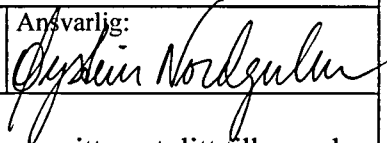


NGU Rapport 96.164

Geokjemiske og mikrostrukturelle trekk som  
ledsager mylonittisering langs den vestlige  
randen av Bindalsbatolitten, Nord-Trøndelag

Rapport nr.: 96.164		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
<b>Tittel:</b> Geokjemiske og mikrostrukturelle trekk som ledsager mylonittisering langs den vestlige randen av Bindalsbatolitten, Nord-Trøndelag			
<b>Forfatter:</b> Roberts, D. & Nissen, A. L.		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU	
<b>Fylke:</b> Nord-Trøndelag		<b>Kommune:</b> Høylandet	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Grong		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1824 IV Kongsmoen	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>		<b>Sidetall:</b> 20	<b>Pris:</b> 80,-
<b>Feltarbeid utført:</b> 1981-84		<b>Rapportdato:</b> 13.12.96	<b>Prosjektnr.:</b> 1889.01
		<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> Et geokjemisk studium er foretatt av endeledd tilknyttet mylonittiseringen av en granitt-protolitt tilhørende Bindalsbatolitten, like øst for Kongsmoen, Nord-Trøndelag. Mylonittiseringen viser flere teksturelle og strukturelle hovedtrekk: (1) en gradvis reduksjon av kornstørrelsen; (2) utvikling av en mylonittisk foliasjon; (3) Minst to omkrystalliseringer av kvarts, og en markert økning i kvartsinnholdet; (4) progressiv utvikling av streng-, åre- og flammepertitt; (5) klorittisering av biotitt; (6) serisittering av plagioklas. Geokjemien av granitten og mylonittene viser at SiO <sub>2</sub> er det eneste oksyd som øker i verdi, ca. 9%, under mylonittiseringen. Alle andre oksyder og alle registrerte sporelement-verdier viser negative endringer. Disse trekk viser at skjær-deformasjonen foregikk ikke som en isokjemisk, lukket-system prosess, men medførte en væske-forhøyet silisifisering. En sammenligning med andre granitt-til-mylonitt skjærsoner globalt, tyder på at Kongsmoen-mylonittiseringen var enten isovolumetrisk eller medførte en liten volumøkning forårsaket av silisifiseringen.			
Emneord: Geokjemi	Berggrunn	Mylonitter	
Granitt	Strukturgeologi	Skjærsoner	
Bindalsbatolitten			

## INNHOOLD

1. INNLEDNING .....	4
2. MYLONITTISERING AV BINDALSGRANITTEN.....	5
3. FELTFORHOLD, MESOSTRUKTURER OG TEKSTURER .....	5
4. PETROGRAFI OG MIKROSTRUKTURER.....	6
5. GEOKJEMI .....	7
6. DISKUSJON .....	8
7. KONKLUSJONER.....	9
8. LITTERATUR .....	10

## FIGURER

Fig. 1: Forenklet kart over området mellom Kongsmoen og Grong.

Fig. 2: Foto som viser serie av sagde og polerte bergartsprøver.

Fig. 3: (a) Blastomylonittisk øyegranitt; (b) Tynnbåndet, helleaktig mylonitt.

Fig. 4: (a) Blastomylonittisk øyegranitt med skjærbånd; (b) Tynnbåndet blastomylonitt.

Fig. 5: Tynnslipsbilder av de samme prøvene som vist i figur 2.

Fig. 6: Plott av konsentrasjonsforholdet mylonitt/ granittprotolitt.

## TABELLER

Tabell 1: Modal sammensetning (vol.%) av prøvene (a-e) avbildet i figurene 2 til 5.

Tabell 2: Hovedkomponenter av 21 porfyrgranitter og 7 mylonitter fra Kongsmoen-området innenfor Helgelandsdekket

Tabell 3: Sporelementer av 21 porfyrgranitter og 7 mylonitter fra Kongsmoen-området innenfor Helgelandsdekket.

## 1. INNLEDNING

Bindalsbatolitten i Nord-Trøndelag og det sydlige Nordland er et av de største granitoide komplekser i de norske kaledonidene. Selv om granitt, granodioritt og tonalitt er de mest alminnelige bergartstyper, finnes det også kvartsdioritt, monzonitt, syenitt og noe gabbro (Kollung 1967, Myrland 1974, Nordgulen 1984, Gustavson 1988, Barnes m.fl.1992, Nordgulen & Sundvoll 1992). Størstedelen av bergartene er høy-K kalkalkaline og metaluminøs (Nordgulen 1993). I nyere tid har radiometriske dateringer med bruk av U-Pb metoden på zirkoner vist at hoveddelen av Bindalsbatolittens plutoner ble intrudert i perioden senordovicium til tidligsilur (Nordgulen & Schouenborg 1990, Nordgulen m.fl.1993).

Batolitten befinner seg innenfor *Helgelandsdekkekomplekset*, en del av den øverste dekkeserien i kaledonidene. I øst ligger Helgelandsdekkekomplekset strukturelt ovenfor enten det lavgrads Gjersvikdekket (øvre dekkeserien) eller Rödingsfjällsdekket (nedre delen av øverste dekkeserien). I vest og sørvest derimot ligger det over middels- til stedvis høygrads, hovedsakelig metasedimentære bergarter av usikker affinitet, men antageligvis en del av den øvre dekkeserien; f.eks. Skjøtingsdekket (Roberts 1989). Denne tektoniske enheten ligger mot vest over proterozoiske ortogneiser som danner en del av den undre dekkeserien i den kaledonske tektonostratigrafien

Strukturelle profiler tatt tvers over deler av den duktil-mylonittiske vestlige kontakten til Bindalsbatolitten i Kongsmoen-området, c.50 km nord for Grong (Fig.1), ble tidligere beskrevet av Roberts m.fl. (1983). Foreløpige undersøkelser i dette området viste til en gradvis forandring av de granitoide bergartene fra den karakteristiske grov-porfyrittisk granitten via en foliert øyegneis til blastomylonitt og ultramylonitt ved bunnen av Helgelandsdekkekomplekset.

Granitten like øst for Kongsmoen ble betegnet som Kongsmoenmassivet av Nordgulen (1992) i en omfattende beskrivelse av batolittens forskjellige plutoner. Egentlig skulle navnet Kongsmoen ikke blitt benyttet fordi selve Kongsmoen ligger utenom granitten, i det lavere Skjøtingsdekket. Her bruker vi det gamle, høyst uformelle navnet "Bindalsgranitten", heller enn å innføre et nytt navn.

I denne rapporten presenterer vi resultater fra et geokjemisk studium som vi foretok delvis med prøver tatt langs et av de tidligere profilene, men også ved hjelp av andre prøver samlet innenfor Bindalsgranitten nær Kongsmoen, fra udeformert grovkornet porfyrittisk granitt til mikrokrystallin ultramylonitt nær bunnen av dekkekomplekset. Som en innledning til diskusjonen av de kjemiske data gis en kort beskrivelse av feltforhold og mesostrukturer, samt petrografien, teksturer og mikrostrukturer fra utvalgte tynnslip.

## 2. MYLONITTISERING AV BINDALSGRANITTEN

Mylonitter utviklet langs den vestlige kontakten til Bindalsgranitten, mot bunnen av Helgelandsdekkekomplekset, ble først nevnt av Kollung (1967), som rapporterte at forskyvninger hadde antageligvis forekommet over bare korte avstander. Han beskrev tektonisering av granitten og dens forvandling til blastomylonitter, og i motsetning til vanlig tolkning trodde han at granitten, og dekket, hadde blitt skjøvet mot vest.

