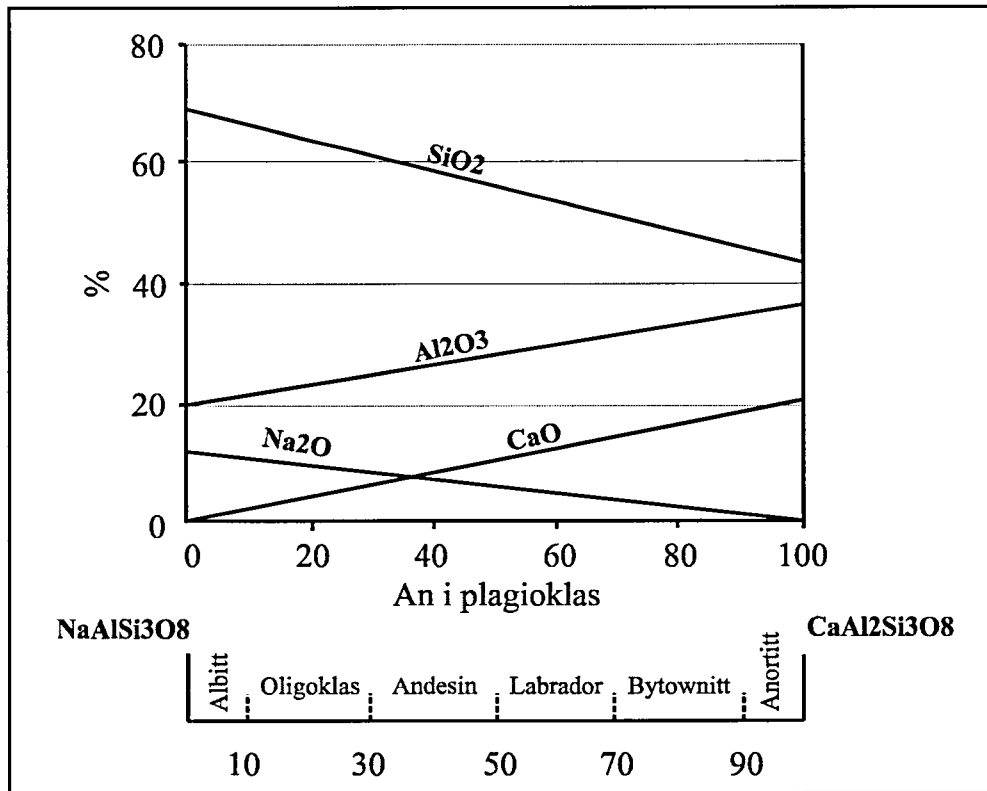
- Ashwal, L. D. 1993: Anorthosites. Springer verlag Berlin Heidelberg.
- Braaten, O. 1991: The Anortal Project in Retrospect. *Ketil Motzfeldt Symposium*, NTH 1991, 25s.
- Bryhni, I. 1977: Berggrunnsgeologisk kart Aurland 1416 IV. M 1:50.000. Preliminær utgave. *NGU*.
- Bryhni, I., Brastad, K. & Jacobsen, V.W. 1977: Jotundekket og dets underlag i Sogn. *NGU rapport 1560/28*. 73 s.
- Bryhni, I. & Brastad, K. & Jacobsen, V.W. 1978: Leikanger. Berggrunnskart 1317 II. M 1:50.000. Foreløpig utgave. *NGU*.
- Bryhni, I. & Brastad, K. 1979: Foreløpig beskrivelse til kartblad Leikanger 1317 II. Mineralogisk-geologisk Museum.
- Bryhni, I. 1979: Kaupanger. Berggrunnskart 1417 III. M 1:50.000. Foreløpig utgave. *NGU*.
- Bryhni, I. 1980: Kaupanger. Foreløpig beskrivelse til det berggrunnsgeologiske kart 1417 III. *NGU rapport*
- Carstens, C.W. 1920: Labradorsaken. *Intern skrivelse for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania / A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Carstens, C.W. 1940: Rapport over befarung av Sogns labradorstensfelter. *Oppdragsrapport til Norsk Hydro*. Arkiv Norsk Hydro
- Carstens, C.W. 1941: Oversikt over de av Norsk Hydro utførte labradorstensundersøkelser i Sogn høsten 1940. *Oppdragsrapport til Norsk Hydro*. Bergarkivrapport NGU nr. 5041.
- Carstens, C.W. 1942a: Ang. Undersøkelser av Sogndalsfeltet.
- Carstens, C.W. 1942b: rapport over Åsen labradorstensfelt i Sogn. *Rapport til Norsk Hydro*.
- Carstens, C.W. 1943: Ang. Åsen labradorstensfelt. *Rapport til Norsk Hydro*.
- Dietrichson, B. 1919: Rapport over reise til Sogn 22/28 juni 1919. *Intern rapport for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania / A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Dolan, M., Hains, D.H. and Ash, D.R. 1991: High-Alumina Rocks in Ontario; *Ontario Ministry of Northern Development and Mines, Industrial Minerals Background Paper 10*, 130p.:
- Dugstad, P. 1965: Geologiske undersøkelser i området omkring Stalheim i kommunene Voss og Aurland. *Hovedoppgave Univ. I Bergen*.
- Dugstad, P. 1975: Anorthositter i Indre Sogn. Intern rapport til Elkem A/S.
- Gamlem, K. og Lyng, S. 1974: Anorthosite as a Ceramic Raw Material: II. *Trans. Brit. Ceram. 73, No.5, 4p*.
- Goldchmidt, V. M. 1917: Oversikt over norske labradorstensforekomster og deres anvendelighet. *Rapport til Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania. Bergarkivrapport NGU nr. 5387.
- Goldschmidt, V.M. 1919. Aluminium av norske raastoffe. *Tidsskrift for norsk grubedrift*, nr. 3, 12. aargang. Kristiania

- Graff, P.R. 1981: Sluttrapport fra Kjemisiden i Anortal-samarbeidet. Analyse og utluting av anortositter. *NGU rapport 1865*, 115s.
- Haaland, L. 1995: Norsk patent redder Berntsens CO₂-mål. *Teknisk Ukeblad nr. 40 1995*.
- Horneman, Chr. H. S. 1919a: Promemoria vedrørende Labradorfelterne i Sogn. *Intern rapport for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania / A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Horneman, Chr. H. S. 1919b: Rapport over Kinsedalsfeltet. *Intern rapport for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania / A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Horneman, Chr. H. S. 1920: Promemoria vedrørende Kappadalsfeltet. *Intern rapport for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania / A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Hødal, J. 1945: Rocks of the anorthosite kindred in Vossestrand. *Norsk geologisk tidsskrift, bind 24*
- Institutt for energiteknikk 1998: Gjenvinning og bruk av CO₂ som råstoff. Framstilling av Al₂O₃ og CaCO₃. Prosjektforslag til KLIMATEK-programmet. 12 s.
- Jensen, R. 1977: Rapport over råstoffundersøkelsene - 1976. Anorthosittforekomster i Sogn. *Rapport Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket A/S*. 85 s.
- Jensen, R. og Wanvik, J.E. 1978: Rapport over råstoffundersøkelsene 1977. Anorthosittforekomster i Sogn. *Rapport Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket*. 160 s.
- Jensen, R. og Wanvik, J.E. 1979: Rapport over råstoffundersøkelsene 1978. Anorthosittforekomster i Sogn. *Rapport Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket*. 111 s.
- Jensen, R. og Wanvik, J.E. 1980: Rapport over råstoffundersøkelsene 1979. Anorthosittforekomster i Sogn. *Rapport Grubedivisjonen, Elkem-Spigerverket*. 91 s.
- Lutro, O. 1988: Lustrafjorden. Bergrunnsgeologisk kart 1417 I - m 1:50.000. Beskrivelse. *Norges geologisk undersøkelse, skrifter 83*.
- Lyng, S. and Gamlem, K. 1974: Anorthosite as a Ceramic Raw Material: I. *Trans. Brit. Ceram. 73, No.5*, 5p.
- Nicolaysen, N. 1920: Rapport over undersøkelsesarbeidet i Labradorfelterne i Sogn sommeren 1920. *Intern rapport for Det norske Aktieselskab for Elektrokemisk Industri*, Kristiania/ A/S Labrador. Arkiv: Norsk Hydro ASA.
- Ottesen, J. 1977: Geologisk kartlegging av anorthositt-massivet mellom Nærøydalen og Øvsthusdalen, Sogn. Rapport Elkem-Spigerverket A/S. Arkiv NGU.
- Ottesen, J. 1979: Anorthositt-massivet mellom Øvsthusdalen og Kvitaherbyrgje. Resultat av innsirklingen i 1978-sesongen. *Intern rapport Elkem-Spigerverket A/S*, 8s. Arkiv NGU.
- Stubergh, J. 1994: Fremstilling av silisium og aluminium i en kontinuerlig prosess. *Kjemi nr 6, 7, 8 og 9 1994*.
- Qvale, H. 1979: Geologiske undersøkelser av anorthositt-forekomster rundt Mjølfjell i Hordaland. *NGU rapport 1560/26*.
- Qvale, H. 1980: En oversikt over Jotundekket anorthositt-forekomster i Nordhordaland og Indre Sogn. *NGU Rapport nr. 1560/27*.

