

Rapport nr.: 2004.007		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Beskrivelse til geologisk kart over Rogaland Anortosittprovins, 1: 75 000			
Forfatter: Mogens Marker, Henrik Schiellerup, Gurli Meyer, Brian Robins og Olivier Bolle		Oppdragsgiver: Rogaland fylkeskommune og NGU	
Fylke: Rogaland		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000) Mandal, Stavanger		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 23 Kartbilag: 1	Pris: 225
Feltarbeid utført: 1997-2002	Rapportdato: 12. februar 2004	Prosjektnr.: 284600	Ansvarlig: Peer-Richard Neeb
<p>Sammendrag:</p> <p>Det geologiske kartet er en oppdatert oversikt over geologien i anortosittprovinsen i Rogaland, og kan danne grunnlag for forståelsen av de eksisterende geologiske ressursene og fremtidig mineralleting i provinsen. Kartet setter mineralressursene inn i en geologisk sammenheng og bidrar til å forstå deres opprinnelse og utbredelse. Det geologiske kartet er utarbeidet som et digitalt kart, hvilket vil lette dets anvendelse som basiskart for diverse typer nåværende og fremtidige undersøkelser i anortosittprovinsen av både økonomisk og vitenskapelig karakter.</p> <p>Rogaland anortosittprovinsen er ca. 930 millioner år gammel og omfatter flere anortositt-massiver, den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen og sene norittiske og jotunittiske til charnokittiske intrusjoner. Det eldste massivet er <i>Egersund-Ogna Anortositten</i> i vest, som er skilt fra den folierte <i>Håland Anortositten</i> med en sone av sterkt foliert båndet gneis. Den yngre, udeformerte <i>Helleren Anortositten</i> i den sentrale del av provinsen intruderer og skjærer både Egersund-Ogna og Håland Anortosittene. Helleren Anortositten er en vestlig fortsettelse av <i>Åna-Sira Anortositten</i>. De er bare øverst adskilt av et traue (lobe) av den yngre lagdelte <i>Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen</i>. Denne ligger i en uregelmessig traustruktur over både anortositt-massivene og gneisene i den nordøstlige del av provinsen. Over Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen opptrer <i>mangeritt og kvarts-mangeritt</i>, som strekker seg sørøstover i den såkalte <i>Apofyse</i>-intrusjonen.</p> <p>Provinsen gjennomsettes av en rekke <i>sene jotunittiske og mangerittiske bergarter</i> i form av ganger og små kropper. De største er <i>Eia-Rekefjord Intrusjonen</i> i traue mellom Helleren og Åna-Sira Anortosittene og <i>Hadland intrusjonen</i> lengst i vest, som begge består av jotunittiske bergarter. En annen sen gruppe utgjøres av <i>norittiske bergarter</i> som opptrer som mindre intrusive kropper i den sørøstlige del av provinsen. Den viktigste er <i>Tellnes legemet</i> i Åna-Sira Anortositten, som inneholder en ilmenitt-forekomst i verdensklasse.</p> <p>I den østlige del av Rogaland Anortosittprovinsen finnes to mindre anortosittmassiver og et legeme av granitt, som ligger isolert i gneisene. Legemene er <i>Garsaknatt Anortositten</i> øst for Lundevatnet samt <i>Hidra Anortositten</i> og <i>Farsund Charnokitten</i> i den sørøstligste del av provinsen. Lenge etter sin størkning ble provinsen gjennomsat av VNV-ØSØ orienterte basaltiske doleritt-ganger som tilhører den 616 millioner år gamle <i>Egersund gangsvermen</i>.</p> <p>Gneisene er vertsbergarter for Rogaland Anortosittprovinsens dypbergarter og tilhører det Sveconorvegiske gneiskomplekset som dominerer i Sør-Norge. De er 1500-1000 millioner år gamle, mens deformasjonen ble avsluttet for tett på 1000 millioner år siden, som resultatet av den Sveconorvegiske fjellkjededannelse.</p>			
Emneord: Rogaland	Geologi	Digitalt berggrunnskart	
Rogaland Anortosittprovins	Anortositt	Leukonoritt	
Noritt	Jotunitt	Mangeritt	

INNHold

Bakgrunn	4
Inndeling av Rogaland Anortosittprovins	6
Egersund-Ogna Anortositten	7
Håland Anortositten	10
Helleren Anortositten	13
Åna-Sira Anortositten	14
Den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen	14
Apofysen	16
Hidra og Garsaknatt Anortosittene	16
Eia-Rekefjord Intrusjonen og jotunnittganger	17
Farsund Charnockitten	18
Gneiser (Sveconorvegiske)	18
Referenser	21