Undersøkelsene av Roberts m.fl. (1983) og kartleggingen av Nissen (1984) påviste derimot en sone av mylonittisering, eller en serie mylonitt-horisonter, som er minst 200 m og muligens opp til 600 m tykk. Den tar form av gjentatte forvandlinger fra massiv porfyrittisk granitt til mylonitt og ultramylonitt. Innenfor granitten, lengst bort fra den østfallende mylonittene, finne man diskrete tynne skjærsømmer eller skjærsoner som anastomoserer rundt lavspenningssoner. Disse øker i antall og forener seg nedover og mot vest, og går over inn i soner av blastomylonitt med linsoide partier av mindre deformert forgneiset granitt innimellom. Videre nedover opptrer en gradvis høyere spenningsfacies, mot de basale mylonitter og ultramylonitter som karakteriserer bunnen av Helgelandsdekkekomplekset i dette området.

## 3. FELTFORHOLD, MESOSTRUKTURER OG TEKSTURER

Lett tilgjengelige profiler, som viser forvandlingen fra en nokså massive granitt via øyegrannitt til blastomylonitt og mylonitt, finnes langs en tømmervei c. 1,5 km sør-sørøst for Kongsmoen (kfr. Roberts m.fl. 1983), og langs en nyere, privat grusvei langs nordsiden av Aunvatnet (Fig. 1).

For å illustrere forvandlingen langs det forholdsvis mørke og overgrodde tømmervei-profilen viser vi fem sagete og polerte håndstykker (Fig. 2). Her ser man en gradvis reduksjon av kornstørrelse fra Fig. 2a til 2e, samtidig med utviklingen av en gjennomtrengende foliasjon. En fargeforandring kan sees også fra svart-hvitt med rosa fenokryster i Fig. 2a til grønnlig gråhvitt i Fig. 2d og 2e.

I Fig. 2a opptrer temmelig rektangulære, tilfeldig orienterte fenokryster av mikroklin opp til 3 cm i lengde. Grunnmassen er ekvigranulær og ikke foliert. I Fig. 2b ser man en begynnende foliasjon, og de opprinnelige fenokryster er nå mindre og til dels avrundet ('subrounded'). I Fig. 2c er bergarten øyegneislignende, og passer godt til betegnelsen øyemylonitt (Sinha Roy, 1977). Kornstørrelse- reduksjonsprosessen under deformasjonen har gått enda videre i Fig. 2d hvor bergarten er en fin-blastomylonittisk tektonitt uten porfyroklaster. I Fig. 2e er den

mikroblastomylonittiske teksturen delvis oppspist av gulgrå ultramylonitt-partier, og bergartens karakter ser helt annerledes ut enn foreldre-bergarten.

Selv om mylonittene i dette området er vesentlig S-tektonitter finner man en strekningslineasjon i de aller fleste bergartene. Øst for Kongsmoen stuper lineasjonen mot øst til nordøst.

Blotninger langs grusveien på nordsiden av Aunvatnet viser fine eksemplarer av forskjellige stadier i deformasjonen av granitten, med flere veldig finkornede, lys grønngrå mylonitt og ultramylonitt-soner (Fig. 3a, b), og til og med pseudotachylitt-årer. Noen av mylonittflatene fører et trinnaktig mønster som viser til skyvebevegelse både mot ca. 060° og mot ca. ØNØ; den sistnevnte ser ut til å være den yngste, og kan tyde på en dreining av skyveretningen, med urviseren, gjennom tid. Hoved-strekningslineasjonen her langs Aunvatnet stuper mot 060-065°.

Kinematiske indikatorer ellers er ikke alltid klare og utvetydige, men de aller tydeligste i øyegranitten og blastomylonittene er representert av skjærbånd (C-S strukturer) som viser til topp-mot-ØNØ skjær-bevegelse (Fig. 4a). Et sterkt deformert amfibolittbånd innenfor en sone med tynnbådede blastomylonitter viser også til en østlig rettet skjærbevegelse (Fig. 4b).

#### 4. PETROGRAFI OG MIKROSTRUKTURER

Som et sammenligningsgrunnlag, dvs fra mesostrukturer til mikrostrukturer, presenterer vi utvalgte bilder tatt av tynnslip laget av håndstykkene vist i Fig. 2. Petrografien og teksturene er beskrevet i noe detalj av Roberts m.fl. (1983). Her gir vi bare noen få hovedtrekk, med en tabell over den modale mineralogien (Tabell 1) av de samme bergartene. Ut fra tabellen ser man en klar økning av kvartsinnholdet med økende deformasjon, mens derimot minkning av det totale feltspatinnholdet.

Tynnslipet av den porfyrittisk granitten (Fig. 5a) viser både undulerende utslukning og subparallele, interne deformasjonsbånd i kvartsen, men ikke noe omkrystallisering. Plagioklas ( $An_{20-25}$ ) viser dannelse av to typer myrmekitt langs korn grensene mot mikroklin. I Fig. 5b finner man subkornutvikling i kvarts, som har suturerte korn grenser, og i tillegg opptrer en begynnende polygonisering av kvarts inne i mikrokrySTALLINE korn-aggregater. Dette er et typisk resultat av en dynamisk omkrystalliseringsprosess som kalles for 'geometric softening'. Samtidig opptrer årepertitt, og biotitt er klorittisert.

En mylonittisk foliasjonen har tydelig overtatt i Fig. 5c. hvori en polygonisert granulær mosaikk av kvarts dominerer, med spredte lentikulære relikter av de opprinnelige feltspat-fenokrystene. Fig. 5d viser en fremtredende mikroblastomylonittisk tekstur. Mikroklin er omkrystallisert og flammepertitt er hyppig, og kvarts viser enda en ny omkrystallisering i visse soner, til dels fra nedbryting av K-feltspat og plagioklas - en prosess av 'reaction softening' - men også antagelig fra en liten økning i silika utenfra. I ultramylonitten, Fig. 5e, ble grunnmasse-mineralogien vanskelig å identifisere pga den ultra-finkornete størrelse. Tegn til senere kataklastiske bevegelser sees i form av mørkgrå til svarte bånd som består av en kryptokrystallinsk sleppebergart med angulære fragmenter av mylonitt.

Når man se på prøveserien i sin helhet er hovedtrekkene i forvandlingen fra porfyrittisk granitt til mylonitt, følgende:

(1) gradvis reduksjon av kornstørrelse av alle mineralene; (2) gradvis utvikling av en mylonittisk foliasjon; (3) omkrystallisering av kvarts, med minst to separate nykrystallisasjoner; (4) progressiv utvikling av streng- og flammepertitt; (5) klorittisering av biotitt; (6) serisittisering av plagioklas.

## 5. GEOKJEMI

Den relative betydningen av mekaniske og kjemiske prosesser i mylonittgenese, og i det sistnevnt tilfelle, om deformasjonen er en isokjemisk reaksjon eller oppfører seg som et åpent system, er spørsmål som har forårsaket forskjellige formeninger blant geologer.

Bindalsgranitten og dens klare og gradvise forvandling fra massiv porfyrittisk granitt via øyegranitt, øyegneis og blastomylonitt til mylonitt, ga oss en fin anledning i så måte til å undersøke de mulige kjemiske endringer fra moderbergarten til den finkornet granitt-mylonitten og ultramylonitten.