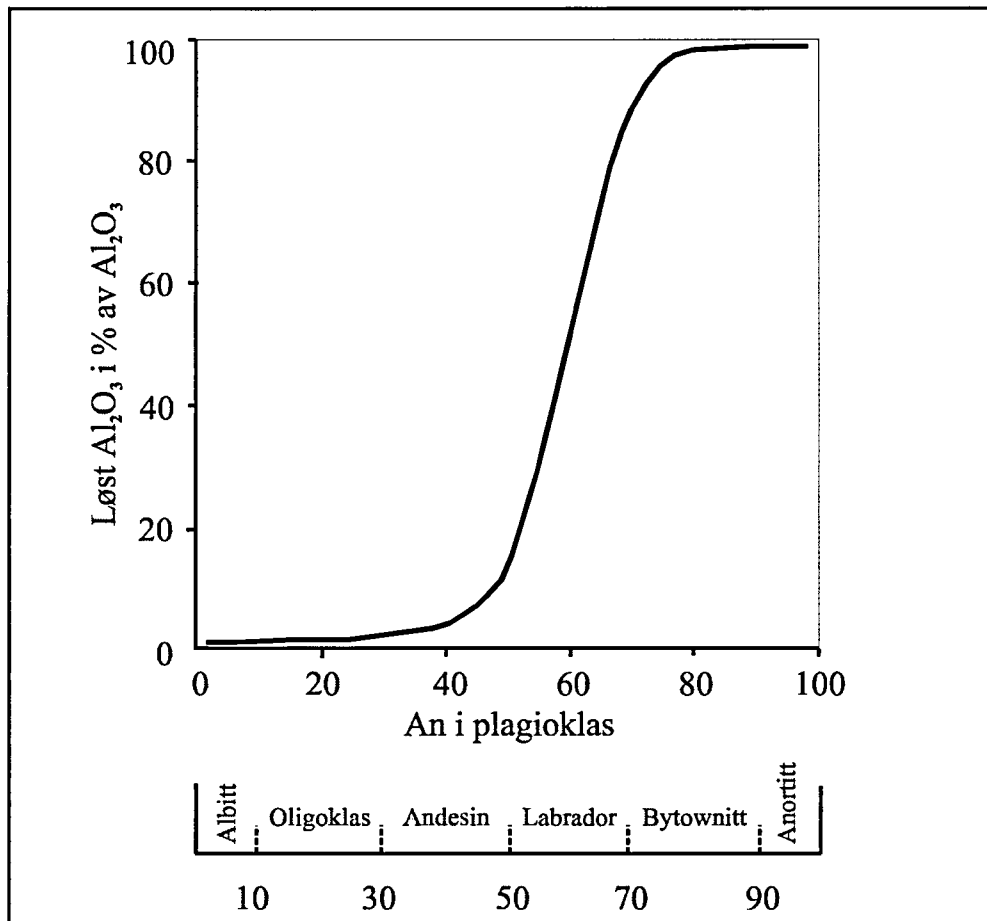
- Qvale, H. 1981: Berggrunnsgeologisk kart, Ulvik 1316 II, M 1:50.000.. Foreløpig utgave. *NGU*.
- Qvale, H. 1982a: Jotundekketts anorthositter: Geologi, mineralogi og geokjemi. *NGU rapport 1560/32*.
- Qvale, H. 1982b: Anorthositts løselighet i syre. *NGU rapport 1560/33*, 127s.
- Qvale, H. 1982c: Bibliografi: Al-prospektering i norske anorthositter. *NGU rapport 1560/34*.
- Rekstad, J. 1905: Fra Indre Sogn. *NGU*, 43 nr. 7.
- Wanvik, J.E. 1981: Malmgeologisk oppsummering over I/S ANORTAL's råstoffundersøkelser av anorthositt i Voss og Indre Sogn. *Intern rapport Elkem*, 121s.
- Wanvik, J.E. 1990: Geological investigations of anorthosite in Voss 1989 for A/S Polymer. *NGU report 89.134*. 23 p.
- Wanvik, J.E. 1993: Geologisk undersøkelse av Jordalsnuten anortosittgruve. *NGU rapport 92.261*. 80 s.
- Wanvik, J.E. 1994: Anortosittundersøkelser ved Mjølfjell for Borgestad Fabrikker. *NGU rapport 93.099*, 20 s.
- Wanvik, J.E. 1995: Anortositt som naturstein ved Fyrde gård i Voss kommune. *NGU rapport 95.023*.
- Wanvik, J.E. 1996: Anortosittundersøkelser i Indre Sogn og Voss. Foreløpig oppsummerende rapport fra de geologiske undersøkelser fram til høsten 1995. *NGU rapport*.
- Wanvik, J.E. 1997: Kjerneboringer i Glashammaren og Jordalsnuten, Nærøydalen Aurland kommune. *NGU rapport 97.038*. 58 s.

*Figur 2 Utbredelse av anortosittiske bergarter
i Indre Sogn og Voss*

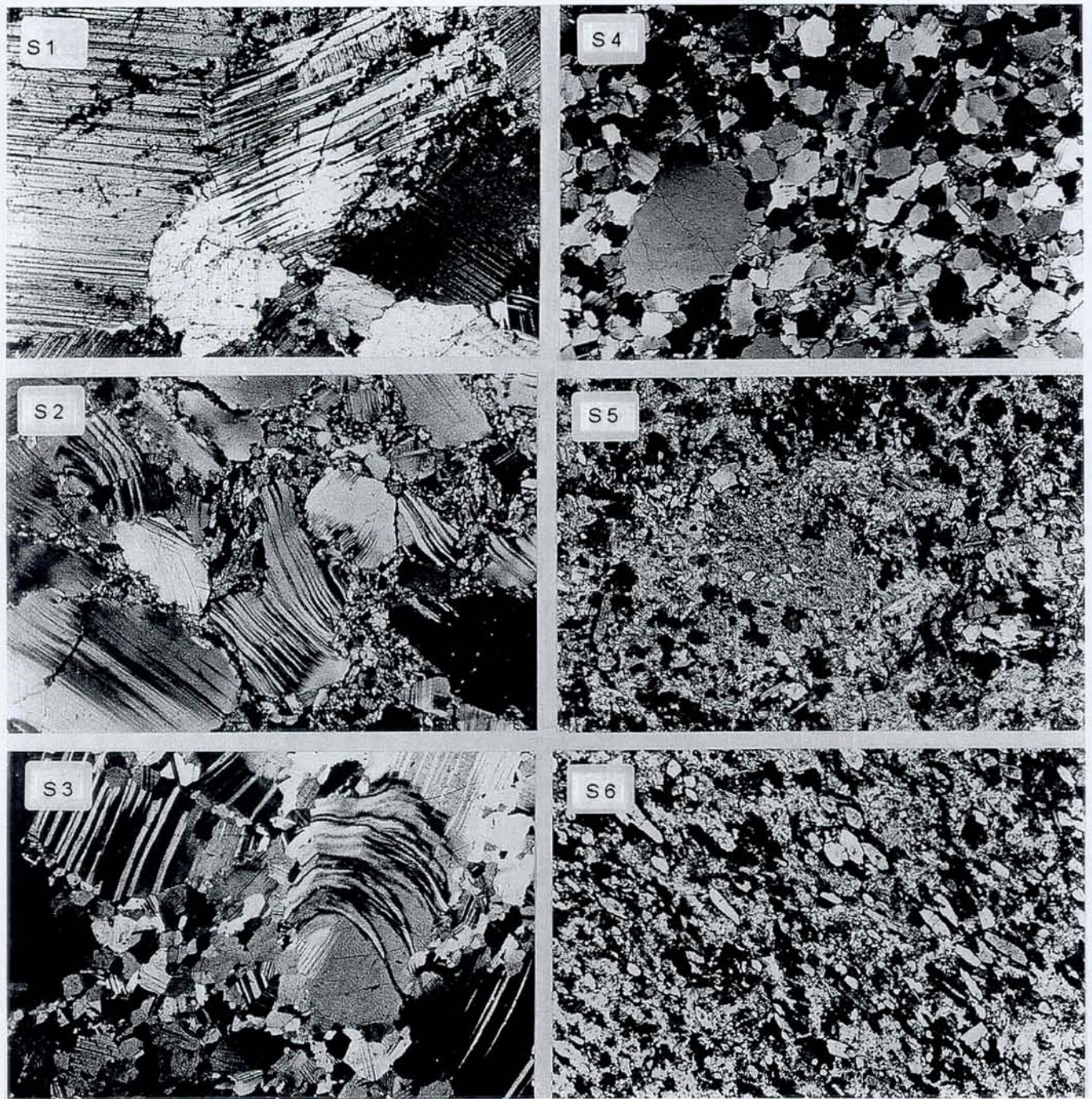




Figur 3 Variasjoner i hovedelementer for plagioklasmineraler

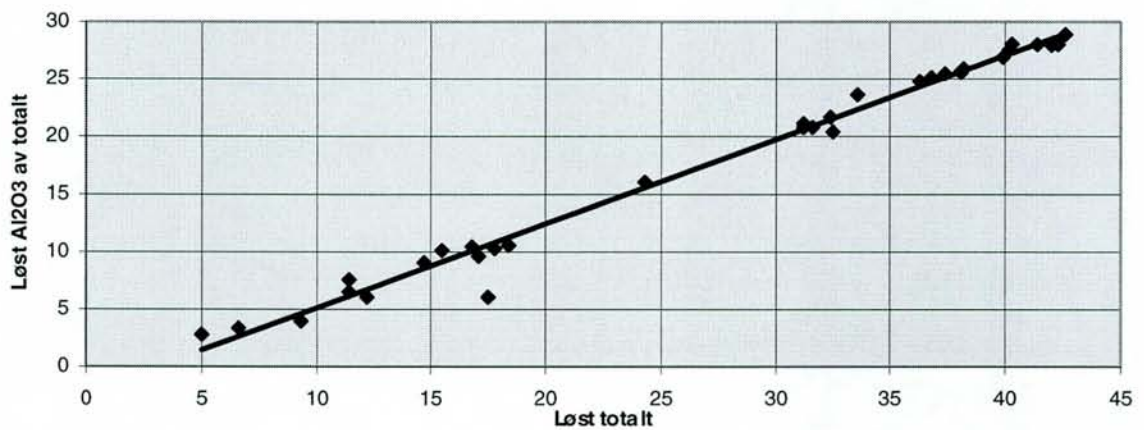
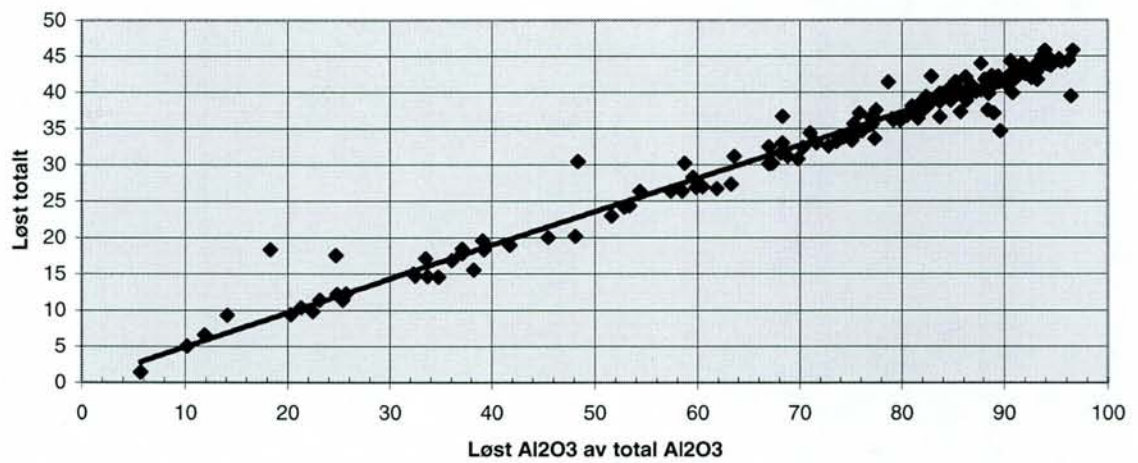
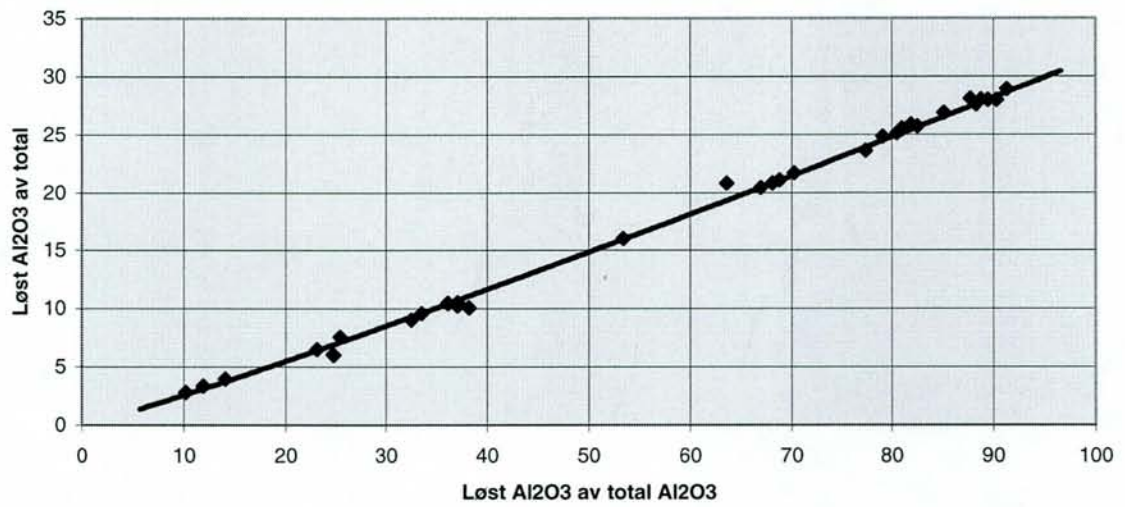


