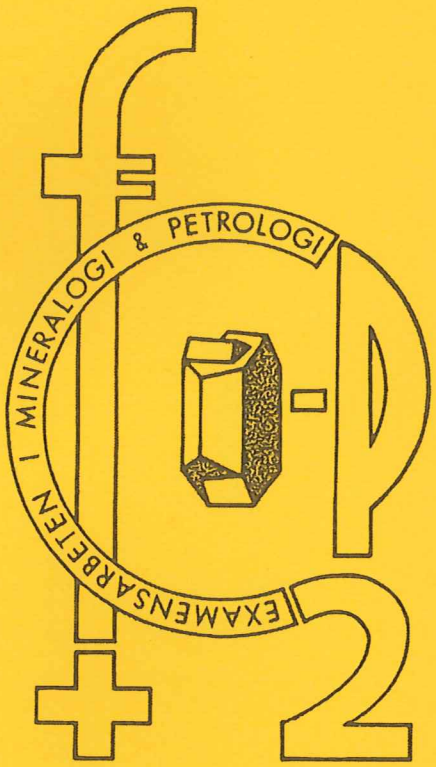
EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA
2003 -11- 10

Berggrundsgeologi



Magmatisk och Metamorf Petrologi av en Mafisk intrusion i Mylonitzonen

Carl Alwmark

Lunds univ. Geobiblioteket
15000 600955606

Examensarbete, 20 p
Institutionen, Lunds Universitet

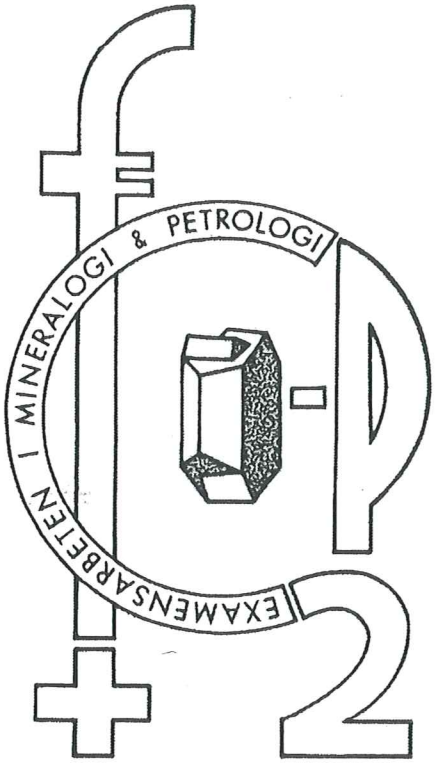
Nr 168

LiLo

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA
2003 -11- 10

Berggrundsgeologi



Magmatisk och Metamorf Petrologi av en Mafisk intrusion i Mylonitzonen

Carl Alwmark

Lund 2003 Examensarbete, 20 p Nr 168
Geologiska Institutionen, Lunds Universitet

Innehållsförteckning

Svensk sammanfattning 1

English abstract 3

Inledning 5

Geologisk översikt 6
Regional geologi 6
Lokal geologi 6
Norra Hortens geologi/Fältobservationer 7
Åldersförhållanden 10
Mafiter på Bua halvön med omnejd 10

Norra Hortens Bergarter 11
Hornbländit 11
Metagabbro 12
Varianter av metagabbron 13
Granatamfibolit 15

Tolkning och Diskussion 16
Magmans ursprung 16
Diskrimineringsdiagram 16
Spiderdiagram 16
Bergarternas relation 17
Bergarternas metamorfa historia 19
Hornbländit & Metagabbro 19
Granatamfibolit 19
Metamorf faciestillhörighet 19
Jämförelse med andra mafiska intrusioner i SV Sverige 20
Petrologiskt 20
Metamorft 20

Slutsatser 20

Tack 21

Referenser 21

Appendix 1: Kemiska analyser 23

Appendix 2: Punkträkning och beräkning av normativa mineral 24

Appendix 3: Mineral analyser 25

Norra Horten - Magmatisk och Metamorf Petrologi av en Mafisk intrusion i Mylonitzonen

CARL ALWMARK

Alwmark, C., 2003: Norra Horten - Magmatisk och Metamorf Petrologi av en Mafisk intrusion i Mylonitzonen. *Examensarbete i Geologi vid Lunds Universitet - Berggrundsgeologi, nr 168.*

Svensk sammanfattning

I Mylonitzonen, strax utanför Buahalvön ligger Norra Horten, en mantelderiverad mafit som intruderat i samband med uppsmältingsprocesser relaterade till en östliga subduktionshändelse mellan 1.69-1.55 Ga. Intrusionen består av två huvudbergarter, metagabbro och hornbländit. Hornbländiten är ett kumulat av metagabbron. Kumulatets kemiska sammansättning pekar på att en fraktionering av olivin föregått ackumuleringen av hornbländiten. Hornbländiten består till största delen av amfiboler och en del pyroxen samt små mängder kvarts och apatit. Metagabbron består av amfibol, plagioklas, kvarts och granat. En stor del av amfibolen i de båda bergarterna är primär. En restsmälta av metagabbron återfinns som gångar av mafisk aplit.

En kraftigt omvandlad bergart med stora granater, granatamfibolit, återfinns i lösa block. Granatamfiboliten består av biotit, plagioklas, ortoamfibol, järn- och titanoxider samt mörkröda upptill 1 dm stora granater. I granaterna återfinns en avblandningsfas, i form av mycket tunna orienterade rutilnålar. Vid intrusionen av den mafiska smältan har sidoberget smält upp och trängt in (backveining) i intrusionen som pegmatiter.

Under den Svekonorvegiska orogenesen och utbildandet av Mylonitzonen har Norra Horten blivit utsatt för metamorfos med inverkan av fluider, samt marginell deformation. Bergarterna har metamorfoserats i övre amfibolit- till granulitfacies. Bergarterna har senare retrograderats i grönskifferfacies.

Nyckelord: Norra Horten, Mylonitzonen, intrusion, subduktion, hornbländit, metagabbro, fraktionering.

Norra Horten - Magmatic and Metamorphic Petrology of a Mafic intrusion in the Mylonite zone

CARL ALWMARK

Alwmark, C., 2003: Norra Horten - Magmatic and Metamorphic Petrology of a Mafic intrusion in the Mylonite zone. *Examensarbete i Geologi vid Lunds Universitet- Berggrundsgeologi, nr 168.*

Abstract

In the Mylonite zone, south of the Bua peninsula lies Norra Horten, a mantle derived mafic body that intruded in association with melting processes related to eastward subduction between 1.69-1.55 Ga. The intrusion consists of two main rock types, metagabbro and hornblendite. The hornblendite is a cumulate of the metagabbro. The cumulate´s chemical composition suggests that a fractionation of olivine preceded the accumulation of the hornblendite. The hornblendite consists mainly of amphibole, some clinopyroxene and minor amounts of quartz and apatite. The metagabbro contains amphibole, plagioclase, quartz and garnet. A large part of the amphibole in both rock types is of primary igneous origin. A rest-melt of the metagabbro formed dykes of mafic aplite.

A third rock type, garnet amphibolite, occurs in locally derived blocks in a slope beneath an old quarry. The garnet amphibolite consists of biotite, plagioclase, orthoamphibole, iron and titanium oxides and deeply red garnet, in sizes up to 1 decimetre. Exsolution textures in the form of very thin orientated needles of rutile occur in the garnet. At the time of intrusion the surrounding rock melted and backveined the mafic intrusion as pegmatites.

During the Sveconorwegian orogeny and the development of the Mylonite zone, Norra Horten was metamorphosed under the influence of fluids and minor deformation. The rocks were metamorphosed in upper amphibolite to granulite facies, and during uplift, retrograded in greenschist facies.