VEDLEGG

Geologisk kart over Rogaland Anortosittprovins, 1:75 000

Trondheim 18.02 2004

.....
Mogens Marker
Seniorforsker, PhD

BESKRIVELSE TIL GEOLOGISK KART OVER ROGALAND ANORTOSITTPROVINS, 1:75 000

Mogens Marker, Henrik Schiellerup, Gurli Meyer, Brian Robins og Olivier Bolle

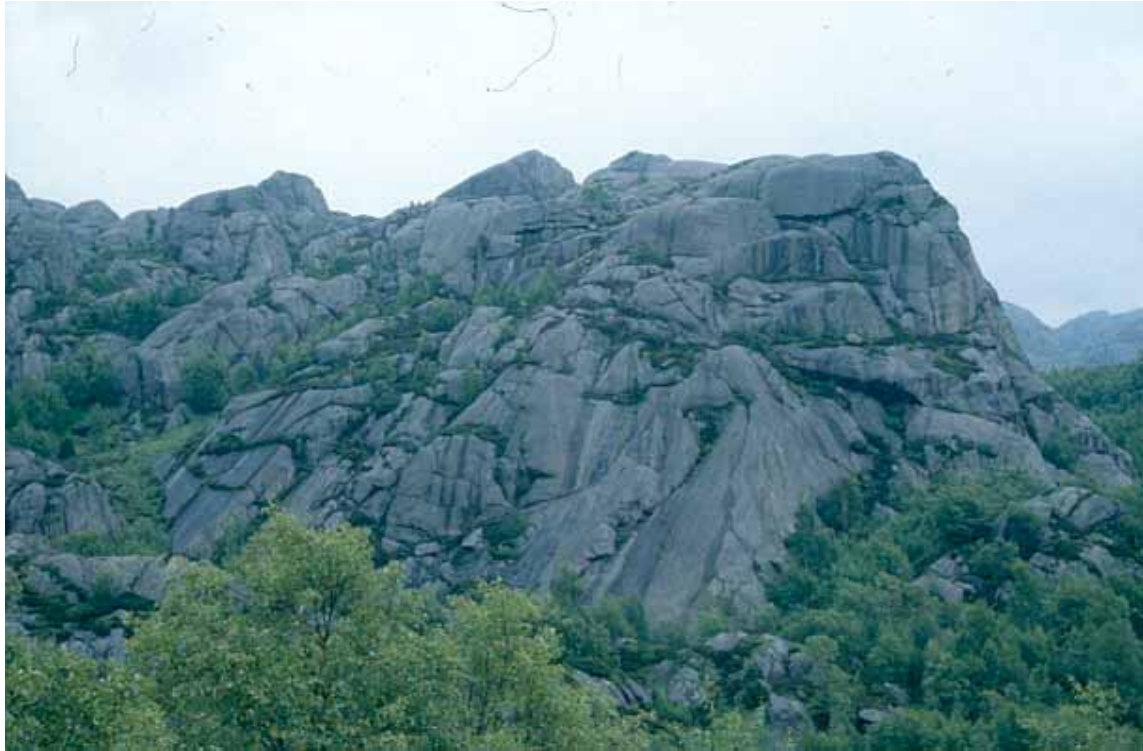
BAKGRUNN

Det geologiske kartet er blitt til ut fra et ønske om en moderne og oppdatert oversikt over geologien i anortosittprovinsen i Rogaland. Kartet er et viktig grunnlag for forståelsen av kjente mineralressurser og vil danne en basis for framtidig mineralleting i provinsen. I anortosittprovinsen utnyttes i dag titanforekomster (ilmenitt), som er blant verdens største, samt natursteins- og pukkkforekomster av høy kvalitet og verdi. Videre er det påvist store ressurser av en kombinasjonsmalm som inneholder ilmenitt, apatitt (fosfatmineral) og vanadium, som vil kunne utnyttes under rette markedsbetingelser i fremtiden. Kartet setter disse viktige ressursene inn i en geologisk sammenheng og bidrar til å forstå deres oppreden. Det er utarbeidet som et digitalt kart, hvilket vil lette dets anvendelse som basiskart for nåværende og fremtidige undersøkelser av både økonomisk og vitenskapelig karakter.

På tross av at det har vært utført internasjonale undersøkelser av anortosittprovinsen i Rogaland i mer enn femti år, er det første gang et geologisk kart er blitt sammenstilt for provinsen som helhet. Dette skyldes at tidligere undersøkelser især har fokusert på å løse bergartsmessige (petrologiske) problemstillinger, mens egentlig kartlegging ikke ble utført. Især den vestlige del av provinsen var således mest dekket av kart i form av oversiktsfigurer. Kun den nordøstlige del av provinsen var dekket av systematisk detaljkartlegging. Derfor har det vært nødvendig for Norges geologiske undersøkelse å utføre ny kartlegging hvor dekningsen var mangelfull.

Det geologiske kartet over Rogaland Anortosittprovinsen er blitt sammenstilt ut fra tilgjengelig eksisterende kartlegging (se liste på det geologiske kartet) supplert med ny kartlegging og feltkontroll utført av Norges geologiske undersøkelse 1997-2002. Nøkkelbidrag for kartet er gitt av Michot (1960), Michot (1961), Michot & Michot (1969), Demaiffe et al. (1973), Hermans et al. (1975), Maquil (1980; upublisert kart gjengitt i Duchesne & Maquil (1987)), Krause et al. (1985; sammenstilt og digitalisert av Karlsen et al. (1998)) og Rietmeijer (1979). Uvurderlig upublisert kartlegging av nyere dato er dessuten levert av Robins and Wilson (Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen) og Bolle (Apofysen). Kartleggingen til Norges geologiske undersøkelses 1997-2002 har især vært konsentrert i provinsens vestlige og sentrale deler (M. Marker, R.B. Edland, H. Schiellerup og G. Meyer) samt i gneisområdet i nordøst (M. Marker). All ny kartlegging og tallrike felt"checks" i hele provinsen har dessuten hatt som formål å sikre at transformering av data fra et gammelt til et moderne topografisk grunnlag er blitt så presis som mulig. Digitalisering og layout er utført av Torbjørn Sørdal.

Beskrivelsen nedenfor er en kortfattet introduksjon til Geologisk kart over Rogaland Anortosittprovinsen. Provinsen er spesiell og inneholder en rekke særegne enheter og bergartstyper som ikke vil bli nærmere forklart i denne rapport. For en mer detaljert beskrivelse med forklaring på de spesielle bergartsenhetene henvises til Duchesne, J-C. & Korneliussen, A. (eds.), 2003: Ilmenite deposits and their geological environment. Norges geologiske undersøkelse Special Publication 9, 134 pp., ISBN: 82-7385-108-7.



Figur 1. Typisk anortosittlandskap med avrundete blokker med lite vegetasjon.

De vanligste bergartene i Rogaland Anortosittprovinsen er som følger:

Anortositt er provinsens dominerende bergart og består av mer enn 90% av ett enkelt mineral, feltspatten plagioklas, som inneholder kalsium (Ca) og natrium (Na). Anortositten er mellom-til grovkornet og har i frisk tilstand en fiolettbrunlig farge (Figur 1-2). Pyroksen (ortopyroksen) kan forekomme som underordnet mørkt mineral (<10%). Ved høyt Ca/Na forhold kan plagioklas få et blått fargespill som gjør anortositten verdsatt som naturstein. Anortositten inneholder i partier store såkalte feno-krystaller av plagioklas og pyroksen. Stedvis kan især pyroksen-krystallene nå en størrelse på fra noen dm til 1-2 m, og blir da kalt mega-krystaller (Figur 3).

Leukonoritt. Anortositt har gradvis overgang til leukonoritt (lys noritt) som har 10-35% mørke mineraler i tillegg til plagioklas. De mørke mineraler består overveiende av pyroksen (ortopyroksen) og gir bergarten en mørkere farge enn for anortositt.

Noritt. Leukonoritt har gradvis overgang til den mørkere noritten som inneholder mer enn 35% mørke mineraler. Igjen består de mørke mineraler overveiende av pyroksen (ortopyroksen). En bergart med mer enn 90% pyroksen kalles pyroksenitt.

Jotunitt ligner på noritt, men har i tillegg til pyroksen (ortopyroksen) og plagioklas ett underordnet innhold av kalifeltspat som inneholder kalium (K).

Mangeritt er en kvartsfattig, rett lys "granittisk" bergart med omtrent like store mengder plagioklas og kalifeltspat. Pyroksen (ortopyroksen) forkommer som underordnet mørkt mineral. Med ett større innhold av kvarts kalles bergarten kvarts-mangeritt.

Charnokitt er betegnelsen for en granitt, hvor det dominerende mørke mineral er en pyroksen (ortopyroksen). Dannes på stort dyp i jordskorpen, hvor vann ikke er tilstede som det er for granitt.



Figur 2. Anortositt fra Egersund-Ogna Anortositten med typisk brunlig farge. Eigerøya.