Figur 4 Løselighetskurve for plagioklasmineraler



Figur 5 Stadier i omvandling av bytownitt til epidot-oligoklas (Bryhni 1977)

Tynnslip-bildene S1 til S3 viser primære plagioklaskorn som ved deformasjon får bøyde tvillinglameller og randlig nedknusning. S4 viser fullstendig rekrystallasjon. Bilde S5 og S6 viser saussurittisert anortosit der den opprinnelig basiske plagioklasen har reagert med vann og blitt brutt ned til et aggregat av surere plagioklas, epidot, biotitt, kloritt og muskovitt.



Figur 6 Diagrammer som viser forholdet mellom ulike måter å angi syreløseligheten.



Figur 7 Flekket anortositt fra Kaldafjell-feltet



Figur 8 Spettet anortositt i Hyllandfeltet som viser retningsorientering



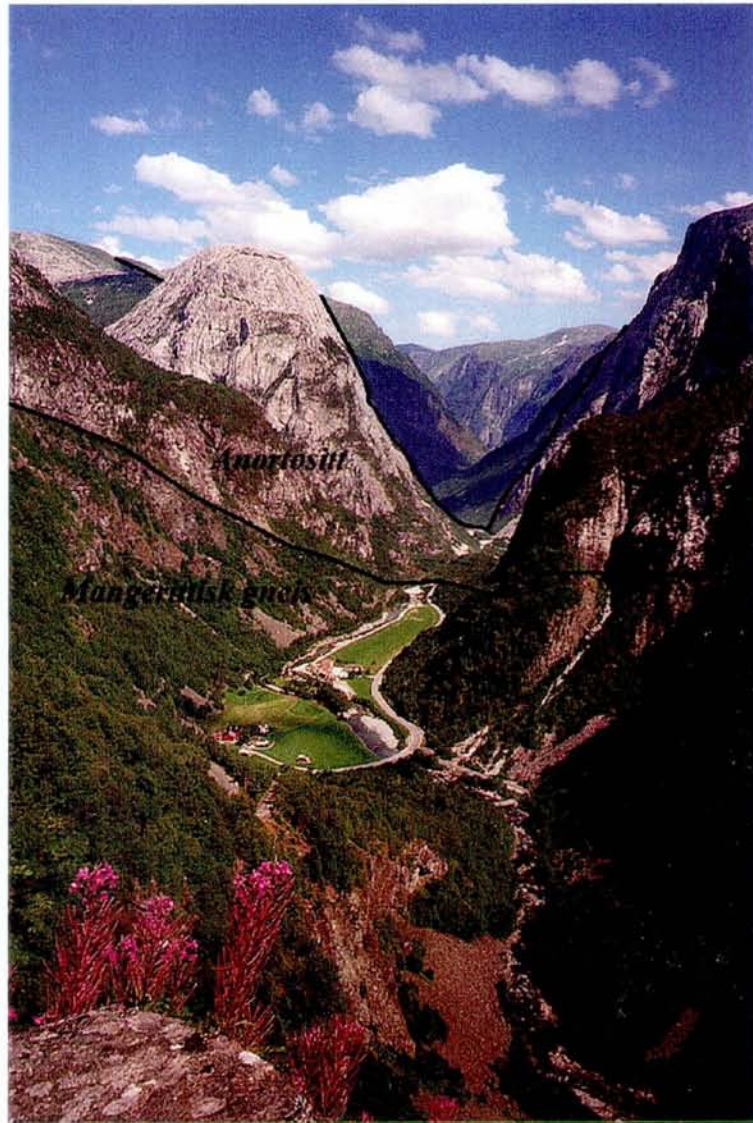
Figur 9 Forgneiset anortositt, Hyllandfeltet



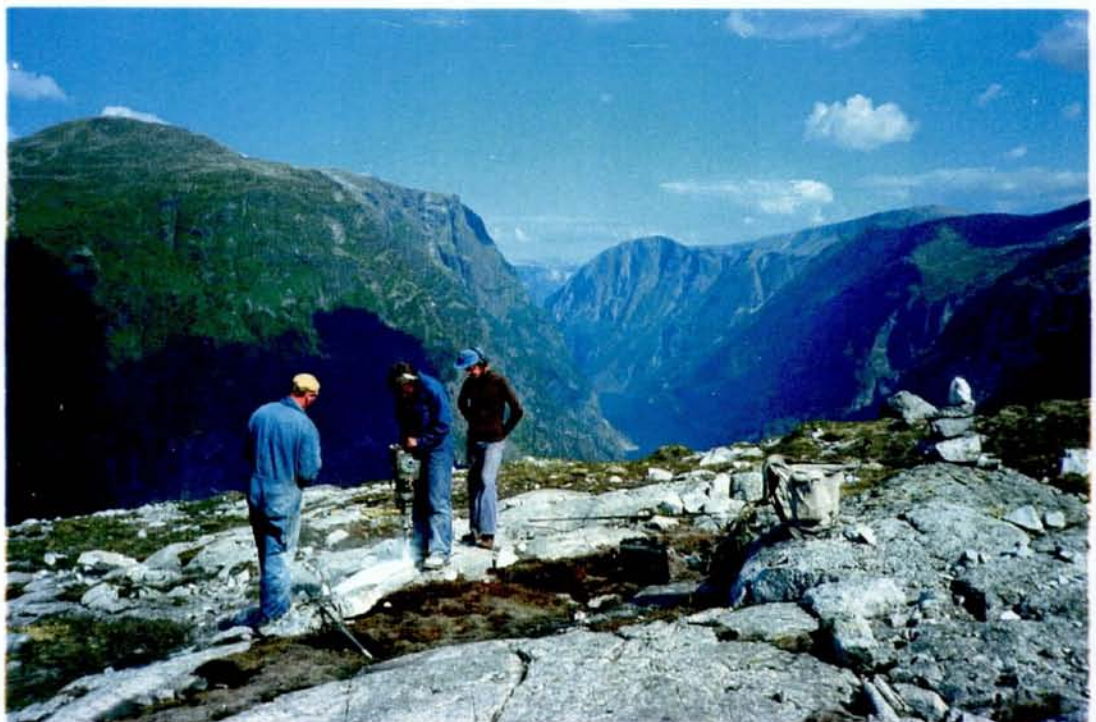
Figur 10 Anortositt-gabbro, vest for Lærdalsøyri



Figur 11 Utsnitt av kartblad Mjølfjell (1:25.000) med gabbroide ganger (i svart) inntegnet innenfor godt blottlagte partier sør for Øvsthusdalen i Gudvangen-Mjølfjell massivet.



Figur 12 Nærøydalen, sett fra Stalheim



Figur 13 Hyllandfeltet. Prøvetaking 1977 med Nærøyfjorden i bakgrunnen.



Figur 14 Kjerneboring, Kaldafjellet 1979, retning Oppheim



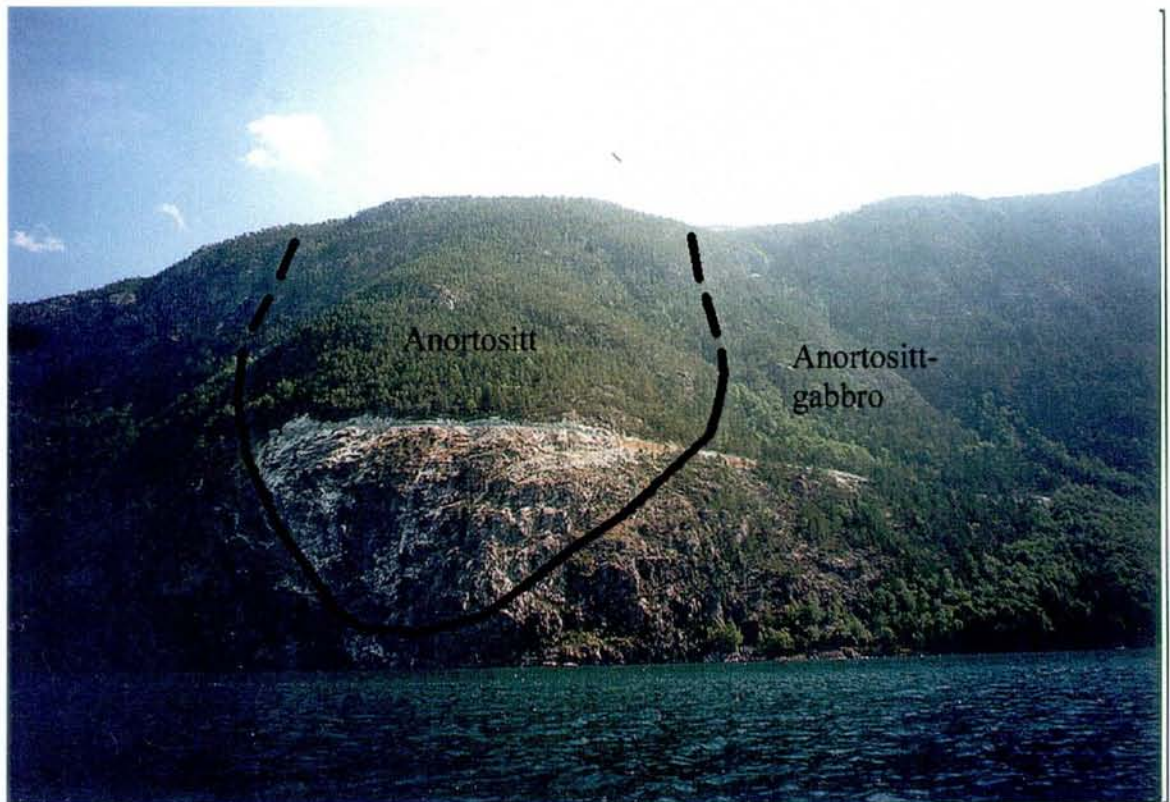
Figur 15 Øvsthusdalen anortosittfelt, sett mot SØ