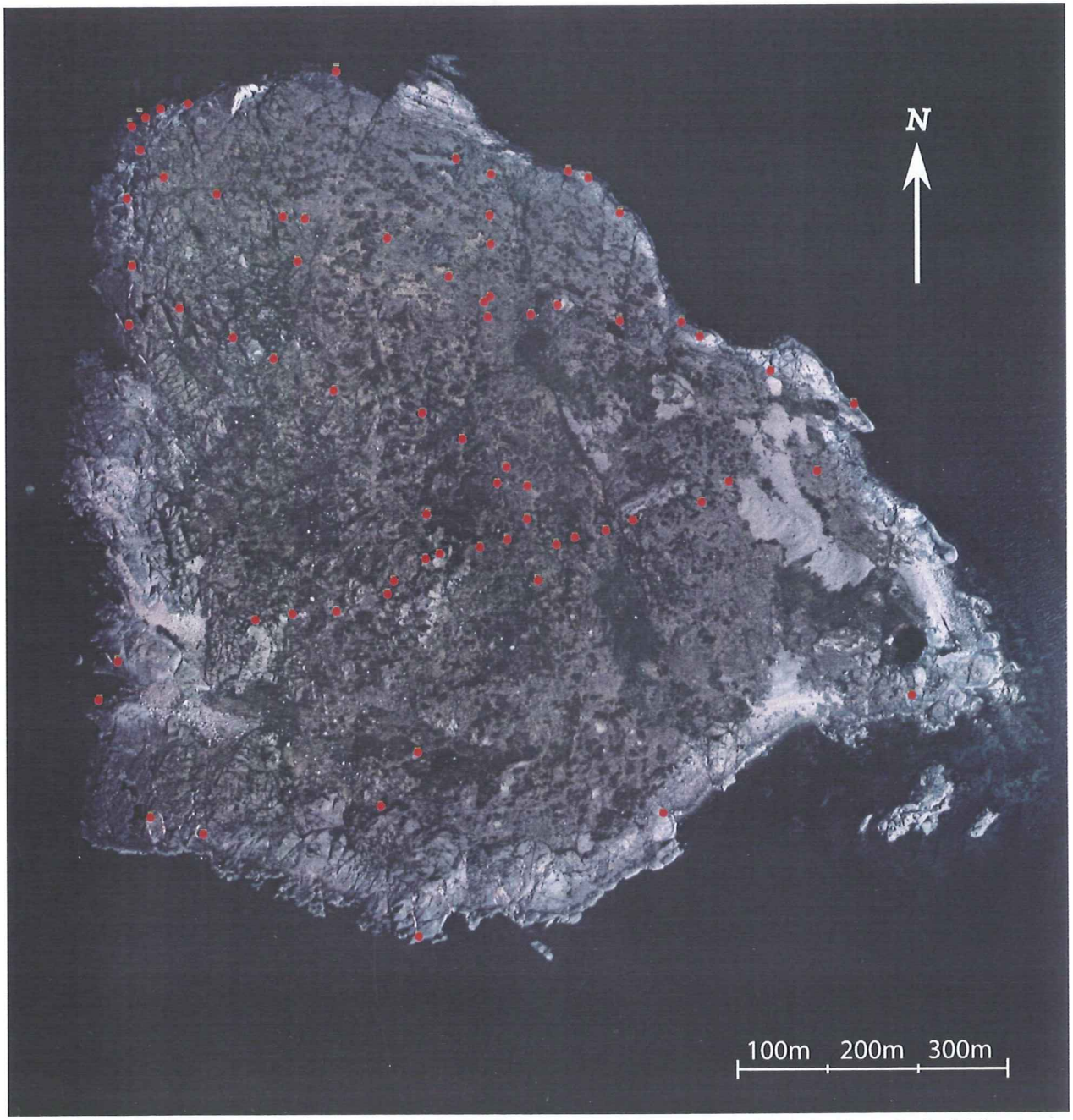
Keywords: Norra Horten, Mylonite zone, intrusion, subduction, hornblendite, metagabbro, fractionation.

Inledning

Norra Horten är en mafisk intrusion belägen i Mylonitzonen, en zon med kraftigt deformerade bergarter. Intrusionen är en relativt stor, välbevarad och kompetent bergartsenhet som endast marginellt påverkats av deformationen i området. Den kan därför ge petrologisk information om förhållanden som rått både före, under och efter deformationen i Mylonitzonen. Syftet med undersökningen är att få fram petrologisk och petrografisk data om intrusionen för att tolka dess utvecklingshistoria samt sätta in denna i ett större regionalt sammanhang. En frågeställning är om det är möjligt att knyta intrusionen till den närliggande sydsvenska granulitregionen i Östra Segmentet och korrelera den med andra mafiska intrusioner i sydvästra Sverige.

Norra Horten har karterats med hjälp av flygfoto och GPS (Fig. 1) och dess bergarters inbördes relation har beskrivits samt fotodokumenterats. Prov av huvudbergarterna har insamlats för kemisk analys och för studier i polarisationsmikroskop och svepelektronmikroskop.

Parallellt med denna studie har Norra Hortens zirkonpopulation undersökts av Lundmark (2001). Undersökningens främsta



Figur 1. Flygfoto över Norra Horten. GPS-mätpunkter är markerade med rött. Publicerad med tillstånd från Lantmäteriet.

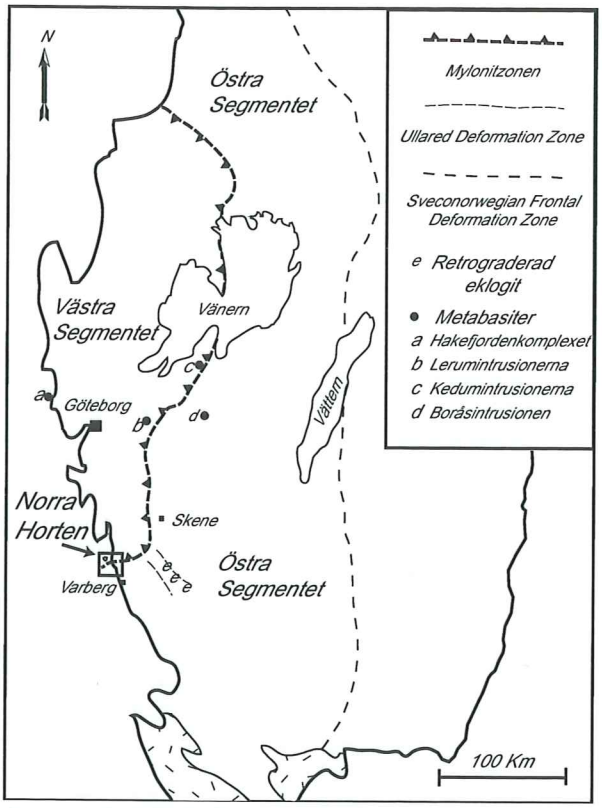
syfte var att se hur zirkoner påverkas av magmatiska och metamorfa processer samt att datera intrusionens bergarter och tolka resultaten utifrån ett regionalgeologiskt perspektiv.

Geologisk översikt

Regionalgeologi

Sydvästra Sveriges berggrund är en del av den Svekonorvegiska orogenen (1.2-0.9 Ga), och kan delas in i ett Västra- och ett Östra segment. Segmenten är separerade av Mylonitzonen, en ca 400 km lång deformationszon. Det Västra Segmentet består till större delen av suprakrustala bergarter och felsiska till intermediära djupbergarter i åldrarna 1.64-1.59 Ga (Conelly & Åhäll, 1996). Det Östra Segmentet är något äldre, ca 1.81-1.66 Ga (Söderlund, 1999) och består av felsiska till intermediära ortognejser (Åhäll & Larsson, 2000). Detta segment begränsas i öster av "Sveconorwegian Frontal Deformation Zone" (SFDZ).

Mylonitzonen är en duktil deformationszon bestående av ett flertal relativt parallella diskreta skjuvzoner. I de norra delarna av zonen stupar den brant östligt, mot söder svänger den dock av och vid Norra Horten har den en nästan rakt nordlig, flack stupning (Fig. 2). Zonen anses ha utbildats vid den kompressionella fasen då Baltica kolliderade med Laurentia under den Svekonorvegiska orogenesen (Stephens *et al.*, 1996). De södra delarna av zonen uppvisar dock extensionella västliga rörelser, detta har tolkats som en kollaps av orogenen och en upplyftning av det Östra Segmentets södra delar (Berglund, 1997). Denna upplyftning av Östra Segmentets södra delar blottar ett djupare tektoniskt snitt vilket avspeglas i skillnader i metamorf grad mellan de båda segmenten. De södra delarna av Östra Segmentet har genomlidit två metamorfa händelser, en vid 1.44 Ga (Söderlund et al., 2002) som följdes av en högtrycksgranulit- till övre amfibolitfacies metamorfos vid 0.97 Ga (Möller *et al.*, 1997; Johansson *et al.*, 2001). Tecken på ännu högre grad av metamorfos återfinns i en intern deformationszon (Ullared Deformation Zone), i form av retrograda ekologiter (Fig. 2) (Möller & Söderlund, 1997a; Möller, 1998). Västra segmentet har metamorfoserats i amfibolitfacies.