Et like viktig kriterium i skjærsoner-klassifikasjon er endringer i bergartsvolum sett i forhold til element-økning eller -tap. På denne måten er skjærsoner blitt kategorisert som enten volumtap-skjærsoner eller isovolum-skjærsoner (volumøkning-typene vanligvis plassert sammen med isovolum-typene) (Ramsay 1980, O'Hara 1988, Bailey et al. 1994).

I dette foreløpige studium har vi benyttet 21 analyser av granitten, tatt enten fra profilene beskrevet ovenfor eller fra den vestlige delen av Bindalsgranitten i nærheten av Kongsmoen, og 7 analyser av mylonitt/ultramylonitt fra profilene. Både hoved- og sporelementene ble analysert på bergartspulver på en automatisk Philips 1450/20 XRF, ved NGU, Trondheim. For bestemmelse av hovedelementene ble prøvene smeltet med litiumtetraborat 1:7.

Sporelementene ble bestemt på "pressed" bergartspulver.

De kjemiske analysene er presentert i Tabell 2 og 3. For en lettere sammenligning viser vi også middelverdiene av både hovedkomponentene og sporelementene.

Når det gjelder hovedelementene, ut fra de tallene som man ser av snittverdiene, er det bare  $\text{SiO}_2$  som viser en vekt-% økning fra granitt-protolitten til mylonitten -- en økning på nesten 9%. Alle de andre hovedoksydene, og alle de registrerte sporelement-verdiene viser til negative endringer.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  viser et 15% tap, mens  $\text{K}_2\text{O}$  derimot faller bare 3%. Disse og andre endringer i kjemien kan ved første blick tilsynelatende forklares i sammenheng med de observerte modale endringer (se Tabell 1), og de progressive mineralogiske og teksturelle endringene som man ser i tynnslip. Både plagioklas og K-feltspat er blitt sterkt redusert i vol.% under mylonittiseringen, og hovedsakelig erstattet av kvarts, slik at det er ikke uventet at  $\text{Al}_2\text{O}_3$  innholdet er redusert. Likedan kan reduksjonen i  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  og  $\text{CaO}$  forklares ved nedbryting av feltspat og samtidig erstatning av kvarts, enten bare isokjemisk eller delvis ved en syntektonisk silisifiseringsprosess.

Sporelementverdiene viser en nesten helhetlig minkning med en økning spenningsgradient fra den granittiske protolitt til mylonittene. Tap av Sr og Ba, for eksempel, er så mye som henholdsvis 56% og 32%, noe som antageligvis kan knyttes til nedbryting av feltspat siden disse elementene sitter i feltspatgitteret. Rb-verdiene viser til et 7% tap, mens Zr har tapt hele 70% utfra protolittinnholdet av dette elementet. Nb viser til et liknende tap. Fordi Zr og Nb er betraktet som forholdsvis uløselige og immobile kan dette også støtte tanken om silisifisering, eller i akkurat dette tilfelle en slags kvartsfortynningseffekt.

## 6. DISKUSJON

Ut fra en ren visuell sammenligning av de kjemiske analysene tatt fra mylonittene og deres granittiske protolitt kommer det ganske tydelig fram at mylonitiseringsprosessen, som innebar en reduksjon av kornstørrelse og "reaction softening", ikke var en isokjemisk, lukket-system deformasjon. En betraktning av de teksturelle, mineralogiske og modale endringene peker også mot en slik konklusjon.

Dannelsen av streng-, åre- og flammepertitt, som er et viktig stadium i deformasjonsprosessen, innebærer en kationisk veksling mellom alkaliene hvori matriks plagioklas befries for Na og byttes ut med K for å danne tynne albittårer i K-feltspaten, mens K fra mikroklin-megakrystene danner sericitt og finkornet muskovitt i grunnmassen. Denne prosessen er i seg selv ikke isokjemisk. Kalsium som er befridd fra plagioklasen går antageligvis inn i epidoten, men epidoten forsvinner ved høyere spenning og likedan minker  $\text{CaO}$  i verdi.



Endringene i noen av elementene, både hoved- og sporelementene, f.eks. tap av Ca, Na, K, Sr og Ba, kan forholdsvis lett forklares mht. de observerte modale endringene, særlig til nedbryting av feltspat. Derimot er en anomali her, at  $\text{SiO}_2$  -- som man også kunne forvente ville vise tap under feltspatretrogresjon forårsaket av sterkt økende deformasjon -- er det eneste element som registrerer en økning i verdi, og med hele 9%. Modalverdiene, tatt fra en nokså representative prøveserier hvor deformasjons-skalaen er c.40 m, viser at kvartsinnholdet fordobler seg fra protolitten til mylonittsonen. Betydningen av dette, sett i forhold til geokjemien, er at mylonittiseringen av denne porfyriske granitten innebærer en væskeforøket syntektonisk silisifiseringsprosess. Om dette, og de kjemiske endringene i sine helhet, var en isovolumetrisk prosess er vanskelig å si uten å anvende domenal volumbalanse- og massbalanse-beregninger (f.eks. Gresens 1967). Selv om dette ikke ble gjort i dette tilfelle er det likevel interessant å sammenligne denne skjærsonen-granitt-mylonittiseringen med andre eksempler av liknede granitt-protolitt- mylonitter fra litteraturen.

Når man ser på elementverdier og forhold under en slik progressiv mylonittisering finner man visse forskjeller mellom volumtap-skjærsoner og såkalte isovolum-skjærsoner (f.eks. Tobisch et al. 1991, Condie & Sinha 1996). En viktig forskjell er at i isovolum-skjærsoner øker  $\text{SiO}_2$  samtidig som  $\text{Na}_2\text{O}$  og mange andre hoved- og sporelementer minker. Når man normalisere mot protolittens kjemiske sammensetning på et  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  diagram, viser de to skjærsonetypene avvikende trender (Fig. 6a). I tilfellet  $\text{TiO}_2$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , øker disse verdier i volumtap-skjærsoner, mens man iaktar det motsatt i isovolum-skjærsoner (Fig. 6b). Kongsmoen-mylonittene viser forholdsvis tydelig at i dette tilfelle ble de dannet ved en enten isovolumetrisk eller muligens volumøkende deformasjonsprosess. Pga. de tilsynelatende trekk som favoriserer silisifisering som en prosess som ledsaget denne mylonittiseringen, er det mest sannsynlig at mylonittene ved bunnen av Helgelandsdekkekomplekset kan ha gjennomgått en liten volumøkning under deres utvikling fra granitt-protolitten.

## 7. KONKLUSJONER

En progressiv mylonittisering av Bindalsgranitten mot bunnen av Helgelandsdekkekomplekset like øst for Kongsmoen, Nord-Trøndelag, viser flere teksturelle og strukturelle hovedtrekk: (1) en gradvis reduksjon av kornstørrelse; (2) utvikling av en mylonittisk foliasjon; (3) minst to omkrystalliseringer av kvarts, og en markert økning i kvartsinnholdet; (4) progressiv utvikling av streng-, åre- og flammepertitt; (5) klorittisering av biotitt; (6) serisering av plagioklas.

Et geokjemisk studium hvori man har sammenlignet den granittiske protolitten og endeleddene, høyspennings-mylonittene og ultramylonittene, viser at  $\text{SiO}_2$  er det eneste oksyd som øker (ved c.9%) under mylonittiseringen. Alle andre oksydene, og alle registrerte

sporelement-verdiene viser negative endringer. Disse trekk viser at deformasjonen foregikk ikke som en isokjemisk, lukket-system prosess, men medførte en væske-forhøyet syntektonisk silisifisering. En sammenligning av de kjemiske endringene med de som er kjent fra andre liknende granitt-til-mylonitt-skjærsoner rundt omkring i verden, tyder på at Kongsmoen-mylonittiseringen var enten en isovolumetrisk prosess eller én med en liten volumøkning forårsaket av silisifisering ved de høyere spenningsfacies.