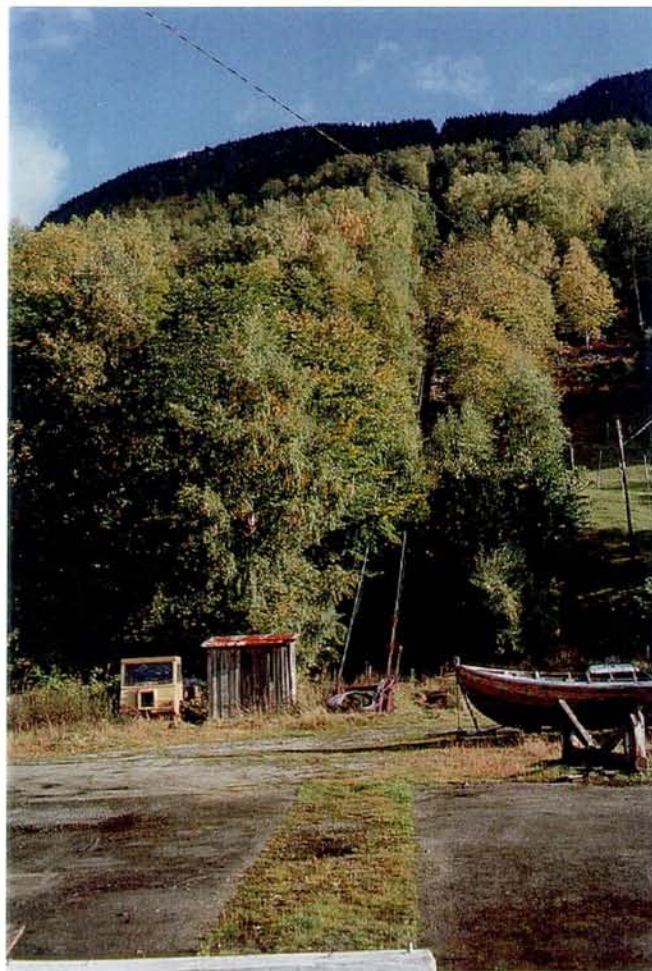
Figur 16 Anortosittfelt i Brandsetdalen



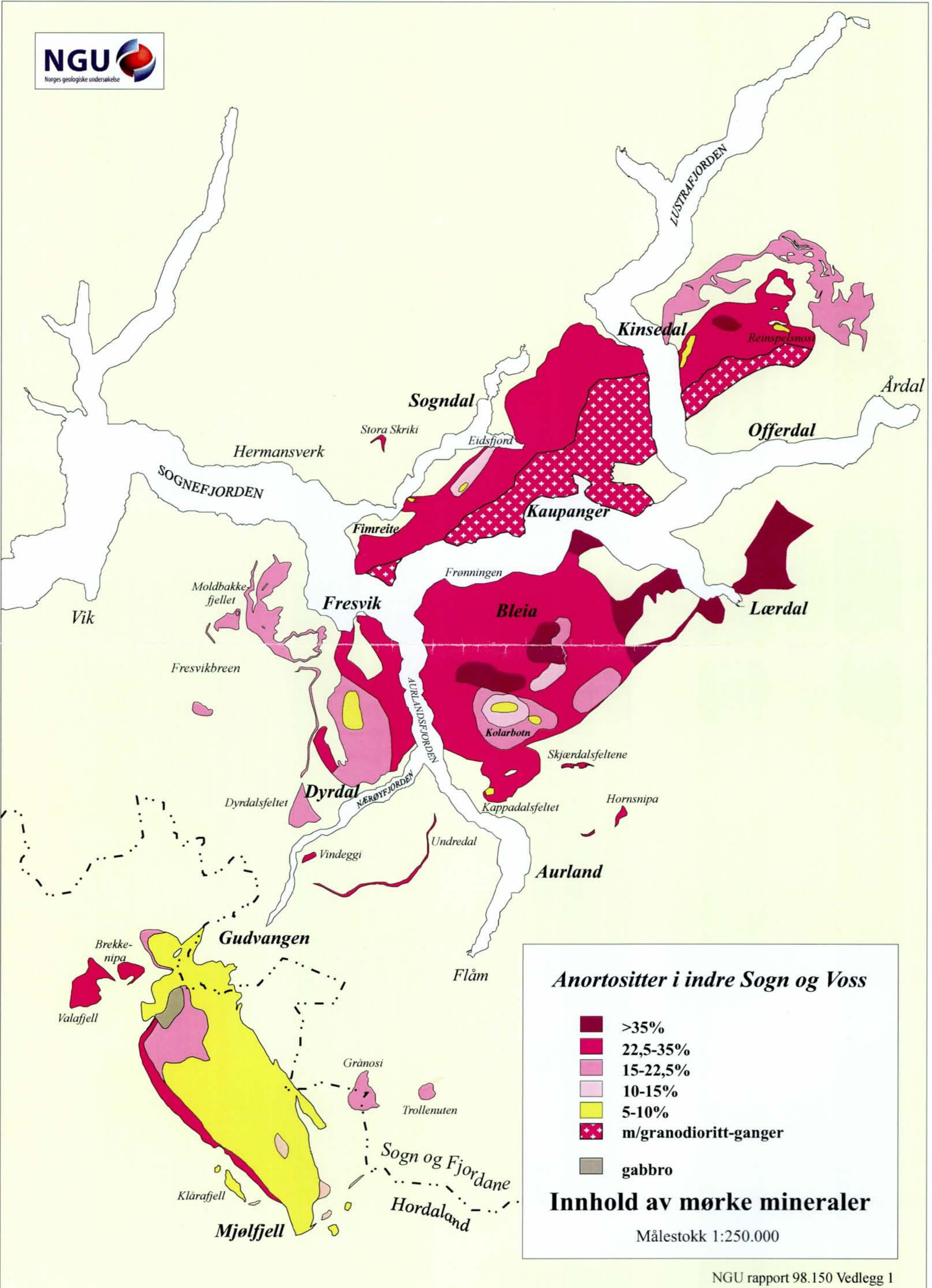
Figur 17 Godt blottet anortositt i Jordalsskardet



Figur 18 Vines ved Fimreite, sett fra andre side av fjorden.