Figur 2. Sydvästra Sveriges Geologi. Det inramade området kan ses i detalj i Fig. 3.

Lokal geologi

Norra Horten är en ö, i både geografisk och geologisk mening, belägen strax sydväst om Buahalvön i Halland, cirka en kilometer från fastlandet. Ön är 800 meter lång och 650 meter bred, obebodd och med en högsta höjd på ungefär 10 meter. Vegetation begränsar sig till gräs och låga buskar, mestadels en. Strandzonen är steril vilket ger en hundraprocentig blottningsgrad. På de övre delarna av ön är blottningsgraden fläckvis dålig på grund av vegetationen där även strandvallar av klappersten begränsar kartering.

På ön återfinns tre stycken nedlagda stenbrott, det Östra, det Norra och det Södra stenbrottet. Brytningen skedde under 1800-talet i liten skala i öppna brott med syftet att anbringa blocksten (Lundqvist, 1997).

Buahalvön tillhör det Västra Segmentet och består av Buagnejs (1.59 Ga) (Lundqvist, 1994; Andersson *et al.*, 2002), en deformerad och ådrig granodiorit, kraftigt bandad och

veckad, med lokala förekomster av migmatit. Den har metamorfoserats i amfibolitfacies och är lokalt retrograderad i grönskifferfacies (Lundqvist, 1994; Page *et al.*, 1996). Buagnejsens södra utbredning begränsas av mylonitzonens sydligaste deformationzon, vilken här utöver att verka som gräns mellan Östra och Västra Segmentet även bildar en litologisk gräns mot Torpagraniten (1.38 Ga) (Åhäll *et al.*, 1997b). Denna tillhör följdaktligen det Östra av de båda segmenten. Torpagraniten är en penetrativt deformerad grovkornig granit med kalifältspatögon. Den är delvis migmatiserad och har genomgått metamorfos i åtminstone granulitfacies, möjligen högtrycksgranulitfacies (Åhäll *et al.*, 1997b; Andersson *et al.*, 2002). Längs Klosterfjordens södra kust finns en tunn skiva av den för Östra Segmentet typiska ortognejsen, (1.70-1.66 Ga) inkilad mellan Buagnejsen och Torpagraniten (Ahlin *et al.*, 1985; Conelly *et al.*, 1996). Detta är en migmatiskt bandad gnejs som även den blivit utsatt för metamorfos i granulitfacies.

I närområdet, både i det Västra och Östra Segmentet förekommer det mafiska kroppar av varierande storlek och mineralogi, dessa kommer att beröras och sättas i relation till Norra Horten i senare kapitel.

Norra Hortens Geologi/Fältobservationer

Norra Hortens mafiska intrusion består av framförallt två bergarter (Fig. 7), en metamorf gabbro (granat amfibolit) och en ultramafit (mineralogisk ultramafit, ej kemisk), kallad hornbländit (Fig. 3). Mafiska aplitgångar förekommer associerade med metagabbron. Felsiska linser återfinns inbäddade i de mafiska bergarterna. En kontakt mellan omgivande gnejser och den mafiska intrusionen finns vid öns nordöstra hörn. Ett flertal pegmatitgångar av varierande storlek och ålder slår igenom mafiterna.

De norra och nordvästliga delarna av ön är uppbyggda av hornbländit, en svartgrön, grovkornig bergart. Hornbländiten består uteslutande av amfiboler och en del pyroxen samt små mängder kvarts och apatit. Hornbländiten uppvisar inga tecken på deformation. De södra och sydöstliga delarna domineras av metagabbro. Denna är i allmänhet massformig, mörkgrå och medelkornig, och består av amfibol, plagioklas, kvarts och granat. Granaterna är relativt små och mörkröda. Metagabbron är lätt deformerad på ett par platser, detta kan ses som en svag gnejsighet.

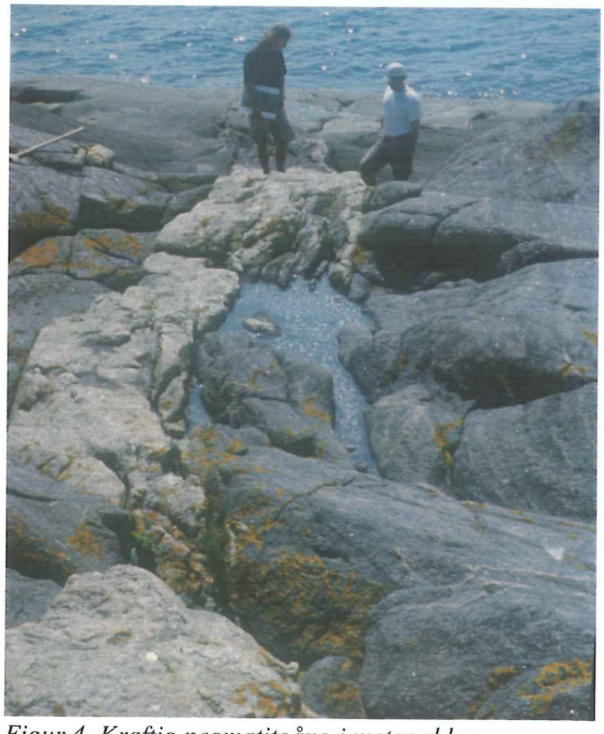
Mafisk aplit, förekommer som gångar i både hornbländiten och metagabbron. Apliten är en ljusgrå finkornig bergart bestående av en stor andel mörk glimmer och plagioklas,

Figur 3. Foto på de två huvudbergarterna. Hornbländit (t.v.) & Metagabbro (t.h.).

med accessorisk granat, kalcit och järnoxider, huvudsakligen i form av magnetit.

I en skränt nedanför Norra Stenbrottet återfinns block av en kraftigt omvandlad mafisk bergart, granatamfibolit, som skiljer ut sig från de övriga mafiterna. Granatamfiboliten är svart och medelkornig och består av biotit, plagioklas, ortoamfibol, järn- och titanoxider samt mörkröda upptill 1 dm stora granater. I granaterna återfinns rutil, dels i form av små anhedrala korn och dels i form av mycket tunna orienterade nålar. I granatamfiboliten uppträder även karbonater, klorit- och epidotmineral, framförallt i form av sprickfyllnader och ådror. Trots att bergarten inte återfinns i fast klyft råder det ingen tvekan om att den härstammar från platsen. Dock vore det önskvärt att finna kontakten med sidoberget för att om möjligt utröna deras inbördes förhållande.

Kraftiga, grovkorniga, köttiga granitiska pegmatiter av huvudsakligen kvarts och kalifältspat, upp till 1 meter breda, ligger radiellt orienterade från kusten in mot ön (Fig. 4). Dessa är på vissa ställen kraftigt deformerade. Metagabbron har hydratiserats längs med kontakten mot pegmatiten. Granat har då brutits ner till plagioklas och mörk glimmer, detta kan ses som en mörkare rand längs med kontakten (Fig. 5). Det förekommer mingling mellan den gabbroida apliten och pegmatiterna. En andra generation av granitiska pegmatiter slår igenom samtliga andra bergarter. Dessa har inte påverkat mineralogin i kontakten mot intilliggande bergarter och är varken deformerade eller uppvisar någon enhetlig orientering.



Figur 4. Kraftig pegmatitgång i metagabbro.

Sidoberget i nordöstra delen av ön är en gråaktig bandad gnejs av granitisk sammansättning som är mycket kraftigt deformerad. I gnejsen uppträder sliror av de mafiska enheterna som slitits med under deformationen.

De felsiska linserna varierar i storlek från 20*20 meter ner till små inklämda skivor. De är finkorniga och gråröda samt uppvisar endast en mycket svag gnejsighet.