## 8. LITTERATUR

Bailey, C.M., Simpson, C. & De Page, D.G. 1994: Volume loss and tectonic flattening strain in granitic mylonites from the Blue Ridge province, central Appalachians. *Jour. Struc. Geol.* 16, 1403-1416.

Barnes, C.G., Prestvik, T., Nordgulen, Ø. & Barnes, M.A. 1992: Geology of three dioritic plutons in Velfjord, Nordland. *Nor. geol. unders. Bull.* 423, 41-54.

Condie, K.C. & Sinha, A.K. 1996: Rare earth and other trace element mobility during mylonitization: a comparison of the Brevard and Hope Valley shear zones in the Appalachian mountains, USA. *Jour. metamor. Geol.* 14, 213-226.

Grant, J.A. 1986: The isocon diagram - a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Econ. Geol.* 81, 1976-1982.

Gresens, R.L. 1967: Composition-volume relationships of metasomatism. *Chem. Geol.* 2, 47-65.

Gustavson, M. 1988: Mosjøen. Description to the 1:250,000 bedrock geological map. *Nor. geol. unders. Skr.* 87, 42 s.

Kollung, S. 1967: Geologiske undersøkelser i sørlige Helgeland og nordlige Namdal. *Nor. geol. unders.* 254, 95 s.

Myrland, R. 1974: Velfjord: Beskrivelse til det berggrunnsgeologiske gradteigskart I 18 - 1:100,000. *Nor. geol. unders.* 274, 30 s.

Nordgulen, Ø. 1984: *The geology and emplacement of the Kråkfjellet Pluton, Bindal, Central Norway.* Cand.real. thesis, Univ. i Bergen, Norge.

- Nordgulen, Ø. 1992: A summary of the petrography and geochemistry of the Bindal Batholith. *Nor. geol. unders. Report 92.111*, 103 s.
- Nordgulen, Ø. & Schouenborg, B.E. 1990: The Caledonian Heilhornet Pluton, north-central Norway: geological setting, radiometric age and implications for the Scandinavian Caledonides. *Jour. Geol. Soc. London 147*, 439-450.
- Nordgulen, Ø. & Sundvoll, B. 1992: Strontium isotope composition of the Bindal Batholith, Central Norwegian Caledonides. *Nor. geol. unders. Bull. 423*, 19-39.
- Nordgulen, Ø., Bickford, M.E., Nissen, A.L. & Wortman, G.L. 1993: U- Pb zircon ages from the Bindal Batholith, and the tectonic history of the Helgeland Nappe Complex, Scandinavian Caledonides. *Jour. Geol. Soc. London 150*, 771-783.
- O'Hara, K. 1988: Fluid flow and volume loss during mylonitization: an origin for phyllonite in an overthrust setting, NC, USA. *Tectonophysics 156*, 21-36.
- Ramsay, J.G. 1980: Shear zone geometry: a review. *Jour. Struc. Geol. 2*, 83-89.
- Roberts, D. 1989: Tectonostratigraphy within the area of 1:250,000 map-sheet 'Grong', Nord-Trøndelag, Central Norway. *Geol. Fören. Stockh. Förhandl. 111*, 404-407.
- Roberts, D., Nissen, A.L. & Reinsbakken, A. 1983: progressive mylonitization along the western margin of the Bindal Massif: a preliminary note. *Nor. geol. unders. 389*, 27-36.
- Sinha Roy, S. 1977: Deformation and chemical processes in mylonite genesis. *Geol. Fören. Stockh. Förhandl. 99*, 3-9.
- Tobisch, O.T., Barton, M.D., Vernon, R.H. & Paterson, S.R. 1991: Fluid-enhanced deformation: transformation of granitoids to banded mylonites, western Sierra Nevada, California, and SE Australia. *Jour. Struc. Geol. 13*, 1137-1156.

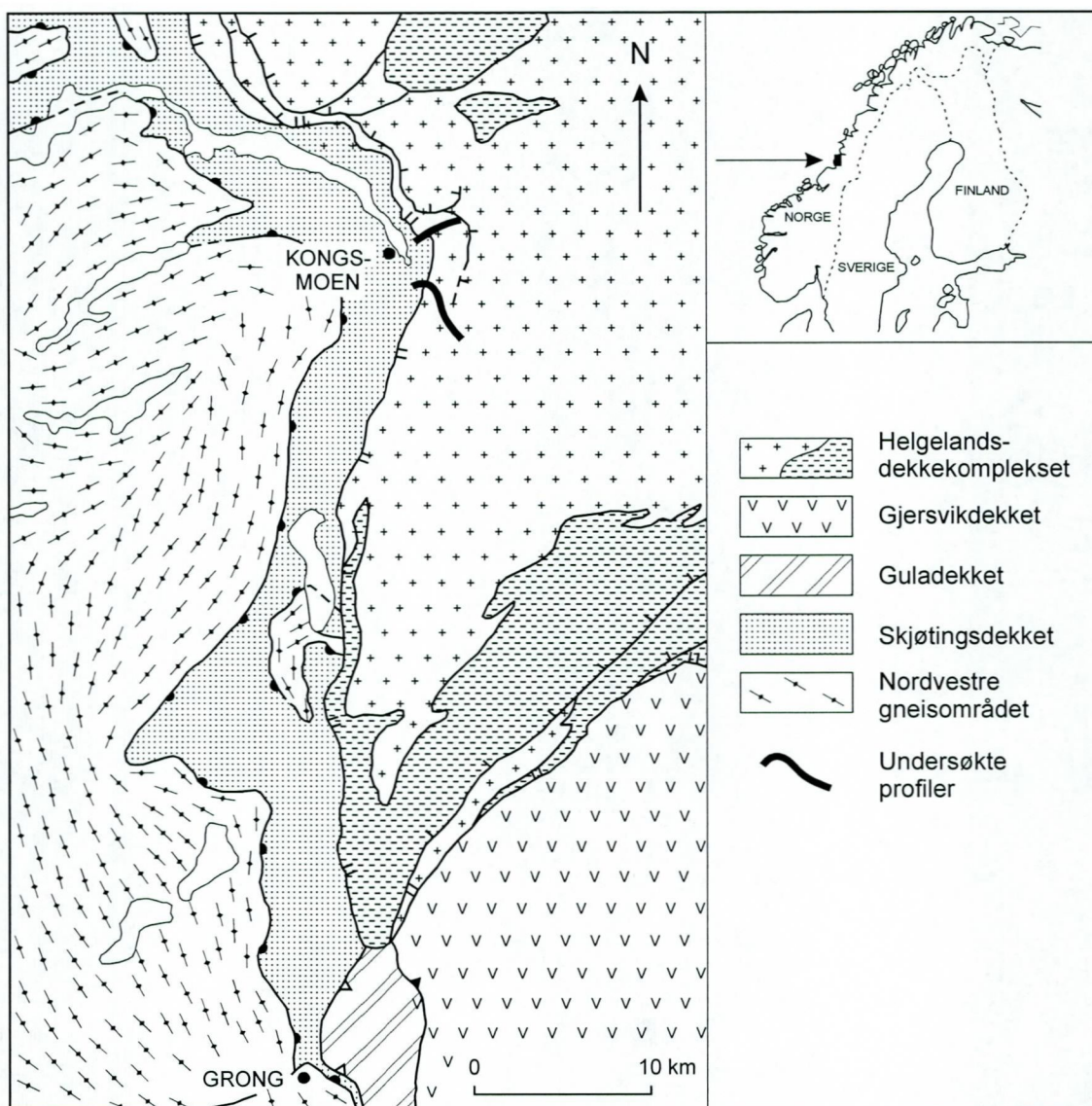


Fig.1. Forenklet kart over området mellom Kongsmoen og Grong for å vise de hoved-tektonostratigrafiske enhetene og lokaliseringen av de undersøkte profilene. Helgelandsdekkekompleksets bergarter er her delt inn i granittiske bergarter (kryssraster) og skifre/gneiser (strekraster).