Figur 19 Kinsedal, med rester av transporttrasé

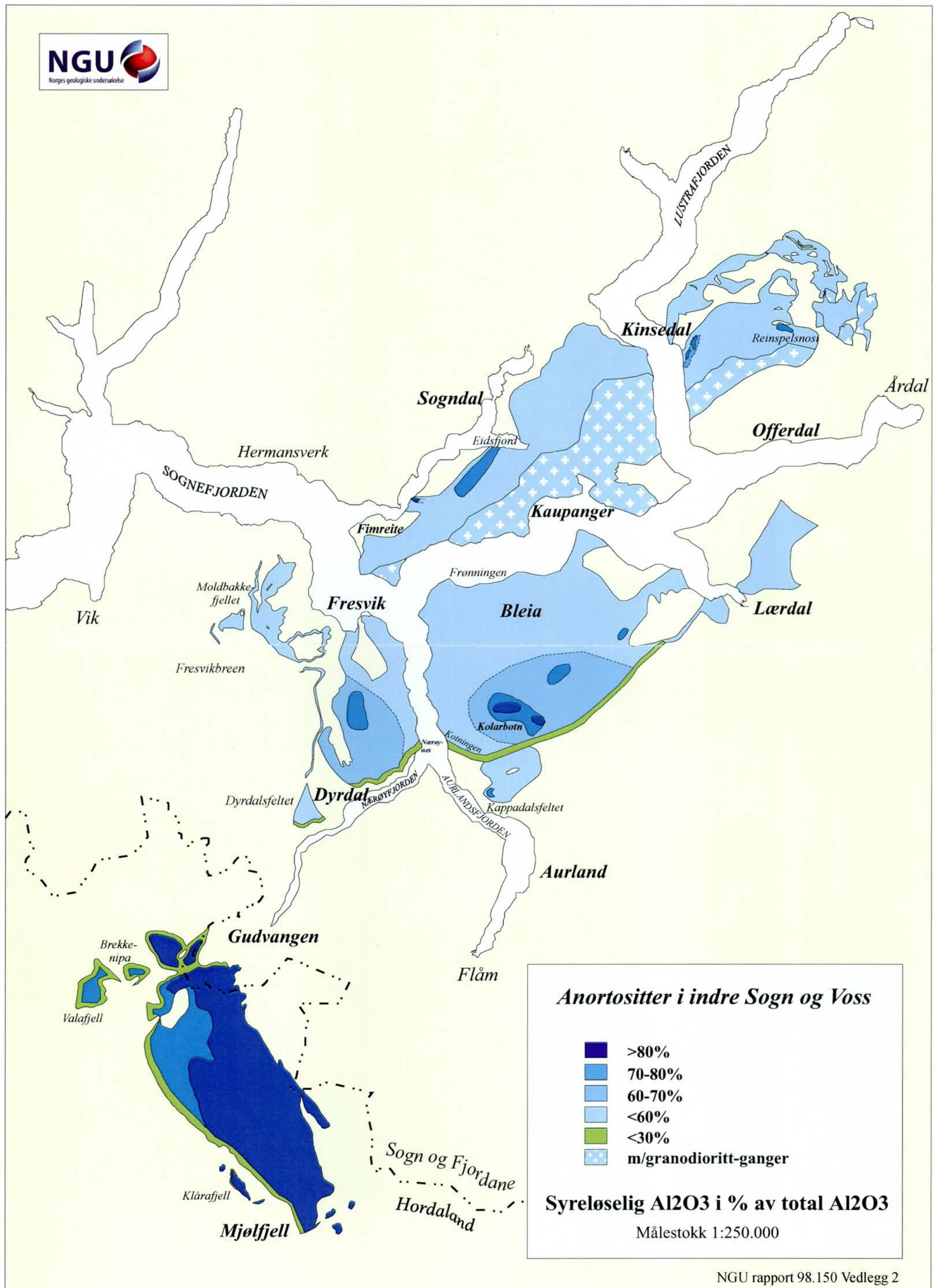


Anortositter i indre Sogn og Voss

- >35%
- 22,5-35%
- 15-22,5%
- 10-15%
- 5-10%
- m/granodioritt-ganger
- gabbro

Innhold av mørke mineraler

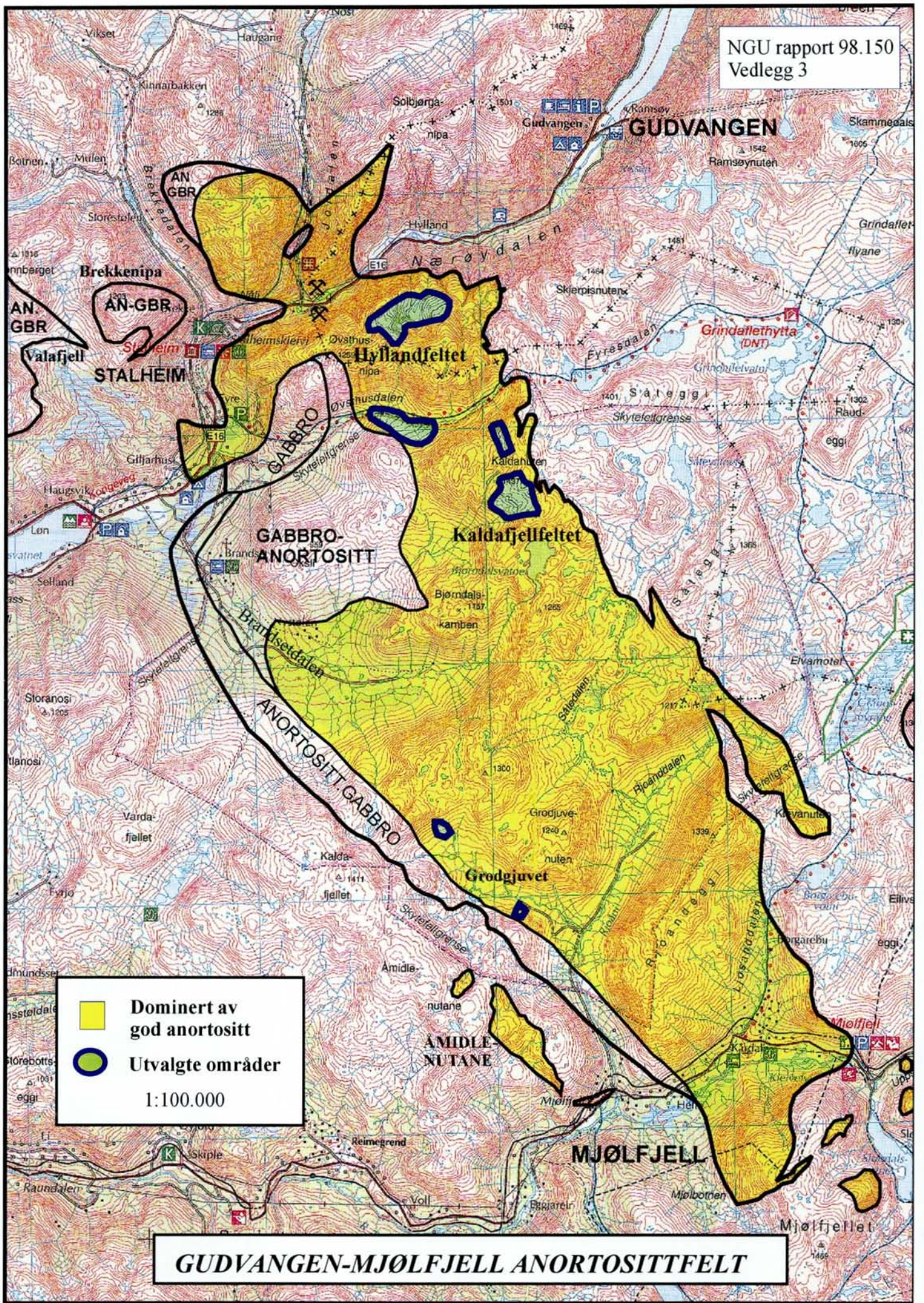
Målestokk 1:250.000





Anortositter i indre Sogn og Voss

- >80%
- 70-80%
- 60-70%
- <60%
- <30%
- m/granodioritt-ganger

Syreløselig Al₂O₃ i % av total Al₂O₃
Målestokk 1:250.000

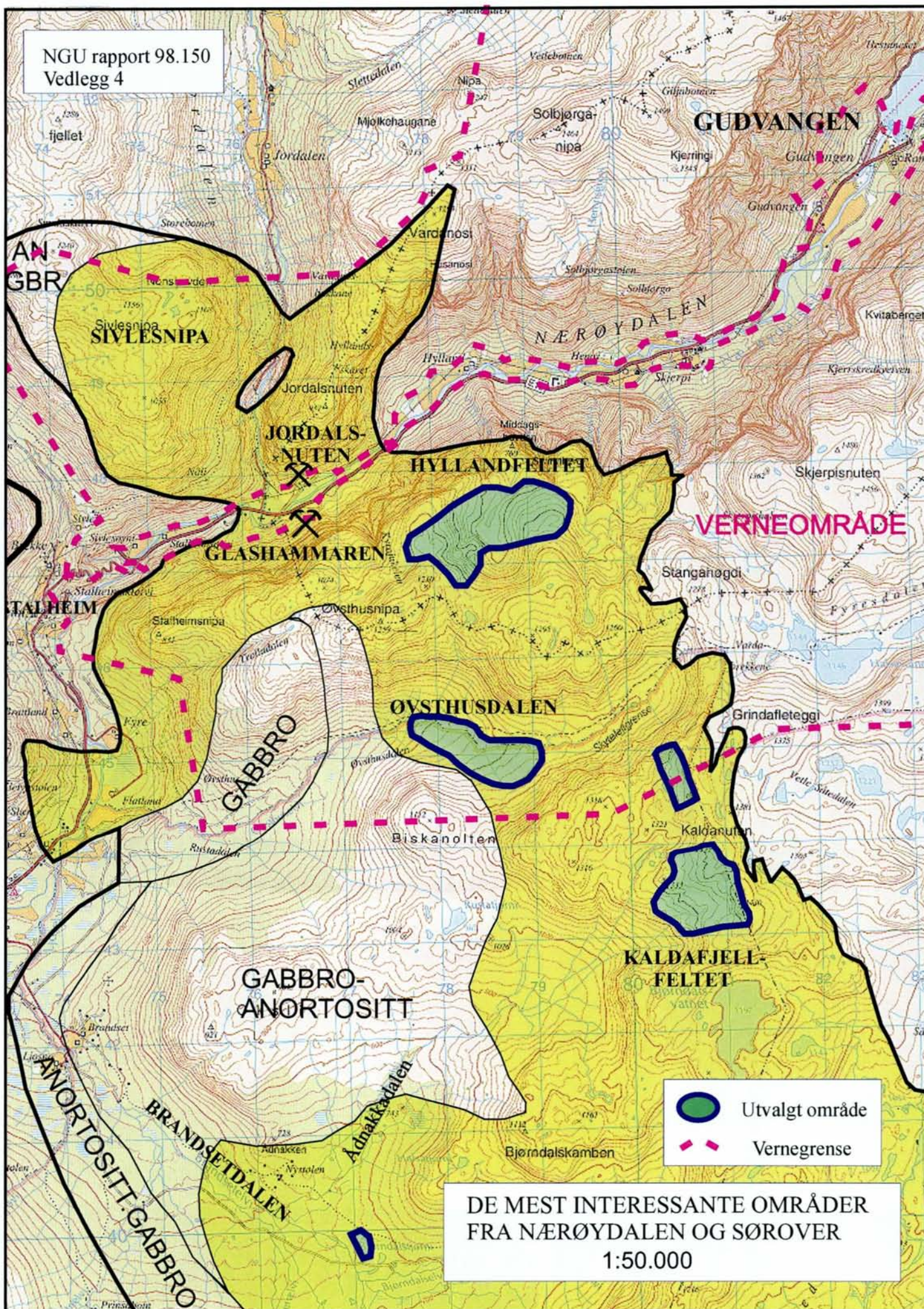


 Dominert av god anortositt

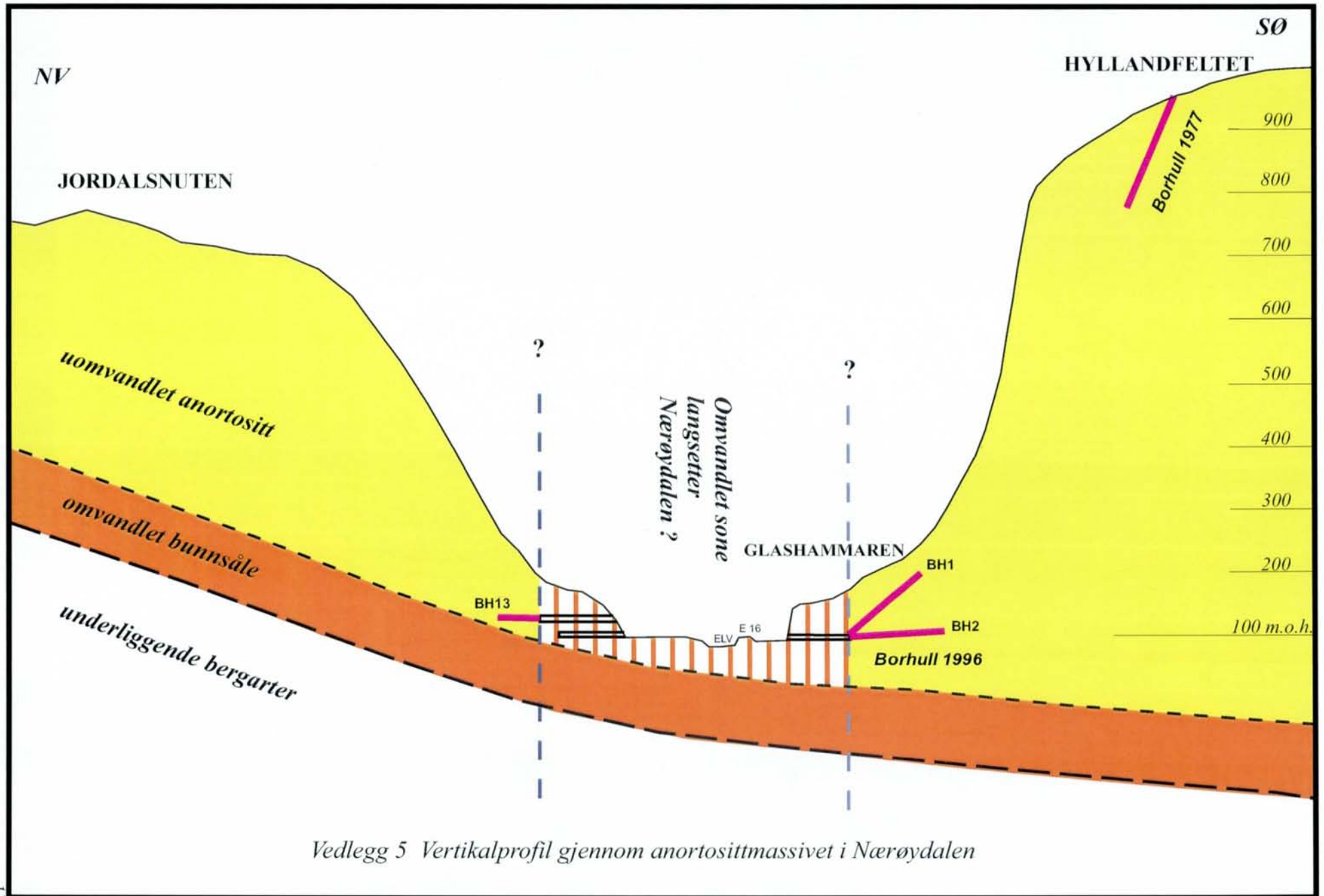
 Utvalgte områder

1:100.000

GUDVANGEN-MJØLFJELL ANORTOSITTFELT



DE MEST INTERESSANTE OMRÅDER
FRA NÆRØYDALEN OG SØROVER
1:50.000



Vedlegg 5 Vertikalprofil gjennom anortosittmassivet i Nærøydalen

NV

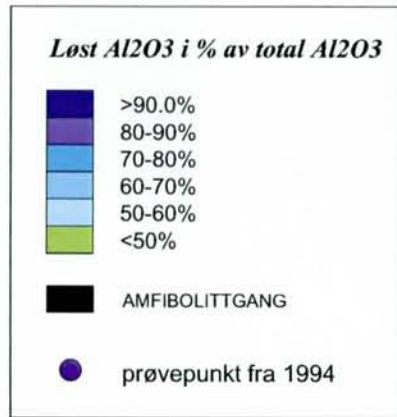
NGU rapport 98.150
Vedlegg 6

90

SØ

Vertikalprofil gjennom Bh1 og Bh2 i Glashammaren, med angivelse av syreløselighet

250 m.o.h.



M = 1:1000

BH1
200 m.o.h.

150 m.o.h.

BH2
100 m.o.h.