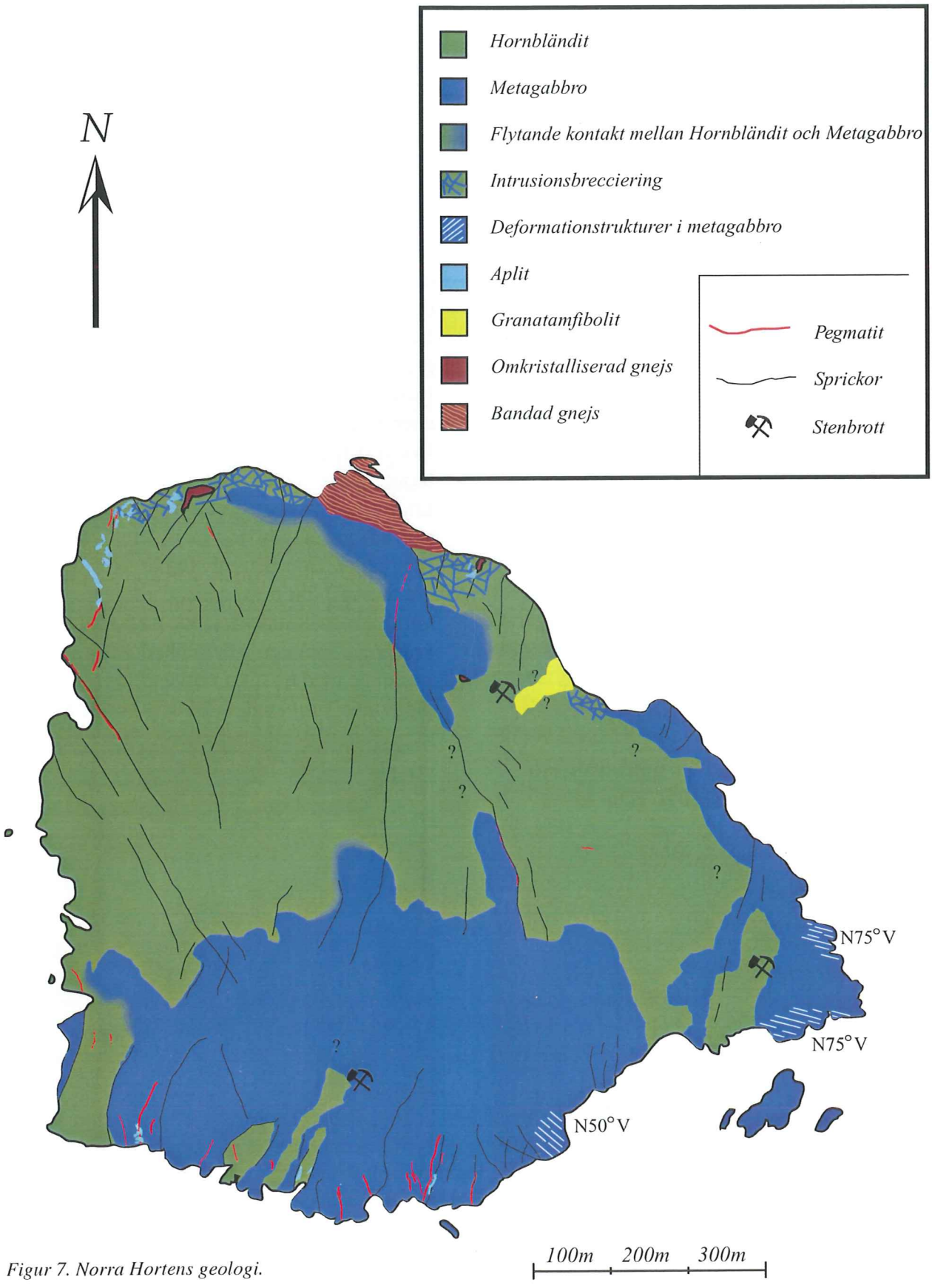
Kontakten mellan de mafiska enheterna kan delas upp i tre huvudvarianter, skarp kontakt, gradvis övergång och intrusionsbreccia, där den skarpa kontakten är vanligast. De mer eller mindre flytande övergångarna tyder på att en fläckvis förekomst av mixing/mingling mafiterna emellan. I intrusionsbreccian ligger hornbländiten som stora kantiga fragment i metagabbron. Den

Figur 5. Pegmatiter med omgivande hydratiserad meta-gabbro. Hydratiseringen syns som en gradvis mörkare färg mot pegmatiten.

Figur 6. Intrusionsbreccia av hornbländit i metagabbro. Notera flytstrukturerna i metagabbron samt de postintrusiva sprickorna som löper genom båda bergarterna.

omgivande metagabbron blir finkornigare i kontakten mot hornbländiten samt uppvisar flytstrukturer kring densamma (Fig. 6).

Trots Norra Hortens läge, i Mylonitzonen är dess bergarter i stort sett odeformerade, detta på grund av mafiternas höga kompetens, något som avspeglas i öns höga relief och branta stupning i havet, sett i relation till övriga öar i området.



Figur 7. Norra Hortens geologi.

Åldersförhållanden

Zirkoner i Buagnejsen har daterats med $^{207}Pb/^{206}Pb$. Det gav en magmatisk kristallisations ålder på 1585±11 Ma och en metamorf ålder på 980±13 Ma (Andersson *et al.*, 2002). Torpagraniten är daterad till 1380±6 Ma med U-Pb metoden på zirkon (Åhäll *et al.*, 1997b). $^{207}Pb/^{206}Pb$ datering av rekristalliserade zirkoner gav 968±13 Ma, det vill säga en sen svekonorwegisk metamorfos (Andersson *et al.*, 2002). $^{207}Pb/^{206}Pb$ datering av zirkoner i Skene gnejsen, en underenhet i den för östra segmentet dominerande ortognejsen belägen vid orten Skene, gav en kristallisationsålder på 1686±11 Ma och en metamorf ålder på 969±13 Ma (Andersson *et al.*, 2002). Samma bergart daterad med $^{40}Ar/^{39}Ar$ på hornblände gav en metamorf ålder på 958±8 Ma (Page *et al.*, 1996).

Dateringar av Norra Hortens bergarter har gjorts med Pb-Pb evaporationsmetoden av magmatiska zirkoner. Hornbländiten är daterad till 1634±8 Ma, vilket är en minimiålder på kristallisation av zirkonen. Dateringen av den mafiska apliten gav åldern 1646±12 Ma, vilket tolkas som dess kristallisationsålder (Lundmark, 2001). Dateringarna av sidobergets gnejser och gnejslinserna är mera tveksamma och ger endast minimiåldrar för kristallisation, 1665±11 Ma respektive 1650±14 Ma (Lundmark, 2001).

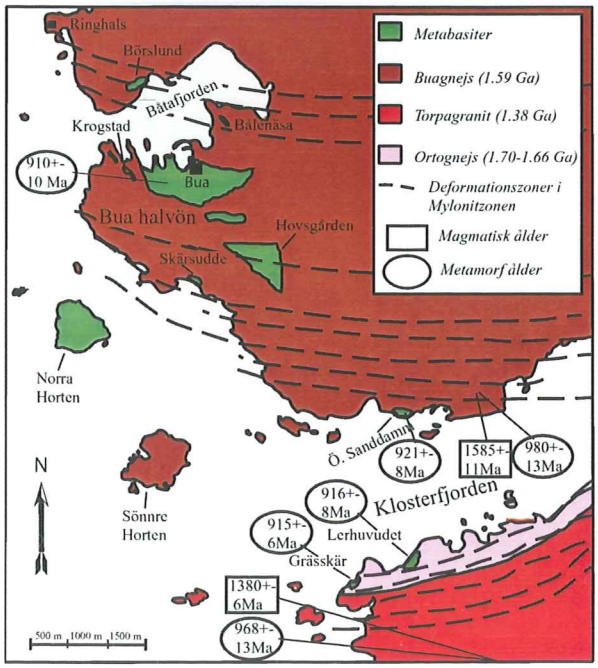
Mafiter på Bua halvön med omnejd

I närområdet återfinns nio stycken större mafiska enheter som isolerade linser (Fig. 8). Dessa varierar i storleksordningen från ett tjugotal meter upp till någon kilometer. Sju stycken av enheterna ligger i Buagnejsen norr om Klosterfjorden, alltså litologiskt sett i Västra Segmentet. De två andra ligger inbäddade i ortognejsen längs Klosterfjordens södra sida.