INNDELING AV ROGALAND ANORTOSITTPROVINS

Rogaland Anortosittprovins er ca. 930 millioner år gammel og omfatter et antall anortosittmassiver, den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen og en rekke sene norittiske og jotunitiske til charnokittiske intrusjoner. Inndelingen fremgår av oversiktskartet nederst til venstre på det geologiske kartet. Den følger stort sett den tidligere inndelingen med en unntagelse. Det tidligere Håland-Helleren massivet er nå delt opp i to separate legemer: En eldre og deformert Håland Anortositt som skjæres av den udeformerte Helleren Anortositt.

Kartet viser at rekkefølgen av massivenes dannelse bestemmes ut fra skjærende (intrusive) relasjoner og ulikheter i deformasjon (deformert (foliert)/ikke deformert) mellom de enkelte bergartslegemer. Legemene består utelukkende av magmatiske dypbergarter som er dannet på stor dybde i jordskorpen, og som er trengt inn i gneisene som omgir dypbergartene i dag. Det eldste massivet er *Egersund-Ogna Anortositten* i vest med en foliert randzone som er parallell med lagdelingen i de omgivende gneisene. Massivet er skilt fra den likeså folierte *Håland Anortositten* av en tynn sone (septum) av sterkt foliert båndet gneis. Den relativt yngre og udeformerte *Helleren Anortositten* i den sentrale del av provinsen intruderer og skjærer både Egersund-Ogna og Håland Anortosittene. Helleren Anortositten anses å danne fortsettelsen av den tilsvarende udeformerte *Åna-Sira Anortositten* i den østlige del av provinsen. De to massivene er bare øverst oppdelt av et trau (lobe) av yngre magmatiske bergarter (Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen og jotunitiske bergarter). Den lagdelte *Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen* ligger som en uregelmessig traustruktur på toppen av både

anortosittmassivene og gneisene i den nordøstlige del av provinsen. Intrusjonen er dekket av *mangeritt og kvarts-mangeritt* som strekker seg sørøstover i den såkalte *Apofyse*-intrusjonen.

Hele Rogaland Anortosittprovins gjennomsettes av en rekke *sene jotunnittiske og mangerittiske bergarter* i form av ganger og intrusive legemer. Den største av disse er *Eia-Rekefjord Intrusjonen* i trauet mellom Hellenen og Åna-Sira Anortosittene og *Hadland intrusjonen* lengst i vest, som begge består av jotunnittiske bergarter. En annen sen gruppe utgjøres av *norittiske bergarter* som opptrer som mindre intrusive legemer i den sørøstlige halvpart av provinsen. Den viktigste av disse er *Tellnes legemet* i Åna-Sira Anortositten, som inneholder Tellness ilmenittforekomst.

I den østlige del av Rogaland Anortosittprovins finnes to mindre anortosittmassiver og et granitt-legeme som ligger helt isolert i gneisene. Deres relative alder i forhold til de øvrige dypbergartene i provinsen kan derfor ikke bestemmes ut fra feltrelasjoner alene. Disse legemene er *Garsaknatt Anortositten* øst for Lundevatnet samt *Hidra Anortositten* og *Farsund Charnockitten* i den sørøstligste del av provinsen. Lenge etter sin størkning ble Rogaland Anortosittprovins gjennomslått av basaltiske doleritt-ganger med en VNV-ØSØ orientering. Gangene tilhører *Egersund gangsvermen* som er datert til å være 616 millioner år gammel (Bingen et al. 1998).

Alderen på de eldste massivene (Egersund-Ogna, Hellenen og Åna-Sira) i Rogaland Anortosittprovins er bestemt til rundt 930 millioner år, mens den sene Tellnes norittintrusjon er datert til 920 millioner år (Schärer et al. 1996). Det betyr at dypbergartene i anortosittprovinsen kom på plass i løpet av geologisk sett forbausende kort tid, nemlig 10 millioner år. Alderen på gneisene som omgir anortosittmassivene er dårlig kjent, men de yngste komponentene er omkring 1050-1000 millioner år gamle (Bingen & van Breemen 1998a, 1998b; Möller et al. 2002) mens de eldste kan være ca. 1500 millioner år.

EGERSUND-OGNA ANORTOSITTEN

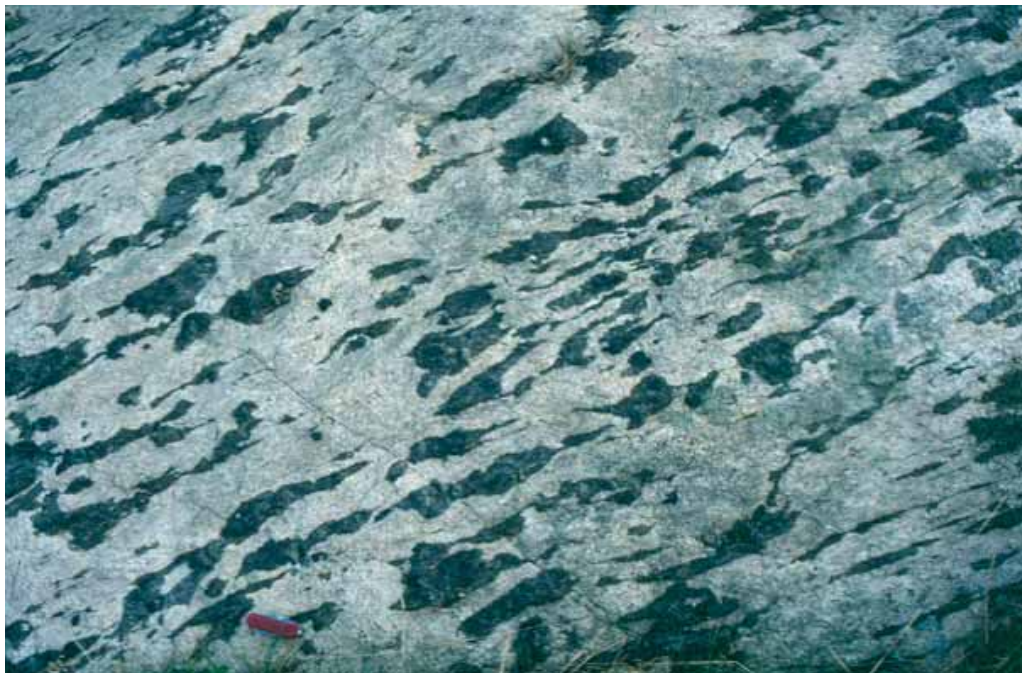
Egersund-Ogna Anortositten er det største massivet i Rogaland Anortosittprovins og har en mer eller mindre kuppelformet oppbygning med konsentrisk fordeling av bergartene (Duchesne & Maquil 1987; ny kartlegging av NGU). Den ytre delen av massivet har gjennom deformasjon fått en foliert ('lagdelt') struktur som omtrent følger den konsentriske oppbygningen. Gneisene opptill massivet er i regelen også sterkt deformerte med en velutviklet foliasjon som er parallell med anortosittmassivets rand. I sør fortsetter de sterkt deformerte gneisene i en tynt sone (septum) som skiller Egersund-Ogna Anortositten fra Håland Anortositten.