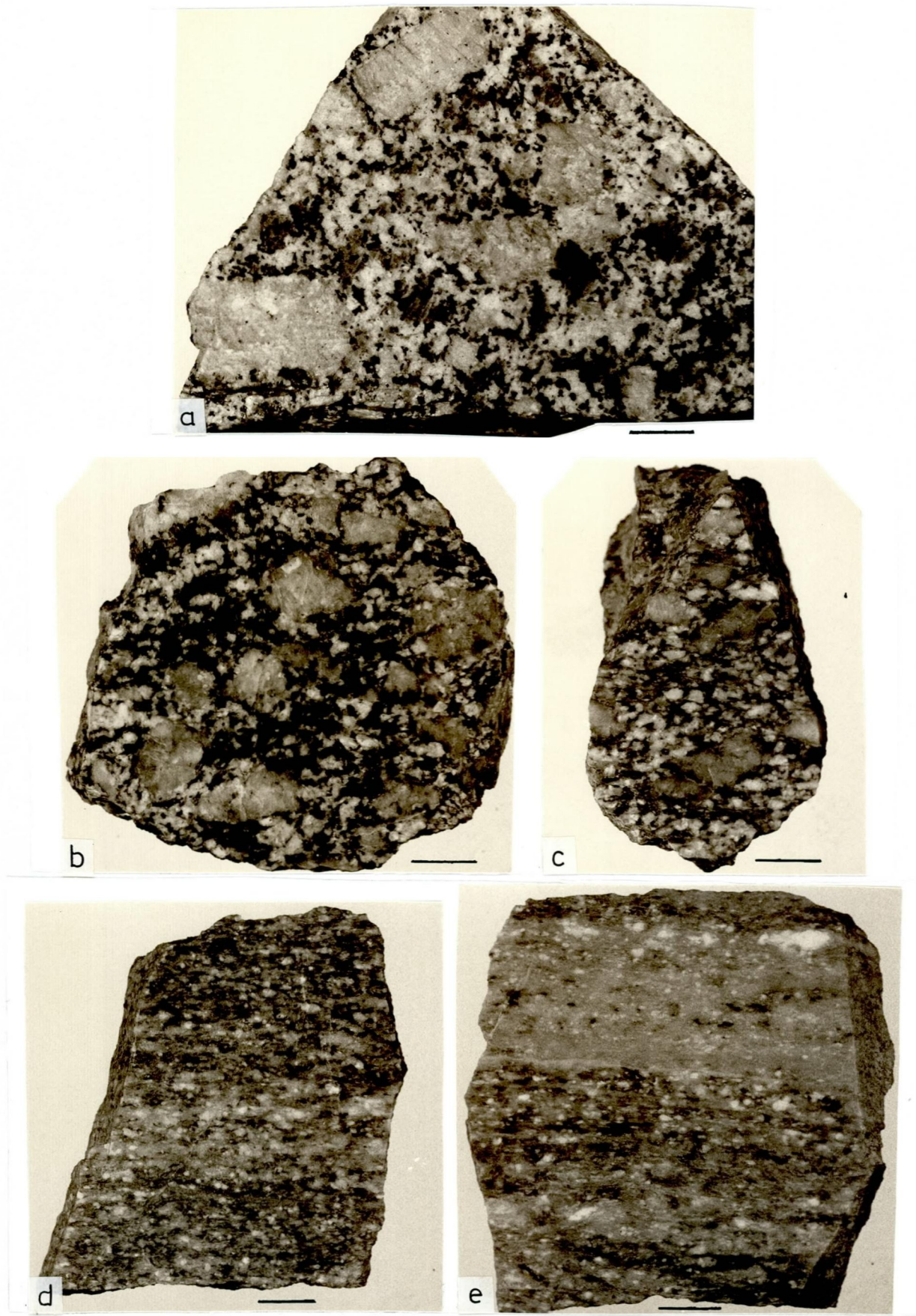


Fig.2. Serie av sagede og polerte bergartsprøver som viser omvandlingen fra porfyrgranitt til blastomylonitt og ultramylonitt; fra de sydlige profilene like sørøst for Kongsmoen. (a) Porfyrgranitt med mikrokline fenokryster. (b) Granitt-gneiss med delvis nedbrudte fenokryster, og en grov foliasjon. (c) Foliert øyeprotomylonitt. (d) Blastomylonitt. Det finnes litt igjen av de opprinnelige feltspatene. (e) Mylonitt-blastomylonitt med lysere bånd og sømmer av veldig finkornet ultramylonitt. Målestav = 1 cm.





Fig.3. (a) Blastomylonittisk øygranitt med bånd av lysere grønngrå finkornet ultramylonitt; nordsiden av Aunvatnet, sett mot NNV. (b) Tynnbåndet, helleaktig mylonitt dannet ved nedbryting av granitten; nordsiden av Aunvatnet, sett mot NNV.



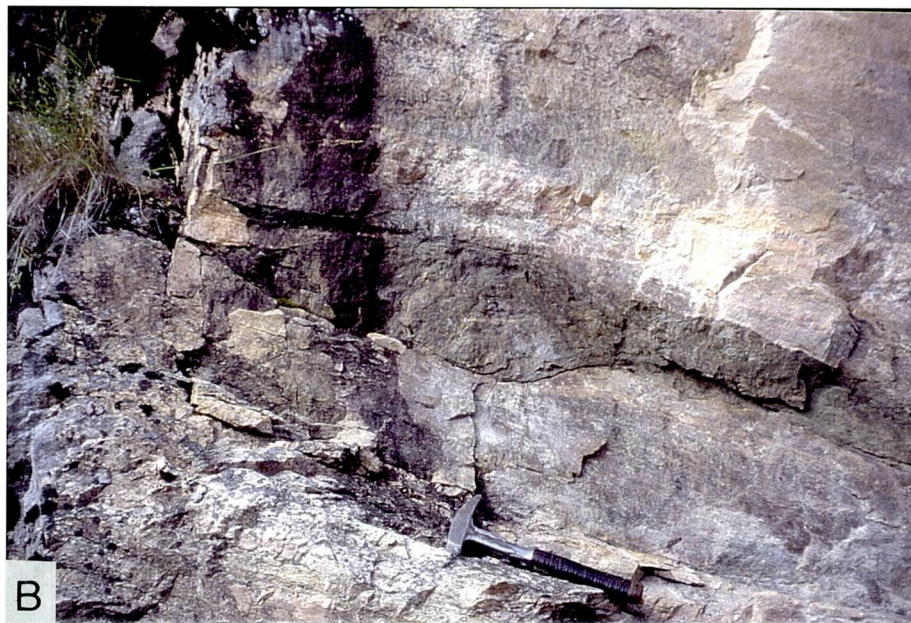


Fig.4. (a) Blastomylonittisk øyegranitt med skjærbånd (S-C struktur) som viser til topp-mot-østnordøst relativ skjærbevegelse; nordsiden av Aunvatnet, sett mot NV. (b) Tynnbåndet blastomylonitt/mylonitt med et bånd av sterkt forskifret og retrogressert amfibolitt med en form som viser til topp-mot-østnordøst relativ skjærbevegelse; nordsiden av Aunvatnet, sett mot NNV.