Enheterna i Buagnejsen, med undantag för Börslund, uppvisar en ganska likartad amfibolitisk petrologi. De består i huvudsak av amfibol och mer eller mindre sericiticerad plagioklas, mindre mängder biotit och kvarts samt accessoriska mineral, såsom titanit, epidot, magnetit, ilmenit och apatit. Amfibolen är i allmänhet blågröna till gröna i sina egenfärger. Granat saknas i samtliga fall. Deformations strukturer i form av gnejsighet och foliation förekommer mer eller mindre uttalat i samtliga enheter. Foliationen definieras av utdragna hornblände, biotit och plagioklas korn, plagioklasen uppvisar emellanåt även deformationstvillingar.

Enheten vid Börslund är en mellankornig, odeformerad ultramafit. Den är relativt välbevarad då olivinkristaller i gott skick är rikligt representerade. Förutom olivin, består bergarten framförallt av hornblände,pyroxen, plagioklas, opaker och spinell.

De två enheterna i ortognejsen, Lerhuvud och Grässkär har en sammansättning snarlik de i Buagnejsen, Börslund undantaget, med den stora skillnaden att de är granatförande. Lerhuvud är en medelkornig granoblastisk granatamfibolit, bestående av en blågrön till ljust brungul amfibol, smärre rester av pyroxener, starkt ersatta av den förra, plagioklas, kvarts och granat, därtill mindre mängder biotit, opaker och titanit. Granaterna är kraftigt nedbrutna och återfinns endast som små kärnor omgärdade av plagioklas och järnoxider. Grässkärenheten är även den en granatamfibolit bestående av ett medelkornigt matrix innehållande ca 5 mm stora granater. Granaterna är subhedrala, en aning spruckna med en tunn omvandlingskorona av plagioklas runt kanten. Matrix består av



Figur 8. Översiktlig geologisk karta över Buahalvön med omnejd.

amfibol, olivgrön till ljust brungul i egenfärg, kvarts, opaker samt klinopyroxen/plagioklas sammanväxningar. Dessa sammanväxningar beror på en nedbrytning av de kalcium- och natriumrika komponenterna av pyroxenen till plagioklas. Texturen är typisk för granulit-eklogitfacies bergarter som retrograderats (Page *et al.* 1996).

$^{40}Ar/^{39}Ar$ dateringar av amfibol har gjorts på Bua (910±10 Ma), Ö Sanddamm (921±8 Ma), Lerhuvud (916±8 Ma) och Grässkär (915±6 Ma). Dessa åldrar daterar deformationen associerad med utbildandet av Mylonitzonen (Page *et al.*, 1996).

Norra Hortens Bergarter

Hornbländit

Bergarten består av ungefär 70 % amfibol, 20 % pyroxen, 5 % kvarts och små mängder apatit. Därtill förekommer enstaka korn av titanit, ilmenit, kalcit, zirkon samt glimmer/kloritmineral (Fig. 9A). Hornbländiten är, utifrån mineralogin, en ultramafisk bergart, dock klassas den ej som ultramafisk utifrån dess kemi då kiselhalten överstiger 45 % (appendix 1).

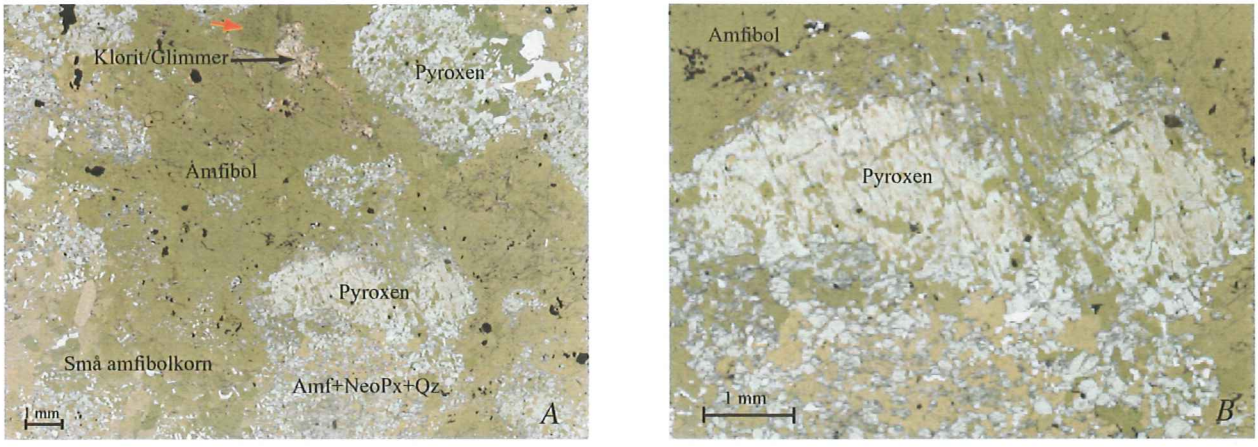
Hornbländiten är metamorfoserad men i sitt yttre odeformerad, med sin magmatiska struktur delvis bevarad i form av pseudomorfer av partiellt nedbrutna pyroxen domäner, samt primära amfiboler. Den är medelkornig till grovkornig och massformig.

Två generationer amfibol förekommer, dels en primär, magmatisk, i form av stora, 1-1.5 cm anhedrala sammanhängande domäner, dels en sekundär, metamorf, som syns som små euhedrala korn och som epitaxisk amfibol, växande på pyroxen. Deras sammansättning är snarlik och klassas båda som pargasit (Leake *et al.*, 1997), med ett Mg/Mg+Fe förhållande på mellan 0.55-0.60 (appendix 3).

De primära amfibolkornen har en olivgrön till brungrön egenfärg med inneslutningar av magmatiska zirkoner, kvarts och titanrik magnetit med lameller av ilmenit. Ti-magnetiten återfinns som stora ansamlingar av små elongerade korn orienterade längs med amfibolens spaltytor. I dessa ansamlingar återfinns även mindre mängder rutil. De stora domänerna uppvisar en optisk kontinuitet, dock med en undulös utsläckning på grund av strain.

De sekundära amfibolkornen uppträder i synnerhet kring den magmatiska pyroxenen och längs kanten på den primära amfibolen. De har en olivgrön till blågrön egenfärg, uppvisar tydliga spaltytor samt innehåller mindre inklusioner av magnetit. Avsaknaden av titanförande lameller tyder på att amfibolen är en omvandlingsprodukt av de titanfattiga primära pyroxenerna (se nedan).

Pyroxenen uppträder dels i stora uralitiserade magmatiska korn och dels i mindre neoblastiska, ej angripna korn. Någon skillnad i sammansättning mellan de två



Figur 9. A. Foto av tunnslip från hornbländit. Den stora amfiboldomänen i mitten har en enhetlig optisk orientering. Röd pil visar på finkornig Ti-magnetit/ilmenit i primär amfibol. B. Närbild av uralitiseringen av pyroxen. Amfibolen växer epitaxiskt. Den finkorninga massan i nedre bildkant består av sekundär amfibol, neoblastisk pyroxen samt mindre mängder kvarts.

typerna föreligger inte. De klassas som diopsid (Morimoto *et al.*, 1988), med ett Mg/Mg+Fe förhållande på mellan 0.70-0.74 och obetydliga halter av titan (appendix 3). De stora pyroxenerna är mer eller mindre omvandlade till amfibol. Amfibolen växer längs svaghetszoner i pyroxenen, det vill säga framförallt i den senares spaltplan (Fig. 9B). Pyroxenen innehåller ansamlingar av mycket små korn av järnoxid. Kontakttvillingar är vanligt förekommande i pyroxenen. Den neoblastiska pyroxenen uppvisar en subhedral form och är fri från inneslutningar. Den återfinns tillsammans med de metamorfa amfibolerna och mindre korn av kvarts, apatit och kalcit, liggandes kring de uralitiserade pyroxenerna. Större enskilda korn av kvarts och apatit förekommer mer sällan.

Ilmenit uppträder som små korn ofta omgärdade av en reaktionskant av titanit. Ilmeniten är på sina ställen helt konsumerad, så att enkom titanit återstår.

Klorit tillsammans med pumpellyit samt prehnit och biotit förekommer sporadiskt i hornbländiten. De uppträder som en finkornig massa i framförallt sprickor.