Den sentrale delen av Egersund-Ogna Anortositten består av homogen anortositt (Figur 2) som NV for Hellvik inneholder mange feno-krystaller og mega-krystaller av pyroksen og plagioklas (Figur 3). I den sentrale delen opptrer samtidig de viktigste forekomster av en type anortositt med blått fargespill (labradorisering) som brytes for naturstein i området øst for Sirevåg (Heldal & Lund 1995). Utetter følger en 1-4 km bred sone av leukonoritt som igjen følges av homogen anortositt med spredte pyroksen og plagioklas feno-krystaller lokalt. På Nordre Eigerøya (i vest) inneholder sistnevnte sone en markant agmatitt med kantede blokker av anortositt innesluttet i underordnet leukonoritt (Figur 7). Neste sone er en 0,5-1,2 km mektig enhet av foliert anortositt og leukonoritt med sterkt uttrukne, fiskeliknende feno-krystaller av pyroksen som gir bergartene en velutviklet planarstruktur (Figur 4-6). Også rekker av større, avlange pyroksen mega-krystaller opptrer lokalt. Den folierte sonen har i

nord skarpe grenser til lite deformerte anortosittiske enheter på begge sider, men flytter seg gradvis ut til randen av massivet i den østlige og sørlige del av Egersund-Ogna Anortositten. De to sonene som opptrer langs den nordlige rand av massivet kiler ut vest for Helleland i øst og nord for Bjårvatnet i vest. Dette betyr at den interne strukturen i Egersund-Ogna Anortositten ikke helt følger grensen for massivet mot gneisene. Sonen umiddelbart nord for den folierte sonen består av ganske massiv anortositt med et varierende innhold av opptill 30-40 cm lange, uregelmessige pyroksen mega-krystaller. Stedvis inneholder den i tillegg iøynefallende mega-krystaller, eller ansamlinger mega-krystaller, av pyroksen som er opptill 1-2 m lange. Den ytterste sonen i nord består av homogen, nesten udeformert leukonotittisk anortositt med 5-10% jevnt fordelt pyroksen.



Figur 3. Ortopyroksen mega-krystaller i anortositt. Hammerskaftet er ca.1 m langt.



Figur 4. Deformerte ortopyroksen feno-krystaller i Egersund-Ogna Anortositten.



Figur 5. Foliert anortositt med sterkt uttrukne, fiskeliknende feno-krystaller av pyroksen. Egersund-Ogna Anortositten.



Figur 6. Foliert anorthositt med diffuse lag av leuconoritt fra foliert sone i nordvestlige del av Egersund-Ogna Anortositten.



Figur 7. Agmatitt hvor anortositt er intrudert av leukonoritt og danner blokkformige inneslutninger. Mørke mineraler forvitrer ut som huller i leukonoritten. Nordre Eigerøya.

Opptil gneisene langs den vestlige rand av Egersund-Ogna Anortositten finnes en jotunnittisk intrusjon, *Hadland intrusjonen*, som mest er lagdelt med lag av vekslende mineralsammensetning. Lagdelingen er parallell med anortosittens kontakt og faller mot nordvest. I den sørøstlige del av Egersund-Ogna Anortositten finnes en annen intrusjon, *Koldal intrusjonen*, som består av noritt og leukonoritt.

HÅLAND ANORTOSITTEN

Håland Anortositten er skilt fra Egersund-Ogna Anortositten ved en velfoliert kontaktsone som også omfatter en tynn sterkt deformert sone (septum) av de omgivende gneisene (Figur 8). I øst skjæres legemet av den yngre og udeformerte Hellenen Anortositten. Håland Anortositten er oppbygget av anortositt og leukonoritt med kompliserte relasjoner mellom de ulike bergartsfasene. Alle bergartene er samtidig deformert i varierende grad, en ting som har komplisert relasjonene enda mer.

Håland Anortositten kan inndeles i to enheter. Den nordlige enheten domineres av anortositt med 10-40 cm lange, elliptiske, leukonorittiske "pseudo-inneslutninger" (boller av sammenvokset plagioklas og pyroksen; Michot 1961) som viser varierende grad av deformasjon (Figur 9-10). Ved stigende deformasjon strekkes "pseudo-inneslutningene" og tynnes ut for til slutt å danne en båndet anortosittisk bergart med opptil noen cm brede, diskontinuuerlige, tettliggende, mørke pyroksen-førende bånd. Lengst nord i enheten, opptil det sterkt deformerte septum av gneis, opptrer en 100 til 300-400 m mektig sone av massiv leukonotitt, som inneholder en rekke viktige ilmenittforekomster (Figur 11) som ble utnyttet under den første gruvedrift i området for 100-200 år siden; først for jern, senere for titan.



Figur 8. Båndet gneis med sterkt deformerte bånd av ulike bergarter. Fra tynn sone (septum) av gneis som skiller Egersund-Ogna Anortositten fra Håland Anortositten. Koldal.



Figur 9. Anortositt (lysest) med deformerte leukonorittiske "pseudo-inneslutninger" fra Håland Anortositten. Ø for Hestnes.



Figur 10. Detalj av leukonorittisk "pseudo-inneslutning" (med mørke mineraler) fra Håland Anortositten. Ø for Hestnes.



Figur 11. Lag av ilmenitt-malm i anortositt i Håland Anortositten. Kydlandsvatn.



Figur 12. Foliert leukonoritt (spettene er ortopyroksen). Håland Anortositten. Mong

Den sørlige enheten i Håland Anortositten er oppbygget av vekslende lag av anortositt og leukonoritt. Den dominerende bergartstypen er grovspettet leukonoritt med 2-4 cm lange, uttrukne ansamlinger av pyroksen som definerer en planar, foliøst struktur (Figur 12). Leukonoritten inneholder lokalt 0.5-2 m tykke lag av anortositt, som er parallelle med foliasjonen, samt mengder av sene, diffuse anortosittårer (Figur 13-15). Vanlige i leukonoritten er også opptil flere meter store fiskeformede inneslutninger av en båndet bergartsfase med en veksling av tynne, tettliggende lyse (anortosittiske) og mørke (norittiske) lag med diffuse overganger.



Figur 13. Grense mellom leukonoritt (tv) og anortositt (th) i Håland Anortositten. Mong.



Figur 14. Typisk relasjon mellom foliøst leukonoritt og et komplekst mønster av lag og årer av anortositt (glatt overflate) i Håland Anortositten. Mong.

Bergartsfasen ligner for øvrig ganske mye på sterkt deformert anortositt med leukonorittiske "pseudo-inneslutninger" fra Håland Anortosittens nordlige enhet, som derfor synes å danne inklusjoner i den litt yngre grovspettete leukonoritten, som utgjør den sørlige enheten. Den folierte strukturen i grovspettet leukonoritt er i øst foldet i tette folder, som skjæres av den udeformerte Hellingen Anortositten.