42

24

90

GLASHAMMAREN

BERGSKRENT ØST FOR GLASHAMMAREN

90

93

91

82

80

83

83

56

78

71

86

90

84

88

76

85

91

88

42

68

64

85

85

77

72

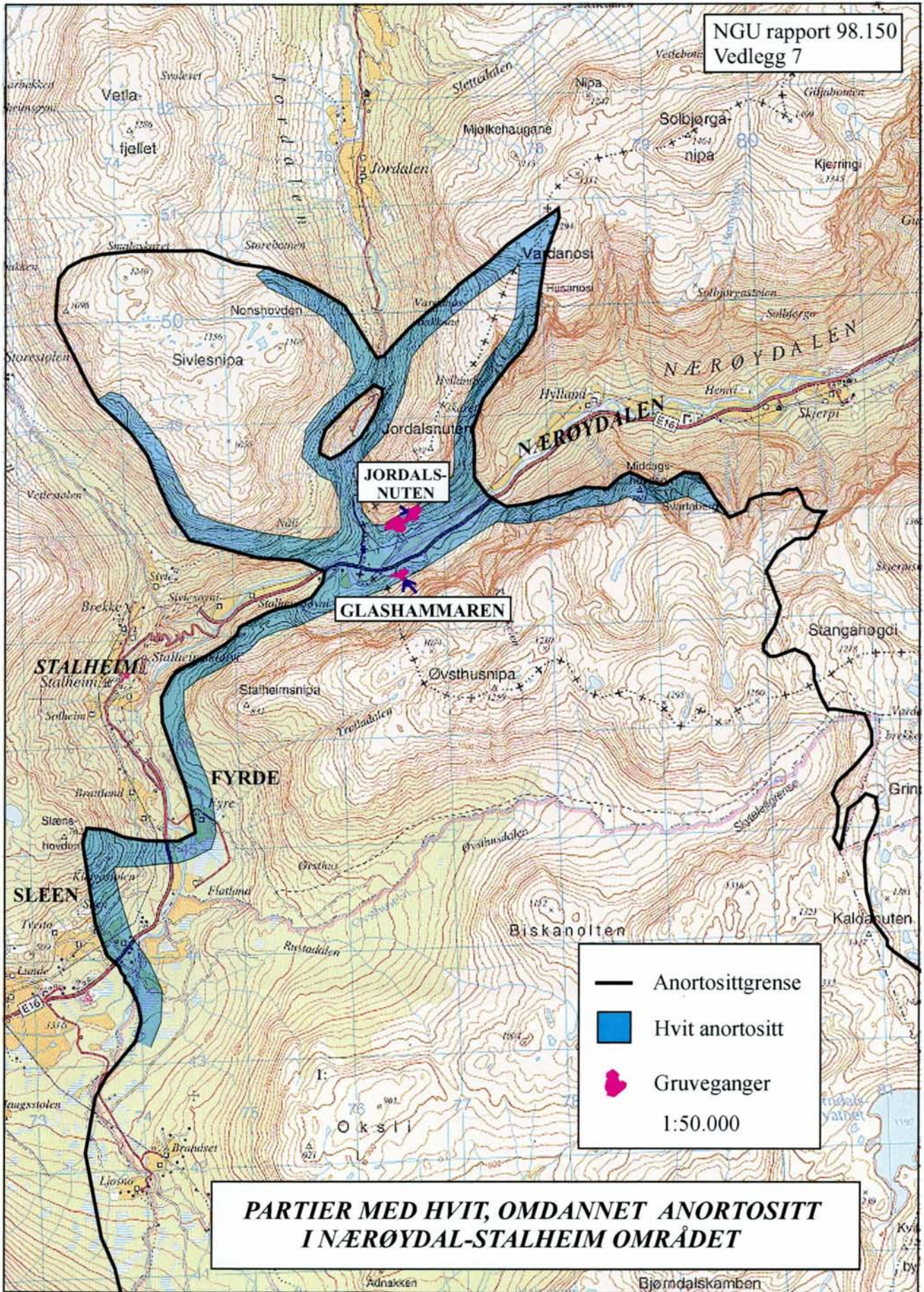
76

72

39

76

BH2



JORDALS-
NUTEN

GLASHAMMAREN