Metagabbro

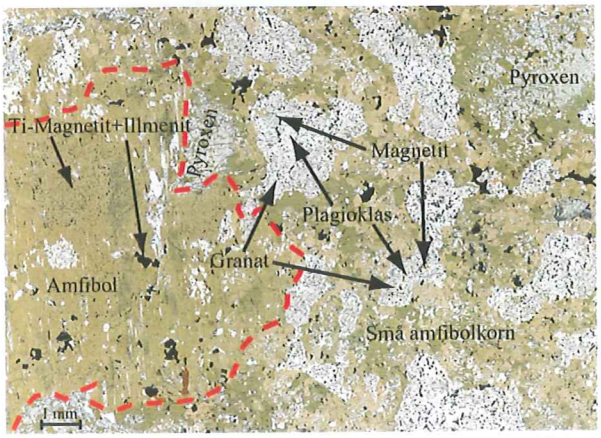
Metagabbron är en kraftigt omvandlad bergart med sin magmatiska textur i stort sett helt utplånad. Den saknar synliga deformationsstrukturer, med undantag för några lokaler där en viss foliation kan spåras (Fig. 10). Lokalerna där deformationsstrukturer uppträder ligger uteslutande i de mindre skyddade, yttre delarna av intrusionen (Fig. 7). Graden av omvandling är också större i dessa partier av bergarten.

Figur 10. Deformerad metagabbro.

Metagabbron består av ungefär 55-60 % amfibol, 25 % plagioklas/sericit, 4-6 % granat, 2-8 % pyroxen, 2-5 % opaka mineral och 3 % kvarts. Därtill mindre mängder av glimmer, apatit, kalcit samt titanit (Fig. 11). En viss variation i halten av de olika mineralen i bergarten beror dels på skillnader i omvandlingsgraden inom bergarten, såsom hur långt nedbrytningen av pyroxen och granat har fortskridit och hur pass sericitiserad plagioklasen är, dels på att metagabbron inte är helt homogen, utan varierar något i sin ursprungskemi och därmed också i sitt mineralinnehåll.

Amfibol uppträder, liksom i hornbländiten, i tre texturellt olika skepnader; stora sammanhängande primära domäner, små euhedrala korn och epitaxisk, växande på pyroxen. Mineralkemin är densamma i de olika amfibolerna samt snarlik de amfiboler som uppträder i hornbländiten, med undantag för en högre halt titan och aluminium, den senare på bekostnad av kisel, och klassas följaktligen som pargasit, med ett Mg/Mg+Fe förhållande på mellan 0.53-0.60 (appendix 3) (Leake *et al.*,1997). De primära domänerna innehåller ilmenit och titanrik magnetit, dels i form av större korn och dels som stora ansamlingar av små korn längs amfibolens spaltytor.

Både klino- och ortopyroxen återfinns i bergarten, med klinopyroxen som den mer dominerande. Klinopyroxenen klassas som Mg-ändledet diopsid (Morimoto *et al.*, 1988), med ett Mg/Mg+Fe förhållande på 0.70-0.75. Den uppträder som stora uralitiserade individer, ibland med tvillingbildning, omgiven



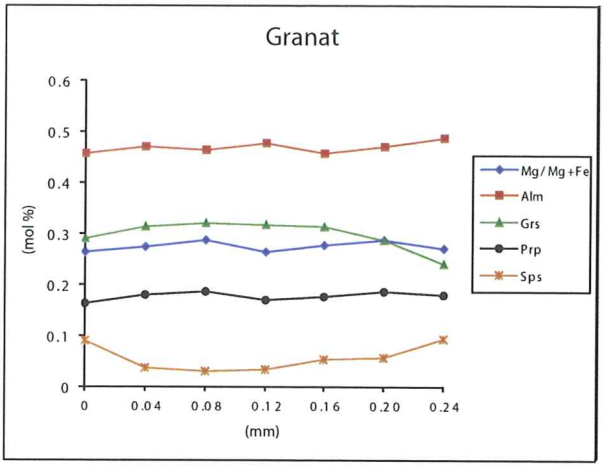
Figur 11. Foto av tunnslip från metagabbro. Området innanför den streckade linjen består av en stor amfiboldomän med enhetlig optisk orientering.

och angripen av amfibol, samt som små neoblastiska individer. De neoblastiska pyroxenerna är dock inte lika vanligt förekommande som i hornbländiten. De stora klinopyroxenerna samt ortopyroxenen, innehåller på sina ställen mycket finkorniga aggregat av järnoxid, troligen magnetit, den neoblastiska är fri från inneslutningar. Ortopyroxenen klassas som Mg-ändledet enstatit (Morimoto *et al.* 1988), med ett Mg/Mg+Fe förhållande på 0.6. Även ortopyroxenen är angripen av amfibol, dock ej i samma omfattning som klinopyroxenen.

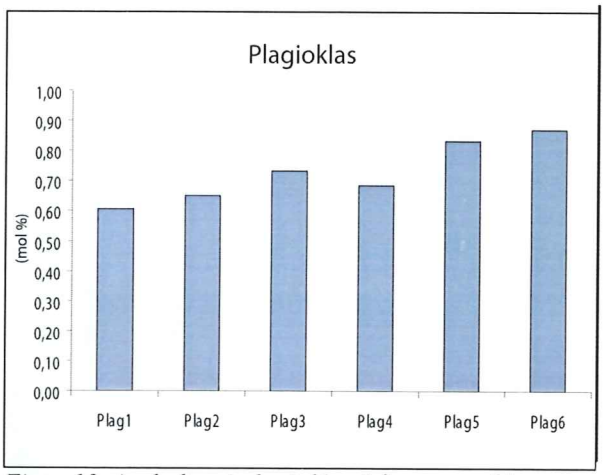
Granaten består av 47 % almandin, 18 % pyrop, 32 % grossular och 3 % spessartin. I kanten på granat ökar andelen spessartin (ca 10 %) på bekostnad av framförallt grossular (ca 24 %) (Fig. 12). Granaten är anhedral och omges av en omvandlingskorona bestående av plagioklas, små korn av magnetit, samt mindre mängder biotit och kvarts. Plagioklas uppträder som stora domäner, sammansatta av en rad mindre korn, omgärdande granat. På grund av nedbrytningsprocessen av granat, är plagioklasen närmast denna mycket kalciumrik (An_{90}) att jämföra med en sammansättning på An_{55} i de centrala delarna (Fig. 13). Både albit- och deformationstvillingar är rikligt förekommande i plagioklas. Plagioklasen är, även den, utsatt för omvandling, i form av sericitisering. Detta syns som en finkornig massa av ljusa glimrar, vanligen belägen i plagioklasernas gemensamma korngränser. Graden av omvandling varierar inom bergarten, där vissa delar i stort sett helt saknar sericit, emedan andra, mer utsatta delar, har en nästan totalt sericitiserad plagioklas.

Ilmenit och titanrik magnetit återfinns även som större korn i bergarten. Dessa uppvisar i vissa fall en reaktionskant av titanit. Titanit förekommer även som enskilda individer. I anslutning till ilmeniten/magnetiten återfinns ofta små korn av kvarts.

Mindre mängd apatit, i form av små korn, ligger spridd i bergarten. Ansamlingar av biotit, prehnit, pumpellyit, klorit och kalcit uppträder fläckvis, vanligen som en finkornig massa.



Figur 12. Sammansättning av granat från metagabbro längs en profil från kant till kant.



Figur 13. An-halten i plagioklas från metagabbro. Analyserna är tagna mot granat, så att Plag1 ligger längst ifrån granat och Plag6 närmast.

Varianter av metagabbron

Finkornig metagabbro

En finkornig variant av metagabbron återfinns framförallt i de skarpa, kylda kontakterna mot hornbländit. Dessa är speciellt tydliga i partierna med intrusionsbrecciering. Dess mineralinnehåll skiljer sig något från den ordinära metagabbron, då plagioklashalten är något högre och pyroxenhalten lägre.