Figur 15. Velfoliert leukonoritt med lag av anortositt som står litt frem. Håland Anortositten. Mong.

HELLEREN ANORTOSITTEN

Hellingen Anortositten avskjærer grenser og interne deformasjonsstrukturer for både Egersund-Ogna og Håland Anortosittene og har klare intrusive kontakter. I nord og øst er Hellingen Anortositten igjen intrudert av den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen. Hellingen Anortositten består av massiv og udeformert rett grov- til mellomkornet anortositt og leukonoritt. Leukonoritten forekommer først og fremst i en 1-2 km bred sone langs den vestlige randen av Anortositten, men opptrer også i små områder lengre i øst. Leukonoritten er oftest mellomkornet med jevnt fordelt pyroksen i spetter (Figur 16). Anortositten inneholder lokalt feno-krystaller av plagioklas mens feno-krystaller av pyroksen er relativt sjeldne.



Figur 16. Massiv leukonoritt fra Hellingen Anortositten med jevnt fordelte spetter med ortopyroksen som er forvitret ut. Øst for Vind-Birkeland

ÅNA-SIRA ANORTOSITTEN

Åna-Sira Anortositten er et ganske homogent anortosittlegeme som hovedsakelig består av anortositt og anortosittisk leukonoritt (Krause et al. 1985). De to bergartene er uregelmessig fordelt og er ikke skilt ut fra hverandre på kartet. Mega-krystaller av pyroksen forekommer sporadisk. Sammensetting og tekstur for Åna-Sira Anortositten er ganske lik det som ses i Hellingen Anortositten, og begge er datert til 932 ± 3 millioner år ved hjelp av U-Pb isotoper (Schärer et al 1996). Dette underbygger antagelsen om at de to Anortosittene i realiteten dannet ett og samme massiv som bare 'deles' i toppen ved et traue av Bjerkreim-Sokndal Intrusjonens bergarter.

Åna-Sira Anortositten er det viktigste anortosittmassivet i Rogaland med hensyn til jern-titan-malmforekomster og inneholder to store ilmenittforekomster, *Tellnes* og *Storgangen* som ligger i norittintrusjoner, samt en lang rekke mindre forekomster. Den skjærende og grovkornete *Blåfjell-Laksedal* norittpegmatitten inneholder også en rekke jern-titan-mineraliseringer. Åna-Sira Anortositten inneholder også små intrusjoner av andre norittiske dypbergarter, så som *Hogstad Intrusjonen* i den sørøstlige del (Vander Auwera & Duchesne 1996) og *Bøstølen Intrusjonen* i den sentrale del, men ingen fører nevneverdig malm. Endelig skjæres massivet av en del ganger av bergarter som varierer fra jotunit til noritt og mangeritt.

DEN LAGDELTE BJERKREIM-SOKNDAL INTRUSJONEN

Den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen er inndelt i seks sykliske enheter som benevnes: 0, IA, IB, II, III og IV. De er sykliske i den forstand, at hver syklisk enhet representerer tilførsel av en ny porasjon smelte (magma) til intrusjonen som så krystalliserer ut og størkner i en bestemt rekkefølge (fraksjonert krystallisasjon; Figur 17). I hver syklus fås derfor i

prinsippet en repetisjon av bergarter. Utviklingen er bestemt av smeltesammensetning, blanding av smelter, de fysiske betingelser i magmakammeret o.s.v. Under størkningen synker noen av de tunge mineralene så som olivin og ilmenitt til bunns i magmakammeret, mens lette mineraler som plagioklas kan stige opp og legge sig på toppen av smelten. Slike bergarter betegnes kumulater (C). De sykliske enhetene består på denne måte hver av et antall soner med kumulater (a-f) som er definert ved bestemte (indeks)mineraler (Wilson et al. 1996).



Figur 17. Magmatisk gradert lagdeling i Bjerkreim-Sokndal intrusjonen dannet ved fraksjonert krystallisasjon. Storeknuten.

Hvor den er mektigst oppnår den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen en tykkelse på mer enn 7000 meter. Den er tolket å være dannet ved fraksjonert krystallisasjon fra et jotunitisk modern magma som er blitt tilført intrusjonen i flere pulser (Duchesne & Hertogen 1988, Robins et al. 1997). Intrusjonen er tradisjonelt oppdelt i tre lober; Bjerkreim, Sokndal og Mydland lobene. Senere er det vist at Mydland loben i sørøst danner en stor inneslutning i den jotunitisk-mangerittiske *Apofyse*-intrusjonen (Bolle et al. 1997; se neste avsnitt). Lobene representerer traue som er dannet ved innsynkning forårsaket av vekten av Bjerkreim-Sokndal Intrusjonens bergarter på et sent stadium av den magmatiske utviklingen (Paludan et al. 1994, Bolle et al. 2002). De sure dypbergartene, kvartsmangeritt og charnockitt, som ligger på toppen av den lagdelte serien (Duchesne & Wilmart, 1997) synes å fortsette sørøstover i Apofyse-intrusjonen.

Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen inneholder store mengder jern-titan-mineraliseringer som til dels har et betydelig innhold av apatitt (kalsiumfosfat) og vanadium. Denne typen mineraliseringer finnes som kumulater i bunnen av syklene I, IV og i mindre skala III (Schiellerup et al. 2001, Meyer et al. 2002). Tonnasjen er meget stor idet mineraliseringene er lagbundne og dekker store arealer.