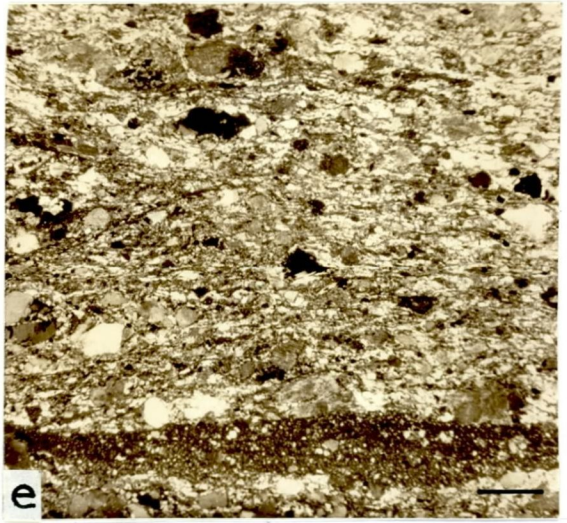
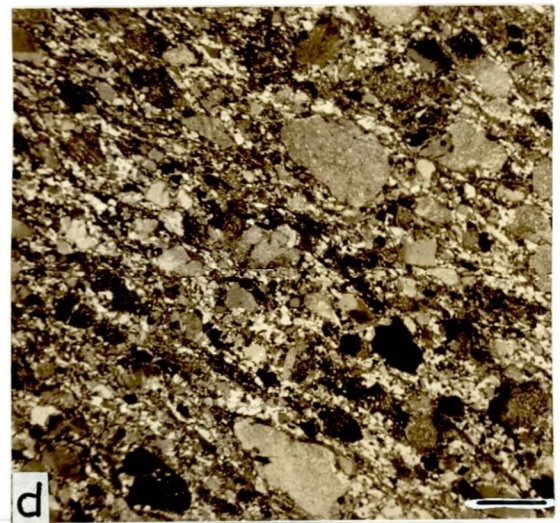
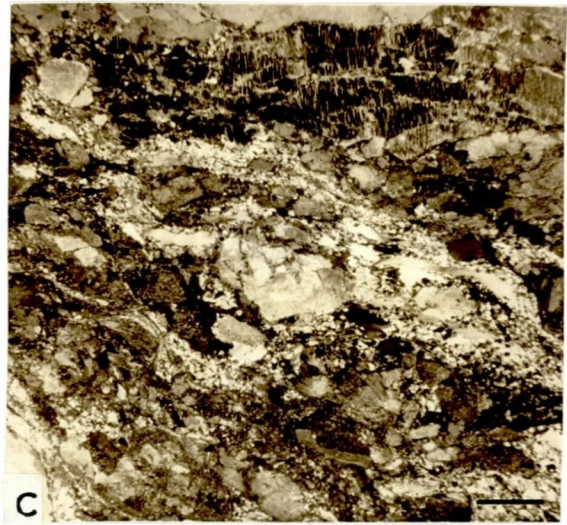
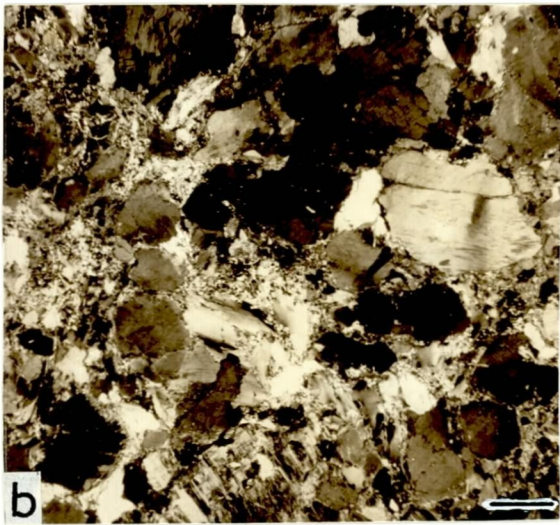
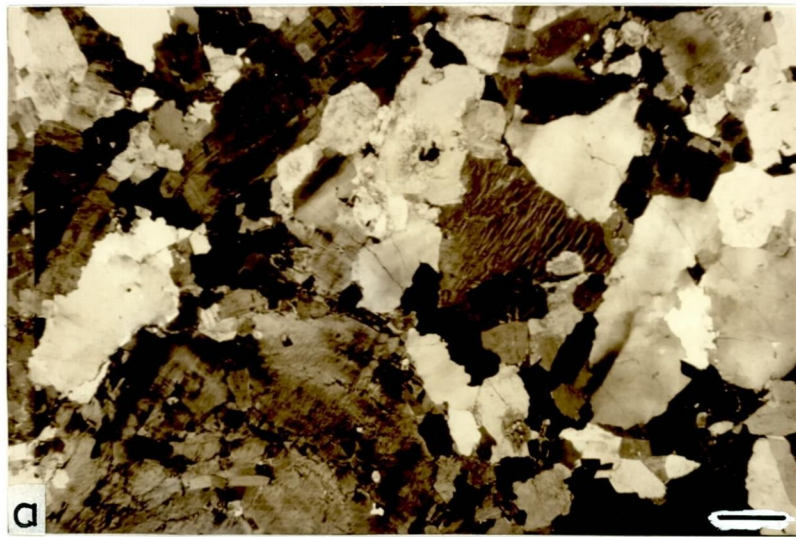


Fig.5. Tynnslipsbilder av de samme prøvene som ble vist i figur 2. Detaljerte forklaringer finnes i hovedteksten, også i Roberts et al. (1983). Tynnslip-serien viser tydelig hvordan kornstørrelsen er gradvis redusert, og feltspatene nedbrudt, fra porfyrgranitten (a) til ultramylonitten (e). Ved bunnen av bildet 'e' ser vi et yngre, mørkere kataklasitt bånd. Målestav = 1 cm.