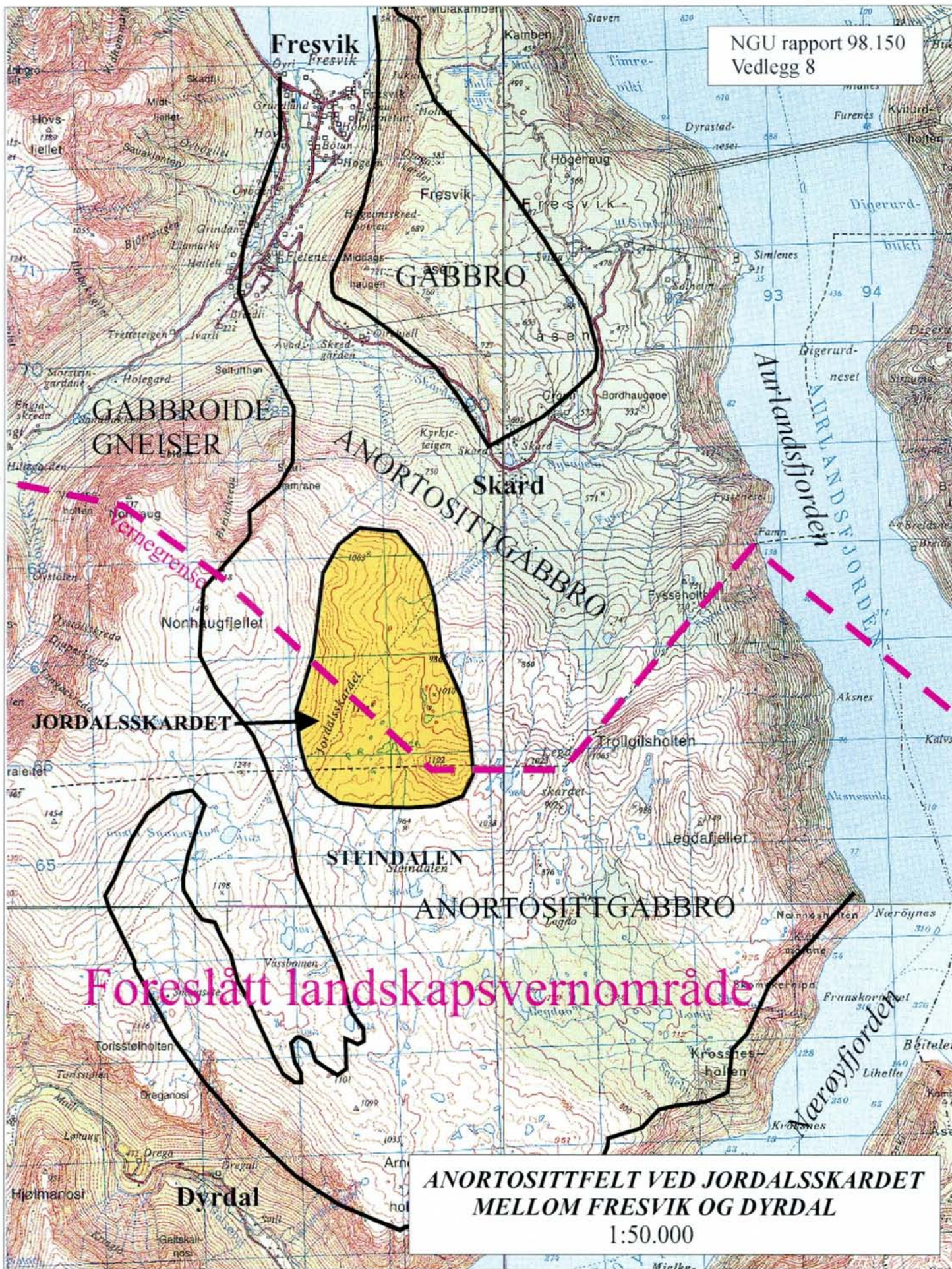
STALHEIM

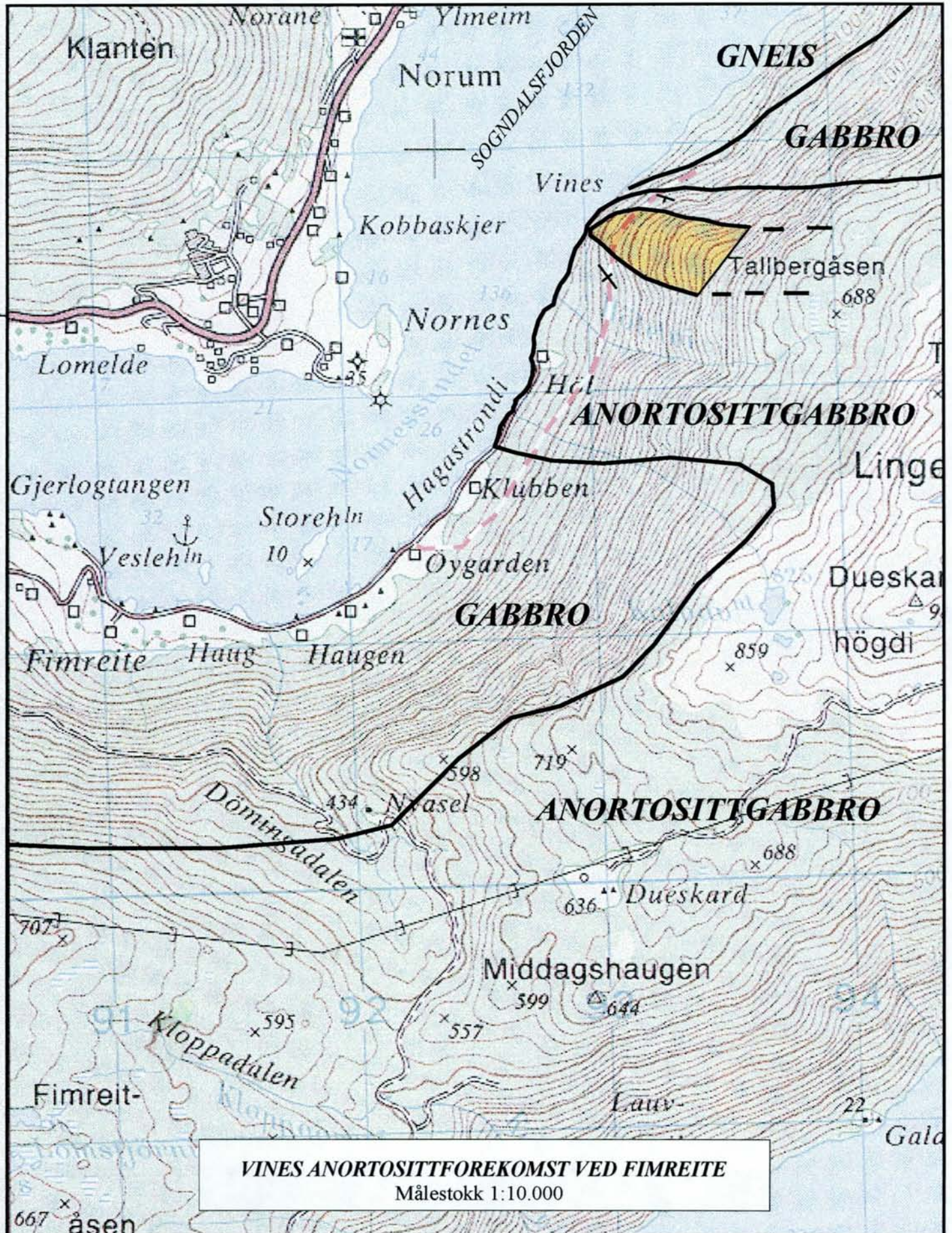
FYRDE

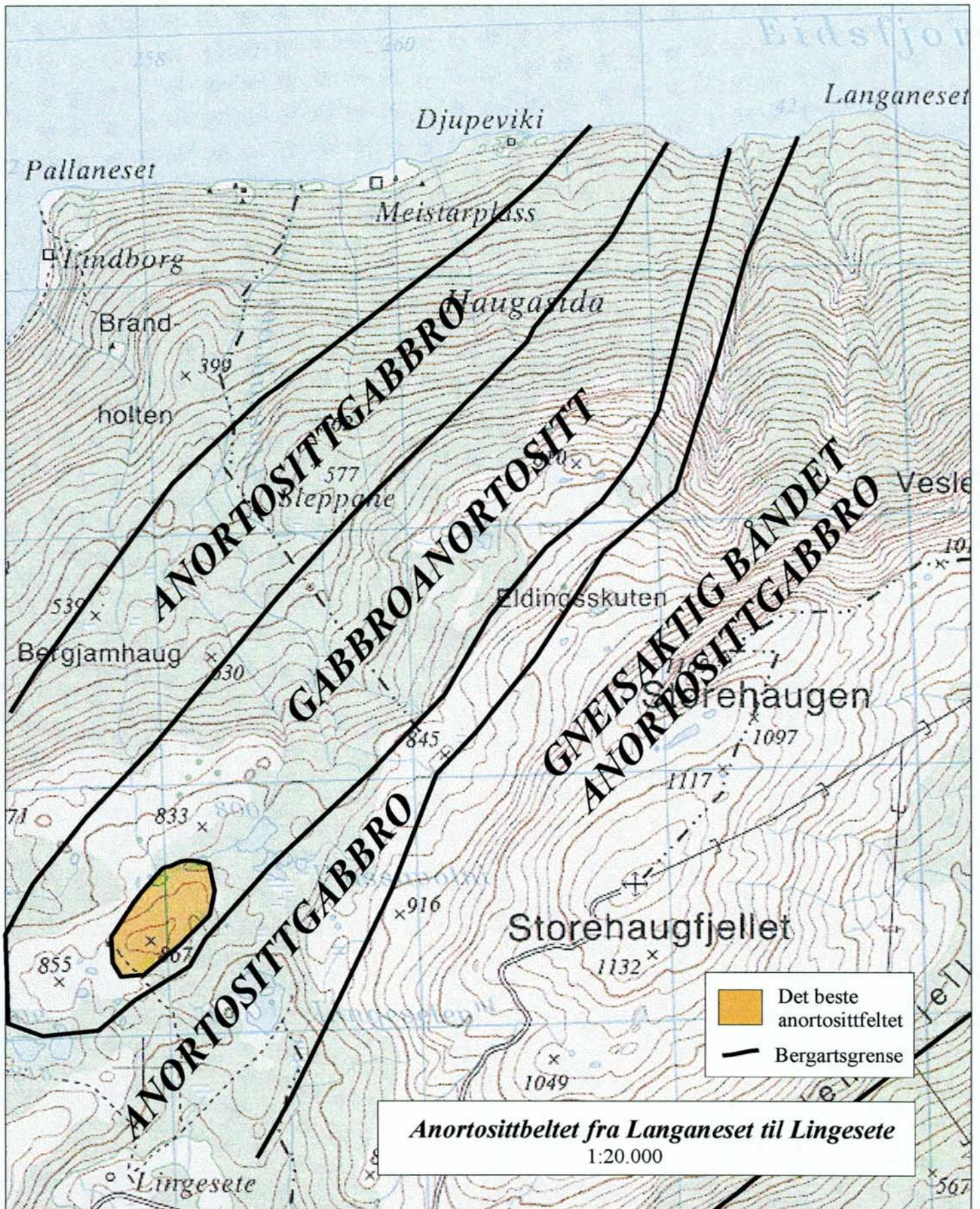
SLEEN

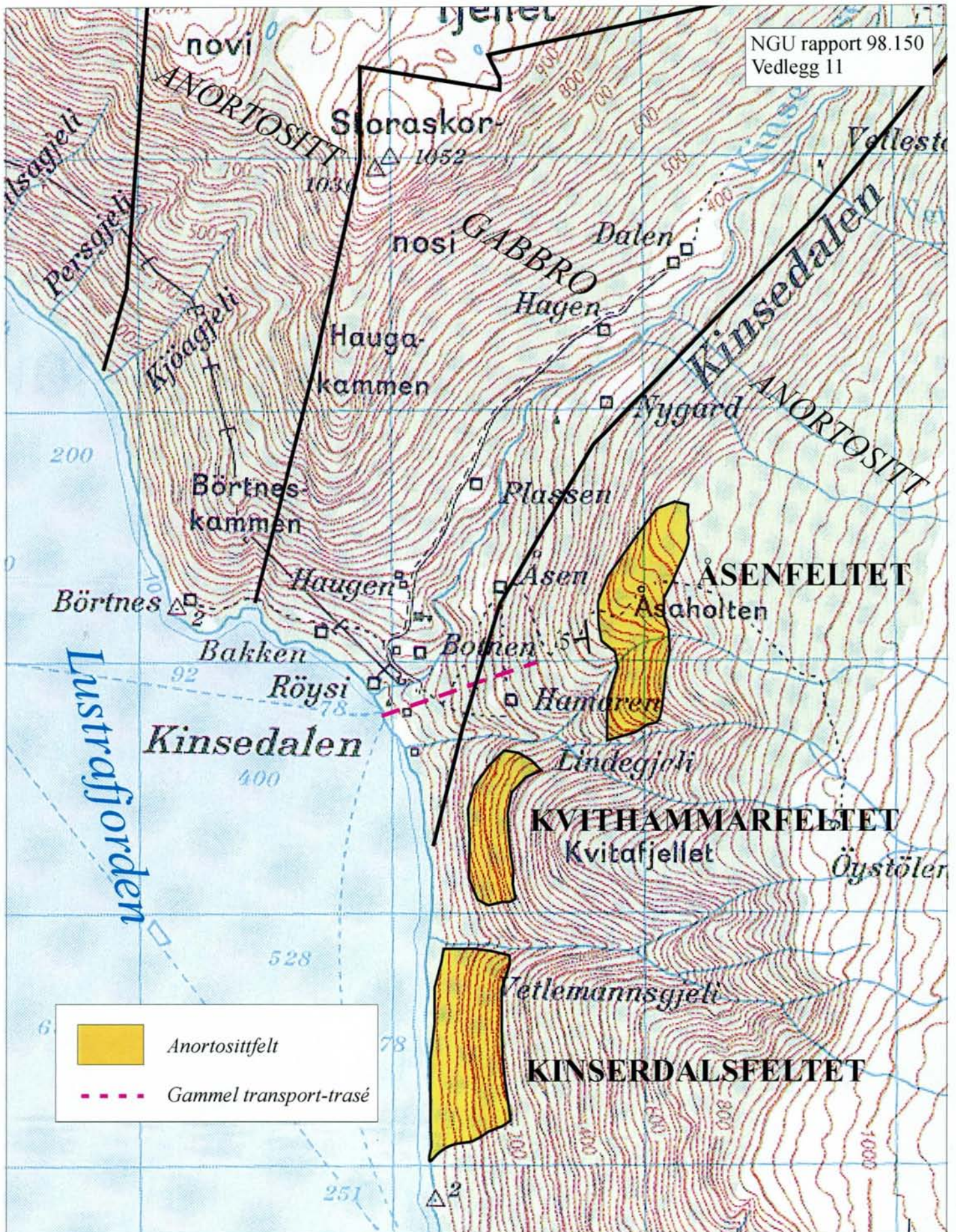
- Anortosittgrense
 - Hvit anortositt
 - ♥ Gruveganger
- 1:50.000