APOFYSEN

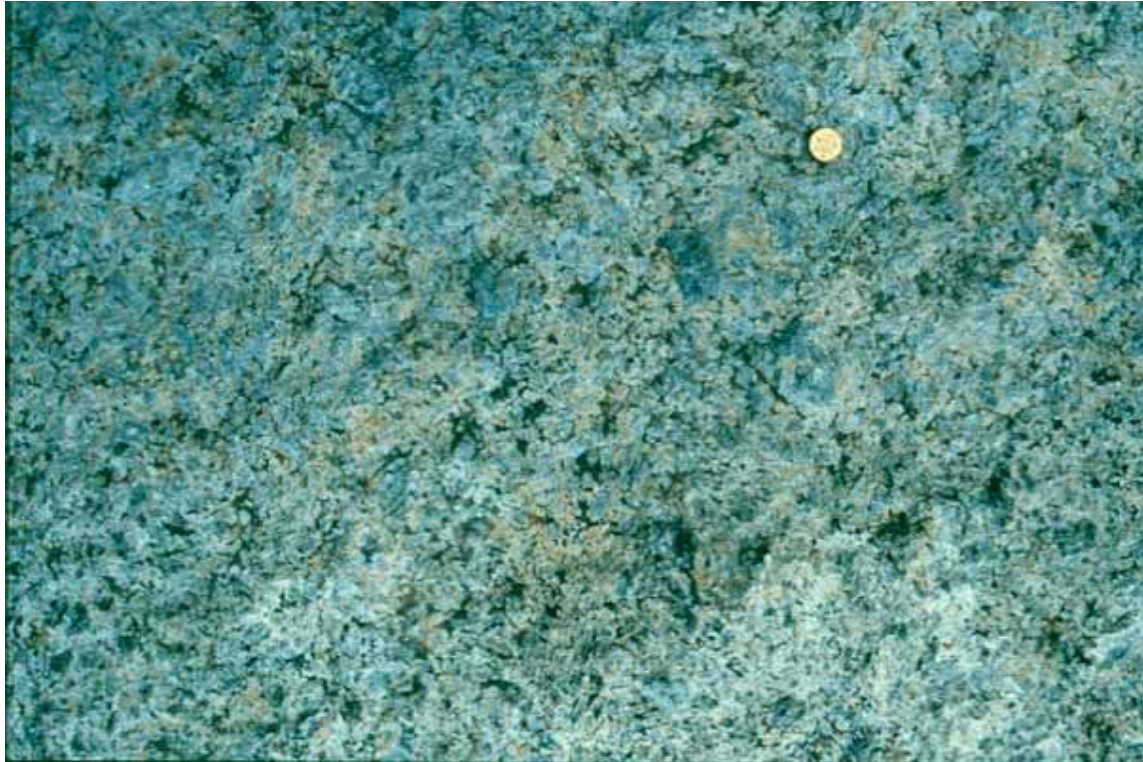
Den såkalte Apofyse-intrusjonen strekker sig mot sørøst og danner en fortsettelse av kvartsmangerittene, som dekker den lagdelte Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen. Den er intrudert langs kontakten mellom Åna-Sira Anortositten og de eldre gneisene i øst. Intrusjonen består av en blanding av jotunittiske og kvartsmangerittiske bergarter (Figur 18), som delvis er tydelig folierte.



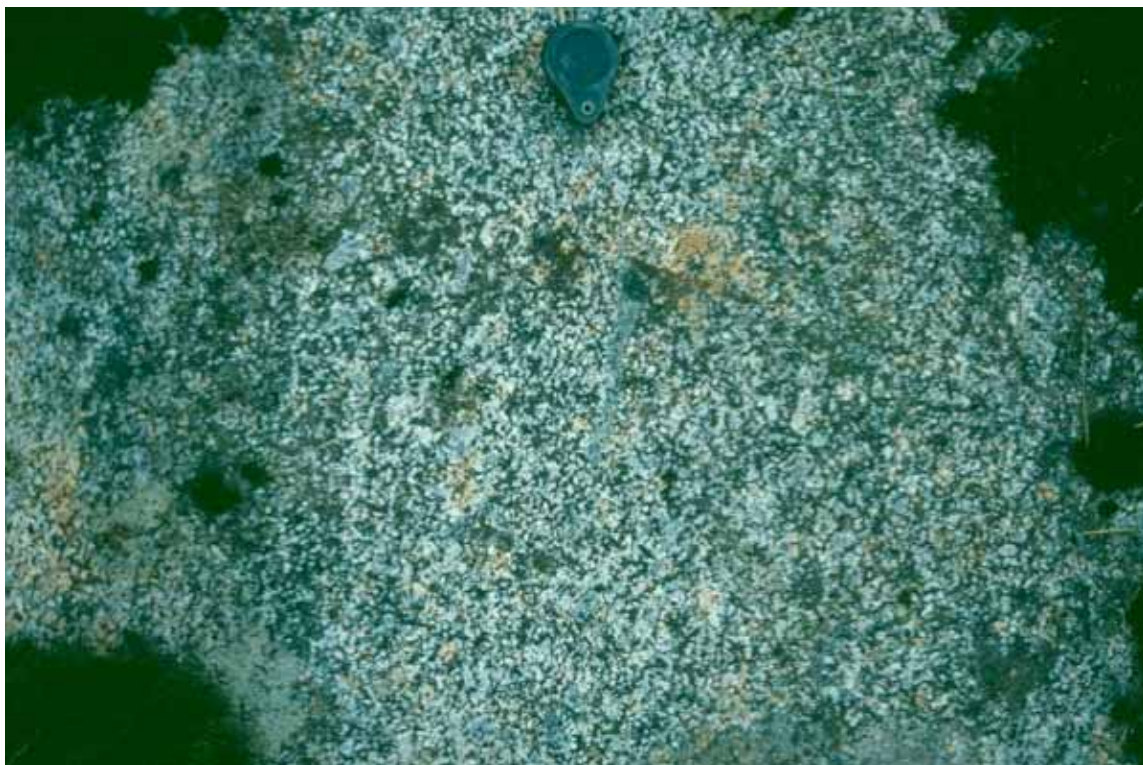
Figur 18. Kvartsmangeritt med karakteristisk gullig farge fra Apofyse-intrusjonen ved Gjersdal.

HIDRA OG GARSAKNATT ANORTOSITTENE

Hidra og Garsaknatt Anortosittene utgjør to mindre anortosittiske til leuconotittiske legemer i den østlige del av provinsen, hvor de intruderer og skjærer de omgivende gneisene (Michot & Michot 1969). Anortosittene har en grå farge (Figur 19) i motsetning til i den øvrige del av Rogaland Anortosittprovins, hvor anortosittene er brunlige. Hidra Anortositten har en mer finkornet jotunittisk randsone mot gneisene, som er dannet ved rask avkjøling som har "frosset" den mer opprinnelige smeltesammensetning (Figur 20). På grunnlag av dette kan det vises at anortosittene ble dannet ved magmatiske prosesser (fraksjonert krystallisasjon) fra en jotunittisk modersmelte (DemaiFFE & Hertogen 1983). Garsaknatt Anortositten viser klart de intrusive relasjonene til de omgivende gneisene og består mest av anortositt og leukonoritt (ikke utskilt på kartet). Både Hidra og Garsaknatt Anortosittene inneholder partier av anortositt med blå fargespill, som eventuelt kan være av interesse som naturstein (Heldal & Lund 1995).



Figur 19. Typisk (blålig)grå anortositt fra Garsaknatt Anorthositten. Hidra anortositten har et tilsvarende utseende og skiller seg fra provinsens øvrige anortositter som er brunlige.



Figur 20. Noritt fra randen av Garsaknatt Anorthositten.

EIA-REKEFJORD INTRUSJONEN OG JOTUNITTGANGER

Eia-Rekefjord Intrusjonen (Michot 1960) er den mest markante jotunittske intrusjon i anortosittprovinsen. Den opptrer først og fremst langs kontakten mellom den sørlige lobe av

Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen (Sokndal loben) og de underliggende Helleren og Åna-Sira Anortosittene, men skjærer (intruderer) også kvartsmangerittene på toppen av Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen. Mindre legemer av antatt beslektet jotunittisk bergart finnes i den østlige Mydland lobe og i Apofyse-intrusjonen. Jotunitten i Eja-Rekefjord Intrusjonen er generelt mellomkornet og meget monoton.