Hydratiserad metagabbro

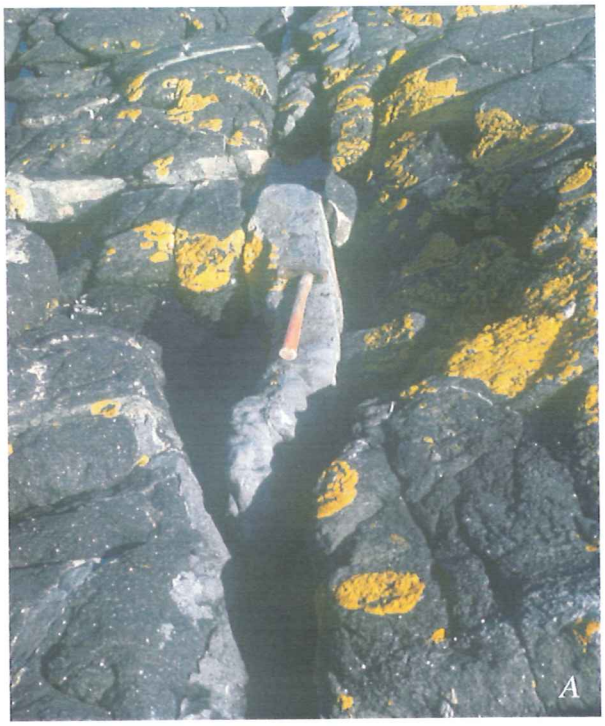
Metagabbron som ligger i kontakten mot pegmatiterna har en något mörkare färg, detta beror på att den blivit hydratiserad längs med pegmatiten som fört med sig stora mängder fluider då den trängt in (Fig. 5). Den mörkare färgen kommer av att hydratiseringen påskyndat nedbrytningen av granat till framförallt biotit och plagioklas.

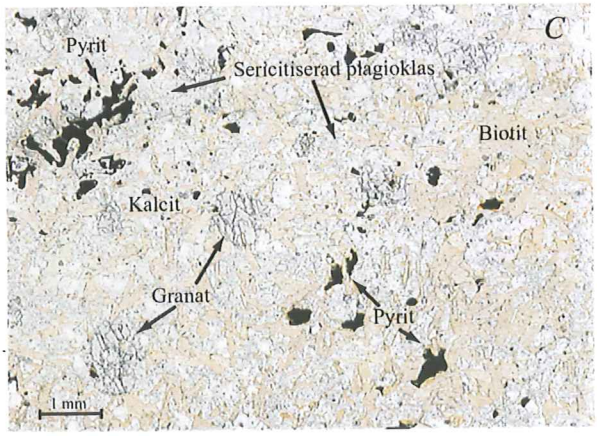
Mafisk aplit

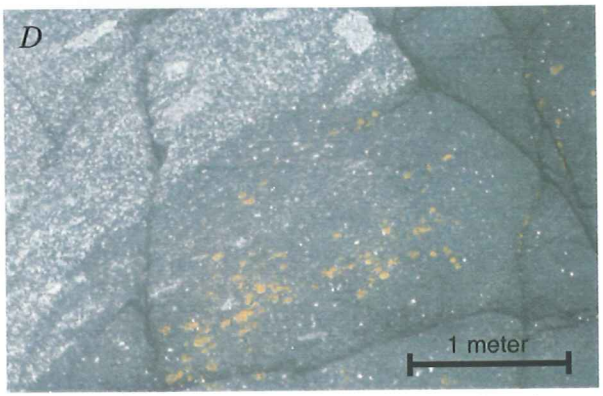
Den mafiska apliten är en finkornig, ljusgrå bergart som uppträder som sliror och gångar i framförallt sprickor och svaghetszoner (Fig.14A). Bergarten består av primär oorienterad biotit, plagioklas, delvis sericitiserad, kalcit samt mindre mängder kalciumfattig granat och pyrit (Fig. 14C). Pyriten uppvisar en oxideringskant, möjligen av limonit. Kontakten mot övriga bergarter är skarp med undantag för mot de stora pegmatiterna, där en viss grad av mingling förekommer (Fig. 14B).

Hybridbergart

Ett visst mått av mixing förekommer mellan hornbländit och metagabbro (Fig. 14D). Mixingen tyder på att de båda bergarterna varit relativt samtidiga, och att hornbländiten inte varit helt kristalliserad på alla ställen då gabbron intruderade. Mixingen ger oskarpa kontakter bergarterna emellan (Fig. 7), och ger upphov till en övergångszon bestående av en hybridbergart. Hybridbergarten påminner mestadels om den gabbroida enheten, dock med en mer mafisk prägel där andelen opaka mineral, pyroxen och granat är högre på bekostnad av framförallt amfibol. Den har även en större andel sericit och biotit än motsvarande metagabbro (appendix 2).







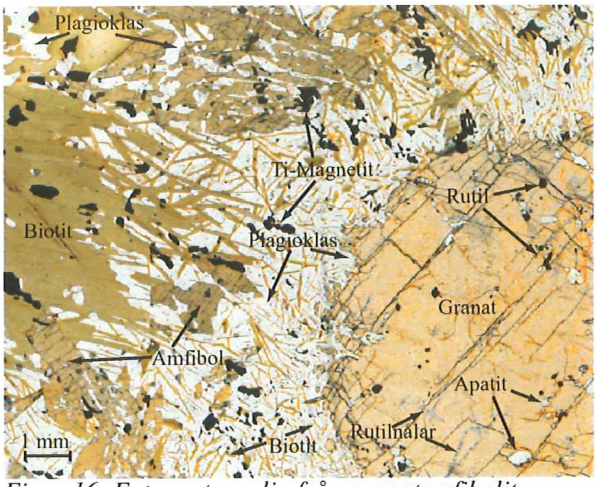
Figur 14. A. Gång av mafisk aplit som trängt in i en svaghetszon i hornbländiten. B. Mingling mellan aplit och pegmatit. C. Foto av tunnslip från aplit. D. Flytande övergång mellan hornbländit och metagabbro.

Granatamfibolit

Granatamfibolitens huvudmineral är granat, biotit, ortoamfibol och plagioklas samt järn/titanoxider. Accessoriska faser är kvarts, klinoamfibol, rutil, apatit, zirkon, kalcit, klorit och epidotmineral (Fig. 16).

Bergarten är kraftigt metamorfoserad och omvandlad, yttre tecken på deformation saknas. Granaten består av ungefär 50 % almandin, 40 % pyrop och 10 % grossular. En svag kemisk zonering förekommer i form av ett lägre Mg/Mg+Fe förhållande i kanten (Fig. 15A). Zoneringen är en följd av den pågående nedbrytningen av granaten där magnesium går ut före järnet, något som också kan anas i de höga magnesiumhalterna i biotit. Granatkristallerna är anhedrala och spruckna, de varierar i storlek från någon centimeter upp till 1 decimeter i diameter (Fig.17).

I granaten förekommer inklusioner av rutil och apatit. Rutilen uppträder dels som anhedrala korn och dels som mycket fina nålar. Rutilnålarna ligger orienterade i fyra precisa riktningar längs granatens kristallografiska plan och återfinns genomgående, mer eller mindre frekvent i samtlig granat (Fig. 18). Nålarnas orientering tyder på att de är en avblandning. Hur mycket titan som granaten ursprungligen hållit är svårt att uppskatta då nålarna är mycket små och är varken möjliga att se eller mäta i svepelektronmikroskop. De anhedrala korn av rutil som återfinns i granaten indikerar dock på att den varit övermättad redan vid de tryck och temperatur förhållan-

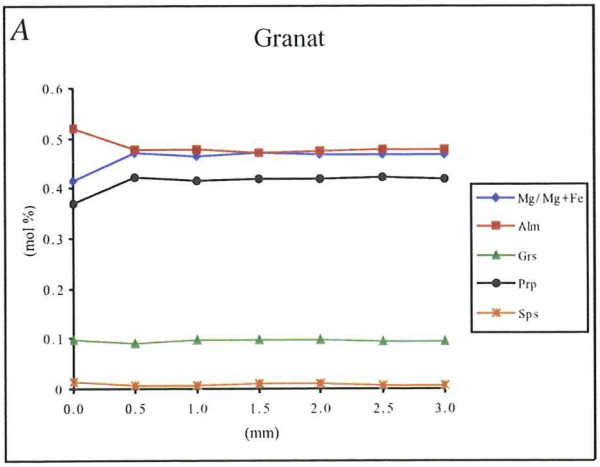


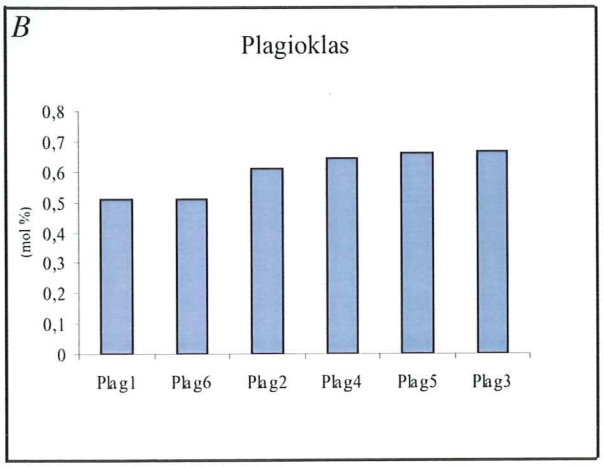
Figur 16. Foto av tunnslip från granatamfibolit.

den som rådde vid bildandet. Rutil återfinns ej utanför granaten.