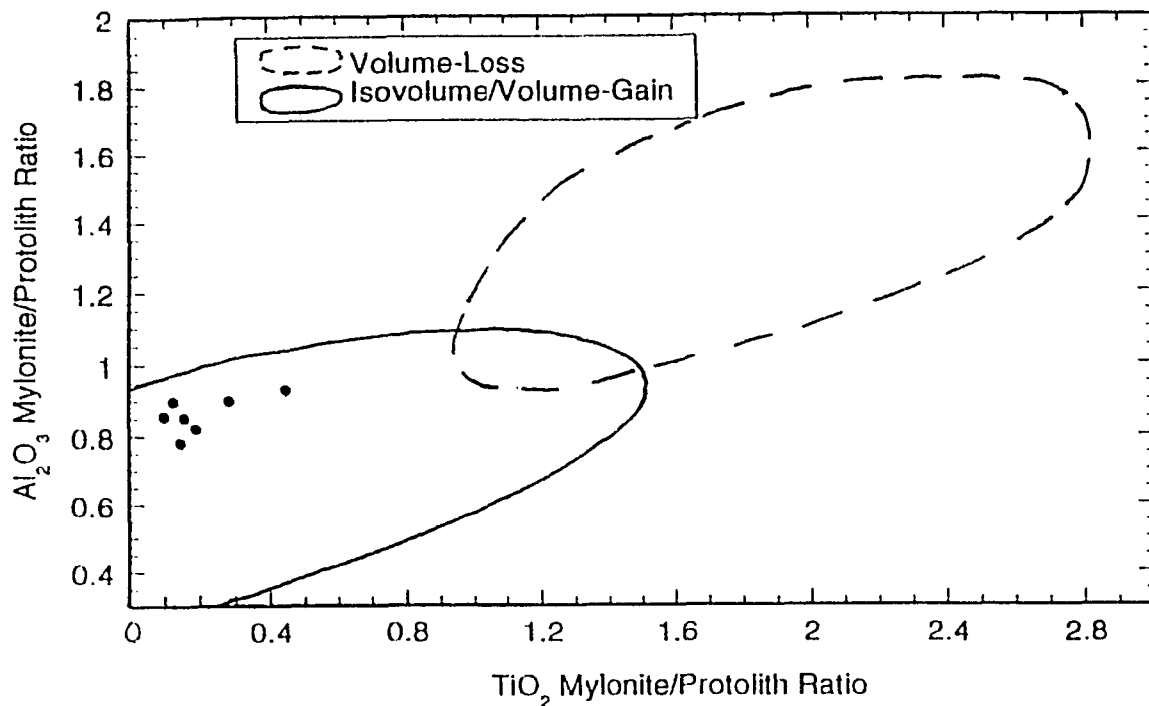
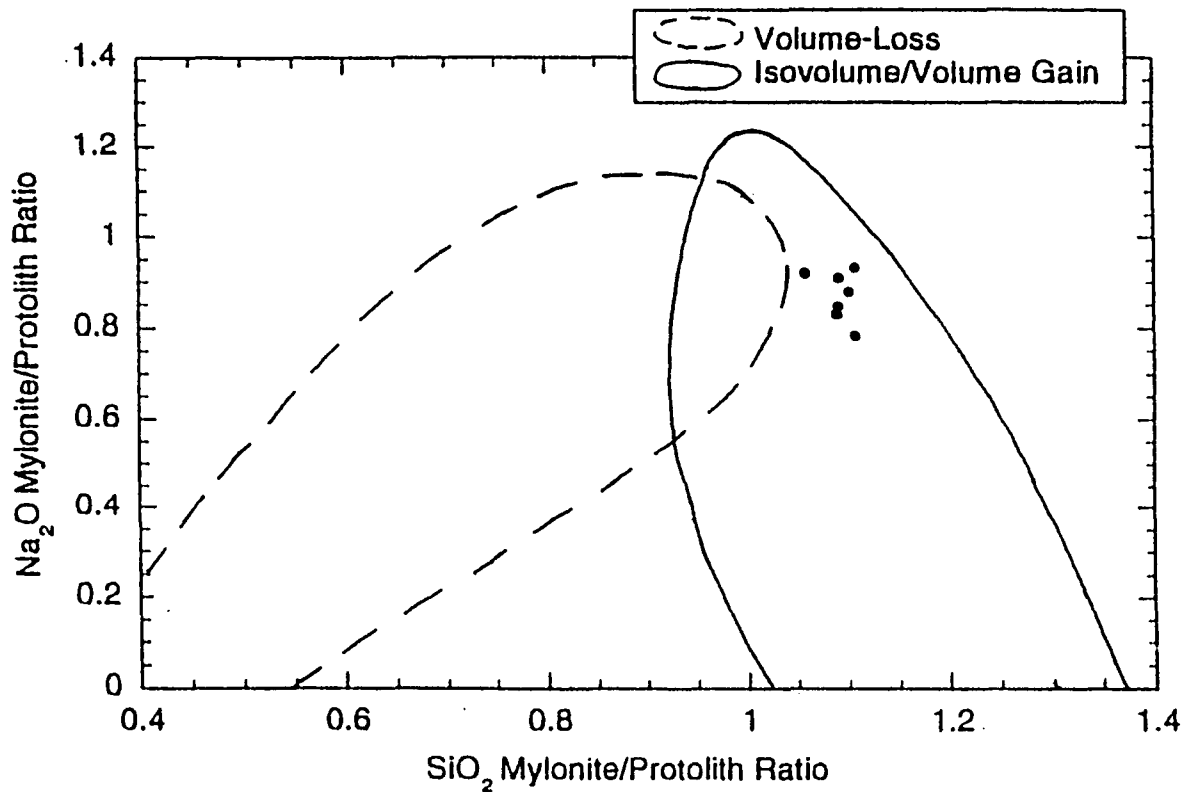


Fig.6. Plott av konsentrasjonsforholdet mylonitt/granittprotolitt (a) for  $\text{Na}_2\text{O}$  og  $\text{SiO}_2$ , og (b)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{TiO}_2$  for de 7 mylonittene og ultramylonittene benyttet i dette studium. De avgrensede feltene for volumtap (volume loss) og isovolum/volumøkning (isovolume/volume gain) skjærsoner beregnet fra "isocon analyses" på verdensbasis, er tatt fra Condie & Sinha (1996).

Tabell 1. Modal sammensetning (vol.%) av prøvene (a-e) avbildet i figurene 2 til 5.

	a	b	c	d	e
Kvarts	20.0	24.6	21.8	43.2	38.7
Plagioklas	35.4	29.8	13.4	4.2	1.0
K-feltspat	29.4	19.0	25.4	19.4	14.7
Sericittisert plag.	6.6	7.6	21.4	22.4	24.0
Biotitt	7.2	2.0			
Kloritt	x	4.4	3.8	4.2	
Epidot	x	3.6	11.0	6.4	x
Titanitt	1.2	2.0	2.2	0.6	x
Hornblende	x	6.2	0.8		
Apatitt	x	0.2	0.2	x	
Zirkon	x	x	0.2	x	
Muskovitt	x		x	x	x
Kalkspat	x	0.4			
Allanitt	x			x	
Opakt	0.2	0.2	x		
U.1					14.0
U.2					5.3

U.1 - meget finkornet fargeløst mineral, muligens rekrystallisert sur plagioklas.

U.2 - meget finkornet mørkt mineral, opptrer som utgnidde aggregater innen foliasjonen, vanligvis sammen med epidot; det er derfor muligens deformert epidot.

x - tilstede i ubetydelige mengder.

Basert på 500 punkter per tynnslip (300 i prøve c).

Notat: Hornblende er et vanlig aksessorisk mineral i porfyrgranitten, men ubetydelige mengder i tynnslip a.

Tabell 2. Hovedkomponenter av 21 porfygranitter og 7 mylonitter fra Kongmoen-området innenfor Helgelandsdekket. MVD = middelveier.