I hele Rogaland Anortosittprovins finnes jotunittiske ganger (dykes), som skjærer alle de store anortosittene (Michot 1960). Den mest markante er **Lomeland-gangen** øst for Egersund, som fra sør til nord skjærer Håland og Egersund-Ogna Anortosittene for til slutt å fortsette komplekst forgrenet inn i Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen.

FARSUND CHARNOCKITEN

Farsund Charnockitten i den sørøstligste del av kartet er en av de sure, granittiske intrusjonene som er knyttet til Rogaland Anortosittprovins. Charnockitten er en mørk olivengrønlig bergart med en usikker U-Pb aldersbestemmelse på mellom 940 og 900 millioner år (Falkum & Petersen 1987).

GNEISER (SVECONORVEGISKE)

Gneisene som er vertsbergarter for Rogaland Anortosittprovinsens dypbergarter tilhører det Sveconorvegiske gneiskomplekset som dominerer i Sør-Norge. De er 1500-1000 millioner år gamle, mens deformasjonen ble avsluttet for ca. 1000 millioner år siden, som resultatet av den Sveconorvegiske fjellkjededannelse. Gneisene var derfor på plass og i det store og hele deformerte før anortosittprovinsens dypbergarter trengte inn. I tillegg til hovedutbredelsen i nordøst forekommer gneisene i en sterkt deformert utgave som et septum mellom Egersund-Ogna og Håland Anortosittene. Gneisene er metamorfosert under granulitt-facies betingelser, d.v.s. under høye temperatur- og trykkforhold dypt i jordskorpen, hvilket medfører, at de oftest har en 'kjedelig' grå farge uansett sammensætning og en kornet tekstur (granuler (herav navnet granulitt-facies)), som ofte slører bergartsmessige detaljer. De fleste gneisene viser ofte stor kontinuitet langs strøkretingen, som kan avspeile at de opprinnelig ble intrudert som lagformige legemer, men nok så viktig, at de er blitt uttynnet og strakt under deformasjonen. Og deformasjonsgraden er generelt høy i de Sveconorvegiske gneisene, ofte som resultat av omfattende skjærbevegelse. Deformasjonen er spesielt sterk langs grensen til Apofyse-intrusjonen.

Gneisene i Rogaland Anortosittprovins er nesten utelukkende av magmatisk opprinnelse, dvs. smelter som overveiende er størknet som dypbergarter mens primære lavabergarter størknet på jordens overflate er sjeldne. De kan i grove trekk deles i to grupper; en eldre gruppe som består av granodiorittiske til granittiske gneiser med årer av delvis oppsmeltet materiale (anatexis), og en yngre gruppe av ulike typer granitt som ikke viser denne oppsmeltning. Begge er deformert og foliært. Især gneisene fra den eldre gruppen viser en sterk deformasjon som samtidig gir sig uttrykk i en markant utviklet planar struktur, hvor primære relasjoner mellom ulike bergartskomponenter utslettes og årer med oppsmeltet materiale (anatexis) orienteres inn parallelt med foliasjonen. Disse velfolierte gneisene kalles vanligvis **båndet gneis** (Figur 21), på tross av at båndingen ofte kun består av in situ oppsmeltete årer som er blitt utstrakte og gjort parallelle på grunn av deformasjon, og ikke en egentlig veksling av ulike bergarter. I kartområdet inneslutter båndet gneis noen få mindre lag eller bånd av kraftig oppsmeltet (ved anatexis) granat- og sillimanitførende **pelitt** (opprinnelig



Figur 21. Båndet gneis. De lyse lagene er granittiske og er yngste bergarten som har deltatt i den sterke deformasjonen. Gjersdal NØ for Åna-Sira



Figur 22. Granittisk gneiss med svakt utviklet foliasjon. SV for Gursli.

leiret sediment) og, mindre hyppig, ortopyroksen-holdig *amfibolitt*. Pelittisk gneis inneholder ofte, som noe helt spesielt for området, et unikt fiolettaktig mineral, ossumilitt, som ble dannet under høy varmpåvirkning fra de inntrengende anortosittmassivene. Tynne bånd av *kvartsitt* er bare viktige nær Gjersdal i den sørøstlige del av området. En viktig fase i båndet gneis er en *lysgrå granitt*, som opptrer i form av deformerte, sene årer eller bånd i varierende mengde, som er nesten konforme med lagdelingen. Bergartene og den høye deformasjonen

som ses i den tynne sone (septum) av gneis som finnes langs kontakten mellom Egersund-Ogna og Håland Anortosittene svarer helt til båndet gneis på andre plasser.

Den yngre gruppe av granittiske gneiser uten in situ oppsmelte årer (anatexis) omfatter både jevnkornete og porfyrittiske typer. Alminneligst er en mellomkornet, ensartet **granittisk gneis** med en mer eller mindre tydelig utviklet foliasjon (Figur 22). En **grovkornet metagranitt rik på hvite pegmatitter** opptrer nær Hovsvatnet. De porfyrittiske typene er svakt til velfolierte. Mest alminnelig er en **porfyrittisk metagranitt** med varierende mengder av feltspat fenokrystaller. Vest for Lundevatnet opptrer en karakteristisk grov-porfyrittisk metagranitt som hører til den såkalte **Feda suite** (Bingen & van Breemen 1998a, 1998b; Figur 23), som er en vanlig type i det sydnorske gneiskompleks. Begge de porfyrittiske typene inneholder sprette deformerte årer av metagranitt.



Figur 23. Porfyrittisk metagranitt (Feda-type) med flere cm lange feltspat fenokrystaller. Vest for Gursli.

Alderen av de Sveconorvegiske gneisene er usikker. Det gjelder især for de båndete gneisene. Intrusjonen av den porfyrittiske Feda-type granitt er datert til 1051 millioner år (Bingen & van Breemen 1998b; U-Pb metode), mens granittiske gneiser gir intrusjonsaldre på 1056-1035 millioner år (Möller et al. 2002; U-Pb metode). Pågående dateringer ved NGU viser at den eldre gruppen av granodiorittiske til granittiske gneiser er opptil 1500 millioner år gamle. Alderen av deformasjon og metamorfose er bestemt til 1025-970 millioner år (Bingen & van Breemen 1998b; U-Pb monasitt datering). Möller et al. (2002) har bestemt U-Pb aldre for metamorfe zirkoner til mellom 1015-1000 og 930-910 millioner år fra granittisk gneis nord for Teksevatnet. Den yngste aldersgruppe antas å datere varmepåvirkning (kontaktmeta-morfose) fra de inntrengende anortosittmassivene (ca. 930 millioner år gamle).