**PARTIER MED HVIT, OMDANNET ANORTOSITT
I NÆRØYDAL-STALHEIM OMRÅDET**

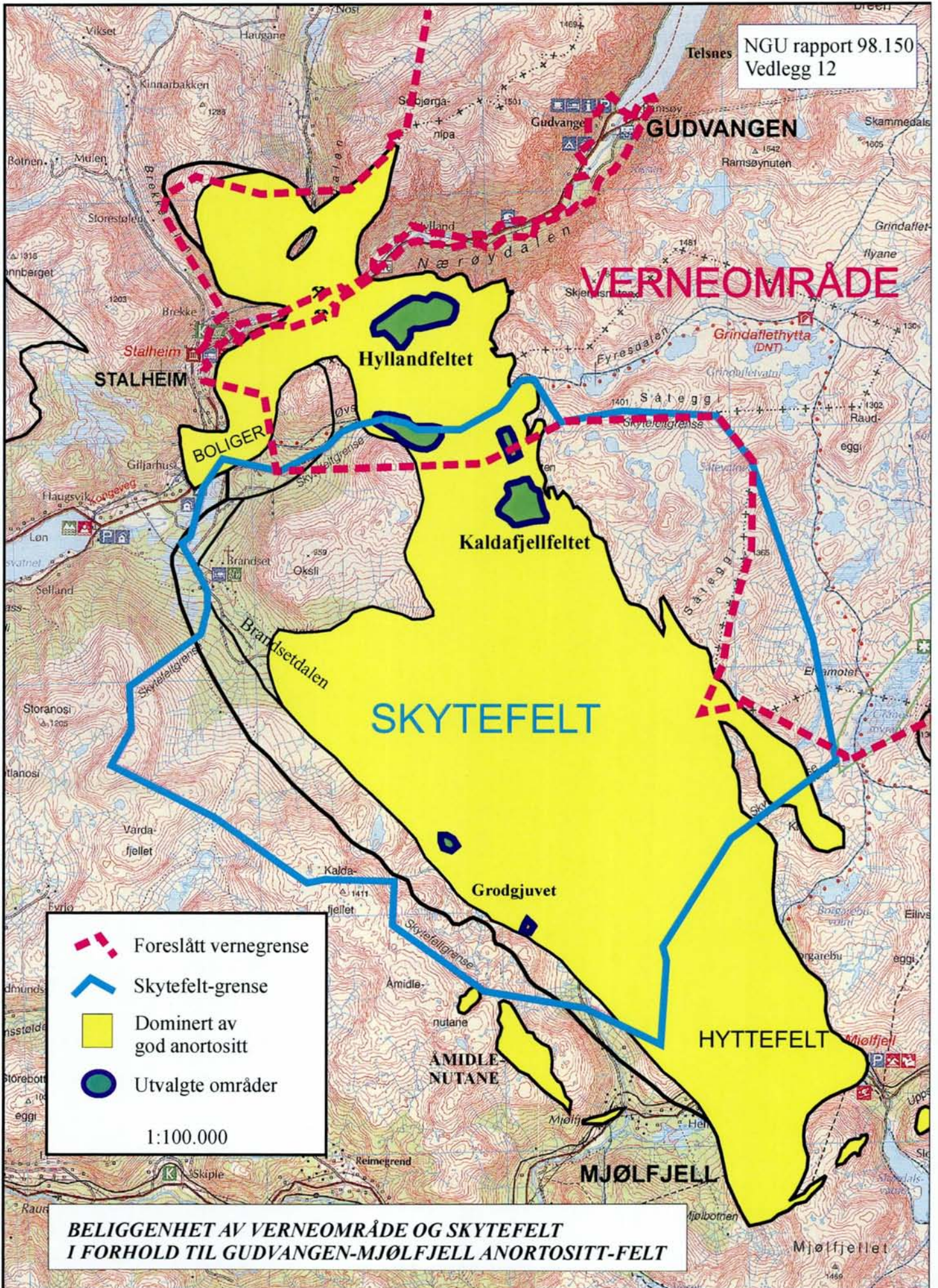












Anortosittfelt i Kinsedal. M=1:20.000



-  Foreslått vernegrense
-  Skytefelt-grense
-  Dominert av god anortositt
-  Utvalgte områder

1:100.000

**BELIGGENHET AV VERNEOMRÅDE OG SKYTEFELT
I FORHOLD TIL GUDVANGEN-MJØLFJELL ANORTOSITT-FELT**

Lokalitet	Bruksområde	Vegtype	St.kl.	Abr.	Sa-verdi	Km	Egnethetsvurdering
Brandset omvandlet	Vegdekke	Spesiell høy trafikkert veg, ÅDT > 15000	-	-	-	-	Uegnet
	"	Høy trafikkert veg, ÅDT 5000-15000	+	-	-	+	Egnet
	"	Middels trafikkert veg, ÅDT 3000-5000	+	+	-	+	Egnet
	"	" , ÅDT 1500-3000	+	+	+	+	Egnet
	"	Lav trafikkert veg, ÅDT < 1500	+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Bærelag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Forsterkningslag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet
Fyrde omvandlet	Vegdekke	Spesiell høy trafikkert veg, ÅDT > 15000	-	-	-	-	Uegnet
	"	Høy trafikkert veg, ÅDT 5000-15000	+	-	-	-	Uegnet
	"	Middels trafikkert veg, ÅDT 3000-5000	+	+	-	+	Egnet
	"	" , ÅDT 1500-3000	+	+	+	+	Egnet
	"	Lav trafikkert veg, ÅDT < 1500	+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Bærelag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Forsterkningslag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet
Jordalsnuten omvandlet	Vegdekke	Spesiell høy trafikkert veg, ÅDT > 15000	+	-	-	-	Uegnet
	"	Høy trafikkert veg, ÅDT 5000-15000	+	-	-	-	Uegnet
	"	Middels trafikkert veg, ÅDT 3000-5000	+	-	-	-	Uegnet
	"	" , ÅDT 1500-3000	+	-	-	-	Uegnet
	"	Lav trafikkert veg, ÅDT < 1500	+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Bærelag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet
	Forsterkningslag		+	+	i.k.	i.k.	Egnet

Vedlegg 13 Egnethetsvurdering til vegformål ut fra norske krav,.

St.kl. - Steinklasse, Abr. - abrasjonsverdi, Sa-verdi - slitasjemotstand, Km - kulemølleverdi, ÅDT - årsdøgntonn (+ tilfredsstillende kravene, - tilfredsstillende ikke kravene, i.k. - ingen krav (krav se tabell 1).

For å få betegnelsen egnet må enten kravene til steinklasse, abrasjonsverdi og slitasjemotstand eller kun steinklasse og kulemølleverdi innfris.

Lokalitet	Land	Bruksområde	Vegtype	LA	PSV	Egnethetsvurdering
Brandset omvandlet	England	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	-	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	-	Uegnet
		"	Lett trafikkert veg	+	-	Uegnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Tyskland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	-	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	-	-	Uegnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Frankrike	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	-	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	-	-	Uegnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
Nederland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	?	-	Uegnet	
	"	Normal trafikkert veg	?	-	? / Uegnet	
	"	Lett trafikkert veg	?	-	? / Uegnet	
	Bære- og forsterkningslag		?	i.k.	? / Egnet	
Fyrde omvandlet	England	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	+	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	-	Uegnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Tyskland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	+	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	+	Egnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Frankrike	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	+	+	Egnet
		"	Normal trafikkert veg	+	+	Egnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
Nederland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	?	-	Uegnet	
	"	Normal trafikkert veg	?	-	? / Uegnet	
	"	Lett trafikkert veg	?	+	? / Egnet	
	Bære- og forsterkningslag		?	i.k.	? / Egnet	
Jordalsnuten omvandlet	England	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	+	-	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	+	Egnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Tyskland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	-	+	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	+	Egnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
	Frankrike	Vegdekke	Motorveg, spesielle krav	-	+	Uegnet
		"	Normal trafikkert veg	+	+	Egnet
		"	Lett trafikkert veg	+	+	Egnet
		Bære- og forsterkningslag		+	i.k.	Egnet
Nederland	Vegdekke	Autobane, spesielle krav	?	-	Uegnet	
	"	Normal trafikkert veg	?	+	? / Egnet	
	"	Lett trafikkert veg	?	+	? / Egnet	
	Bære- og forsterkningslag		?	i.k.	? / Egnet	

Vedlegg 14 Egnethetsvurdering til vegformål i en del Europeiske land.

For å få betegnelsen egnet må alle krav innfris. LA - Los Angelesverdi, PSV - poleringsmotstand, + tilfredsstillende kravene, - tilfredsstillende ikke kravene, i.k. - ingen krav, ? - eventuelle krav ikke kjente