Nr.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O*	H <sub>2</sub> O*	E	N
L983	65,39	15,89	0,85	0,42	1,26	2,98	4	4,4	0,05	0,19	0,21	1,71	0,39	0,06	38090	719938
L2084	73,42	13,49	0,35	0,12	0,12	0,88	3	5,73	0,01	0,02	0,1	0,52	0,55	0,03	38614	718680
L2184	66,69	16,19	0,86	0,5	0,87	2,41	4,2	4,11	0,03	0,15	0,03	1,65	0,54	0,04	38645	718675
L2284	67,87	15,86	0,76	0,44	0,8	2,28	4,3	3,85	0,03	0,15	0,03	1,44	0,5	0,08	38707	718670
6177	68,39	16,5	0,4	0,34	0,63	2,11	3,35	4,94	0,05	0,09	0,04	1,24	0,97	0,03	3886099	71855096
7077	65,78	16,06	0,73	0,55	1	2,45	3,7	4,25	0,04	0,19	0,15	1,86	0,44	0,04	3864534	71867354
2478	66,84	17,43	0,7	0,31	0,42	1,85	3,48	6	0,05	0,06	0,04	0,79	1,9	0,04	3885240	71857776
5381	65,03	15,99	1,41	0,44	1,31	2,87	5,5	4,26	0,04	0,19	0,11	1,17	0,8	0	3812517	71936090
6083	64,92	15,86	1,18	0,45	1,11	3,02	4	4,81	0,1	0,19	0,25	1,39	0,01	0,1	3807658	71992368
6283	64,49	15,28	1,13	0,45	1,09	2,96	4,6	3,86	0,05	0,18	0,67	1,37	0,26	0,11	3808204	71992621
6583	66,49	15,57	1,09	0,43	1,16	2,63	3,7	5,27	0,04	0,19	0,16	1,45	0,5	0,03	3808204	71992621
6683	66,55	16,55	0,98	0,39	1,21	2,86	4,3	4,84	0,04	0,18	0,11	1,44	0,27	0,23	3808929	71993483
7083	66,29	15,96	1,31	0,45	1,36	3,12	4,3	3,74	0,05	0,21	0,12	1,44	0,24	0,11	3810137	71994802
9282	75,06	13,23	0,29	0,11	0,17	1,12	2,9	5,1	0,01	0,03	0,13	0,36	0,84	0	3779384	71898585
1082	67,4	15,16	1,52	0,39	1,13	2,25	4,2	3,83	0,04	0,17	0,11	0,87	1,1	0,15	3801927	71935265
1782	71,2	14,89	0,89	0,31	0,61	1,89	4,3	4,17	0,04	0,1	0,12	0,84	0,89	0,05	3824224	71915812
1882	70,37	15,07	0,69	0,3	0,45	1,51	4,1	4,8	0,02	0,09	0,16	0,86	0,62	0,1	3843717	71886891
4282	67,67	16,4	0,8	0,4	0,66	1,64	3,9	5,27	0,02	0,13	0,12	1,21	0,93	0	3780867	71864239
4382	69,85	15,38	0,82	0,36	0,77	1,7	3,7	4,95	0,03	0,12	0,11	1,15	0,29	0,57	3793457	71859806
6082	67,37	16,47	1,08	0,32	0,87	2,26	4,4	4,95	0,04	0,13	0,13	0,98	0,71	0,16	3817357	71959522
6482	64,34	16,85	1,72	0,49	1,48	2,82	4,8	3,96	0,05	0,22	0,15	1,21	1,18	0,16	3862399	71975415
MVD	67,69	15,72	0,93	0,38	0,88	2,27	4,03	4,62	0,04	0,14	0,15	1,19	0,66	0,10		

Nr.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O*	H <sub>2</sub> O*	E	N
3782	75,04	13,39	0,07	0,04	0,12	0,6	3,2	5,89	0,01	0,04	0,12	0,14	0,23	0,33	3759190	71860964
5281	74,06	14,48	0,73	0,09	0,12	1,5	3,7	4,23	0,02	0,02	0,09	0,35	0,66	0	3812517	71936090
6383	74,1	13,71	0,26	0,07	0,06	1,27	3,4	4,75	0,01	0,01	0,11	0,31	0,19	0,13	3808204	71992621
6883	74,69	13,9	0,38	0,06	0,08	1,35	3,6	4,46	0,03	0,01	0,14	0,42	0,15	0,03	3809348	71993978
6983	73,87	13,73	0,42	0,07	0,08	1,46	3,4	4,33	0,02	0,01	0,11	0,37	0,46	0	3809348	71993978
582	75,37	13,94	0,36	0,05	0,02	0,92	3,8	5,19	0,01	0,01	0,2	0,07	0,57	0,03	3804127	71991445
5283	71,88	14,64	0,33	0,16	0,24	1,27	4	4,23	0,02	0,09	0,13	0,95	0,21	0,04	3788471	71937439
MVD	74,14	13,97	0,36	0,08	0,1	1,2	3,6	4,73	0,02	0,03	0,13	0,37	0,35	0,08		

Tabell 3. Sporelementer av 21 porfyrgranitter og 7 mylonitter fra Kongsmoen-området innenfor Helgelandsdekket. MVD = middelveier. < = under deteksjonsnivå

Nr.	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Ba	Sn	W	E	N
L983	13	186	17	1300	131	62	< 5	17	37	50	1100	< 10	< 10	38090	719938
L2084	< 5	111	6	548	201	22	< 5	< 5	< 5	10	563	< 10	< 10	38614	718680
L2184	12	248	13	973	131	71	< 5	6	9	38	977	< 10	< 10	38645	718675
L2284	13	254	15	921	130	60	< 5	7	8	33	888	< 10	< 10	38707	718670
6177	14	183	14	836	153	51	< 5	< 5	6	23	951	< 10	6	3886099	71855096
7077	16	254	17	968	139	70	< 5	10	12	38	1000	< 20	< 20	3864534	71867354
2478	10	157	13	912	163	39	< 5	6	6	21	1200	< 10	13	3885240	71857776
5381	13	240	18	1400	131	68	5	18	30	40	1000	< 10	< 10	3812517	71936090
6083	25	199	54	964	161	53	< 5	16	30	40	1100	< 10	< 10	3807658	71992368
6283	21	196	24	1200	124	56	< 5	16	30	47	1000	< 10	< 10	3808204	71992621
6583	16	190	17	1400	147	58	< 5	17	34	45	1400	< 10	< 10	3808204	71992621
6683	12	176	14	1400	142	56	< 5	16	28	40	1200	< 10	< 10	3808929	71993483
7083	14	202	19	1300	130	68	< 5	18	32	46	872	< 10	< 10	3810137	71994802
9282	8	94	8	541	126	11	< 5	< 5	< 5	12	808	< 10	< 10	3779384	71898585
1082	13	197	18	882	111	64	< 5	14	27	32	887	< 10	10	3801927	71935265
1782	14	137	11	611	148	50	< 5	5	8	23	597	< 10	10	3824224	71915812
1882	9	157	< 5	603	141	45	< 5	< 5	< 5	19	754	< 10	10	3843717	71886891
4282	16	207	16	927	168	57	< 5	< 5	< 5	26	1200	< 10	< 10	3780867	71864239
4382	21	210	18	656	193	49	< 5	6	11	25	820	< 10	< 10	3793457	71859806
6082	14	185	18	1300	162	48	< 5	11	17	30	1200	< 10	13	3817357	71959522
6482	16	231	23	1200	107	68	< 5	19	36	47	1100	< 10	< 10	3862399	71975415
MVD	14	191	17	992	145	54	5	11	18	33	982	10	11		

Nr.	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Ba	Sn	W	E	N
3782	7	95	6	247	186	8	< 5	< 5	< 5	7	549	< 10	< 10	3759190	71860964
5281	9	80	8	556	124	19	< 5	< 5	< 5	8	886	< 10	< 10	3812517	71936090
6383	8	59	7	381	150	15	< 5	< 5	< 5	9	543	< 10	< 10	3808204	71992621
6683	5	52	< 5	294	139	19	< 5	< 5	< 5	10	347	< 10	< 10	3809348	71993978
6983	5	45	< 5	429	128	17	< 5	< 5	< 5	10	635	< 10	< 10	3809348	71993978
582	21	58	16	177	170	9	7	< 5	< 5	< 5	150	< 10	< 10	3804127	71991445
5283	10	90	12	393	144	34	< 5	< 5	< 5	17	466	< 10	< 10	3788471	71937439
MVD	9	68	8	354	149	17	5	5	5	9	511	10	10		