REFERENSER

- Bingen, B., Demaiffe, D. & van Breemen, O. 1998:** The 616 Ma old Egersund Basaltic dike swarm, SW Norway, and Late Neoproterozoic opening of the Iapetus Ocean. *J. Geology* 106, 565-574.
- Bingen, B. & van Breemen, O. 1998a:** Tectonic regimes and terrane boundaries in the high-grade Sveconorwegian belt of SW Norway, inferred from U-Pb zircon geochronology and geochemical signature of augen gneiss suites. *J. Geol. Soc. London* 155, 143-154.
- Bingen, B. & van Breemen, O. 1998b:** U-Pb monazite ages in amphibolite- to granulite-facies orthogneiss reflect hydrous mineral breakdown reactions: Sveconorwegian Province of SW Norway. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 132, 336-353.
- Bolle, O., Diot, H. & Duchesne, J.C. 1997:** Anisotropie de la susceptibilité magnétique dans une intrusion composite de la suite charnockitique: l'apophyse du massif stratiforme de Bjerkreim-Sokndal (Rogaland, Norvège méridionale). *C. R. Acad. Sci. Paris* 325, 799-805.
- Bolle, O., Trinidad, R.I.F., Bouchez, J.L. & Duchesne, J.C. 2002:** Imaging downward granitic magma transport in the Rogaland Igneous Complex, SW Norway. *Terra Nova* 14, 87-92
- Demaiffe, D., Duchesne, J.C., Michot, J. & Pasteels, P. 1973:** Le massif anorthosito-leuconoritique d'Hidra et son faciès de bordure. *C.R. Acad. Sc. Paris* 277, 14-20.
- Demaiffe, D. & Hertogen, J. 1981:** Rare earth element geochemistry and strontium isotopic composition of a massif-type anorthositic-charnockitic body: the Hydra Massif (Rogaland, SW Norway). *Geochim. Cosmochim. Acta* 45, 1545-1561.
- Duchesne, J.C. & Hertogen, J. 1988:** Le magma parental du lopolithe de Bjerkreim-Sokndal (Norvège Méridionale). *C.R. Acad. Sci. Paris* 306, 45-48.
- Duchesne, J-C. & Korneliussen, A. (eds.), 2003:** Ilmenite deposits and their geological environment. *Norges geologiske undersøkelse Special Publication* 9, 134 pp.
- Duchesne, J.C. & Maquil, R. 1987:** The Egersund-Ogna massif. In: Maijer, C and Padget, P. (eds.): The geology of southernmost Norway: an excursion guide. *Norges geologiske undersøkelse Special Publication* 1, 50-56.
- Duchesne, J.C. & Wilmart, E. 1997:** Igneous charnockites and related rocks from the Bjerkreim-Sokndal layered intrusion (southwest Norway): a jotunite (hypersthene monzodiorite)-derived A-type granitoid. *J. Petrol.* 38, 337-369.
- Falkum, T. & Petersen, J.S. 1987:** The Agder migmatitic gneiss complex. In: Maijer, C and Padget, P. (eds.): The geology of southernmost Norway: an excursion guide. *Norges geologiske undersøkelse Special Publication* 1, 40-47.
- Heldal, T. & Lund, B. 1995:** A regional study of the dimension-stone potential in labradorite-bearing anorthositic rocks in the Rogaland Igneous Complex. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 427, 123-126.

- Hermans, G.A.E.M., Tobi, A.C., Poorter, R.P.E. & Maijer, C. 1975:** The high-grade metamorphic Precambrian of the Sirdal-Ørsdal area, Rogaland/Vest Agder, SW Norway. *Norges geologiske undersøkelse* 318, 51-74.
- Karlsen, T.A., Nilsson, L.P., Schiellerup, H., Marker, M. & Gautneb, H. 1998:** Berggrunnsgeologisk kart over Åna-Sira anortosittmassiv m. omgivelser. Målestokk 1:25000. *Norges geologiske undersøkelse (also enclosure in NGU Rapport 98.068)*.
- Krause, H., Gierth, E. & Schott, W. 1985:** Ti-Fe deposits in the South Rogaland Igneous Complex, with special reference to the Åna-Sira anorthosite massif. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 402, 25-37.
- Meyer, G.B., Schiellerup, H. & Tegner, C. 2002:** Chemical characterisation of ilmenite, magnetite and apatite in the Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, South Norway. *Norges geologiske undersøkelse Report* 2002.042, 18 pp.
- Michot, J. 1961:** The anorthositic complex of Haaland-Helleren. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 41, 157-172.
- Michot, J. & Michot, P. 1969:** The problem of anorthosites: the South Rogaland igneous complex, southern Norway. *In: Isachsen, Y.W. (ed.) Origin of anorthosite and related rocks.* New York State Museum Science Service Mem. 18, 399-410.
- Michot, P. 1960:** La geologie de la catazone: Le probleme des anorthosites, la palingenese basique et la tectonique catazonale dans le Rogaland meridional (Norvege meridionale). *International Geological Congress 1960, Excursion guide* A9, 54 pp.
- Möller, A., O'Brien P.J., Kennedy, A. & Kröner, A., 2002:** Polyphase zircon in ultrahigh-temperature granulites (Rogaland, SW Norway): constraints for Pb diffusion in zircon. *J. Metamorphic Geol.*, 20, 727-740.
- Paludan, J., Hansen, U.B. & Olesen, N.Ø. 1994:** Structural evolution of the Precambrian Bjerkreim-Sokndal Intrusion, South Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 74, 185-198.
- Rietmeijer, F.J.M. 1979:** Pyroxenes from iron-rich igneous rocks in Rogaland, SW Norway. *Geol. Ultrajectina* 21, 341 pp.
- Robins, B., Tumyr, O., Tysseland, M. & Garmann, L.B. 1997:** The Bjerkreim-Sokndal layered intrusion, Rogaland, SW Norway: Evidence from marginal rocks for a jotunite parent magma. *Lithos* 39, 121-133.
- Schärer, U., Wilmart, E. & Duchesne, J.C. 1996:** The short duration and anorogenic character of anorthosite magmatism: U-Pb dating of the Rogaland complex, Norway. *Earth Planet. Sci. Lett.* 139, 335-350.
- Schiellerup, H., Meyer, G.B., Tegner, C., Robins, B. & Korneliussen, A. 2001:** Resources of apatite, ilmenite and magnetite in the Bjerkreim-Sokndal Layered Intrusion, Rogaland, South Norway. *Norges geologiske undersøkelse Report* 2001.092, 21 pp.
- Vander Auwera, J. & Duchesne, J.C. 1996:** Petrology and geochemistry of the noritic Hogstad layered body (Rogaland, SW Norway): implications for the nature of andesine

anorthosite parent magma. *In: Demaiffe, D. (ed.) Petrology and geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crust.* Université Libre de Bruxelles, 111-128.

Wilson, J.R., Robins, B., Nielsen, F.M., Duchesne, J.C. & Vander Auwera, J. 1996: The Bjerkreim-Sokndal layered intrusion, southwest Norway. *In: Cawthorn, R.G. (ed.) Layered intrusions,* Elsevier Science B.V., Amsterdam, 231-256.