Runt granaten finns en upp till ett par centimeter bred omvandlingskorona bestående av biotit, ortoamfibol, plagioklas och magnetit. Biotiten är finkornig närmast granaten men ökar i storlek utåt samtidigt som domänerna blir mer sammanhängande. Biotiten, som enkom uppträder i omvandlingskoronan, har en hög magnesiumhalt (Mg/Mg+Fe: 0.71-0.73) och klassas närmast som flogopit (Mg-ändledet) (appendix 3) (Reider *et al.*, 1998). Dess relativt höga titan innehåll ger den en brun egenfärg.

Plagioklasen i koronan består av mindre korn närmast granaten, utåt övergår den i större anhedrala korn. Plagioklasen är en ozonerad labrador (An_{65}). Primär plagioklas förekommer även i bergarten. Den uppträder som euhedrala lister med en typisk magmatisk zonering (An_{50} längs kanterna) (Fig. 15B). Både albit- och deformationstvillingar



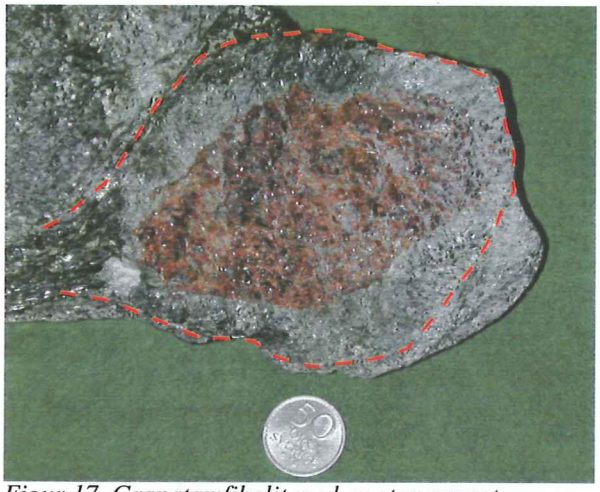


Figur 15. A. Sammansättning av granat från granatamfibolit längs en profil från reaktionskant mot mitten. B. An-halten i primär plagioklas från granat-amfibolit. Plag1 och 6 är från kanten av korn. Plag 2-5 är från de centrala delarna av korn.

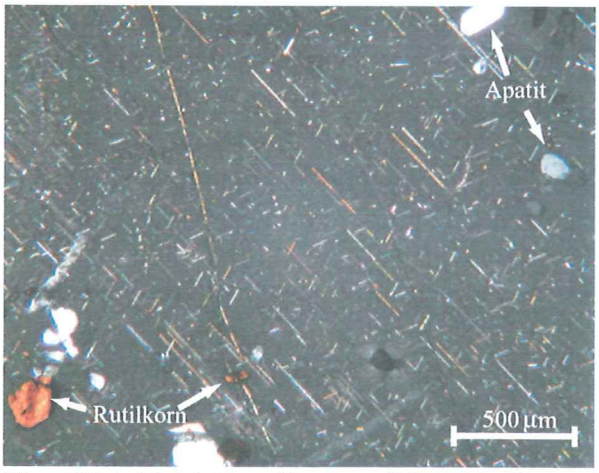
är vanligt förekommande i plagioklasen. Den opaka fasen utgörs av titanrik magnetit ($(Fe^{3+}_{1.4}\ Fe^{2+}_{1.3}\ Ti^{4+}_{0.3})_3O_4$), med lameller av ilmenit ($Fe^{2+}\ Ti^{4+}\ O_3$).

Ortoamfibol klassas som natriumrik (Na>0.5) gedrit (Leake *et al.*, 1997), med ett Mg/(Mg+Fe) förhållande på ca 0.6, och låga halter av kalcium. Amfibolen är välbevarad, med undantag för en del oregelbundna sprickor. Kristallerna är euhedrala till subhedrala. Klinoamfibol förekommer sparsamt i form av mindre subhedrala kristaller av pargasit. Mineralkemin motsvarar den i metagabbro och hornbländit.

Mindre, upp till en fem centimeter breda sprickor är vanliga i granatamfiboliten. Sprickorna är fyllda med epidot, zoisit, klorit och kalcit. Mineralen uppvisar emellanåt stora välutvecklade kristaller.



Figur 17. Granatamfibolit med en stor granat omgiven av en kraftig omvandlingskorona av biotit (streckad linje).



Figur 18. Avblandningsnålar av rutil i granat. Notera nålarnas orientering längs granatens kristallografiska plan. Foto i optiskt mikroskop med korsade nicoller.

Tolkning och diskussion

Magmans ursprung

Mellan 1.69 till 1.55 Ga skedde en kontinuerlig västlig tillväxt av sydvästra Sverige i samband med en östlig subduktion (Scherstén & Cornell, 2000). Norra Hortens kemi och mineralogi tyder på att den har sitt ursprung i en mantelderiverad intrusion som trängt upp på grund av uppsmältningsprocesser relaterade till denna subduktion.

Vid subduktion frigörs fluider från den subducerande vattenrika plattan och hydrerar den överliggande manteln. Detta möjliggör bildningen av intrusionens magmatiska amfibol. Med fluiderna följer även vissa spårelement som kontaminerar den överliggande manteln och ger den en typisk subduktionsrelaterad signatur.

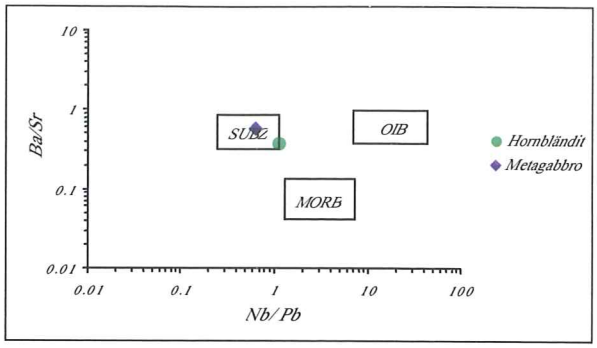
REE-diagrammets flacka lutning tyder på att källbergarten inte haft några nämnvärda mängder granat, vilket skulle innebära att Norra Hortens bergarter är deriverade från den övre delen av den övre delen av manteln (*sic!*). En djupderivering är dock inte utesluten om uppsmältningsgraden har varit så hög att all granat förbrukats.

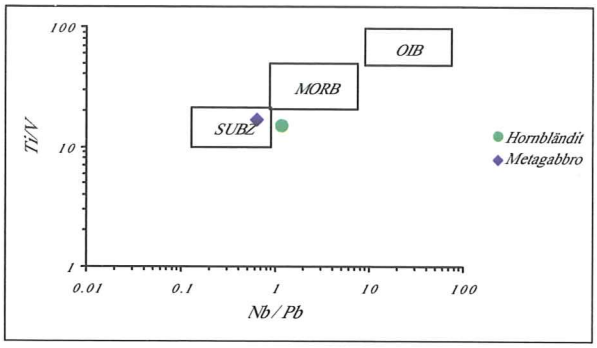
Diskrimineringsdiagram (Fig. 19)

Elementförhållande, Nb/Pb, Ba/Sr och Ti/V som används i diagrammet uppvisar stora skillnader mellan olika tektoniska miljöer, samt är relativt immobila inom miljön, vilket gör att fraktioneringen av hornbländiten inte påverkar förhållandena nämnvärt (se kapitlet om bergarternas relation). Både metagabbron och hornbländiten plottar i eller i närheten av fältet för subduktionszons basalt.

Spiderdiagram (Fig. 20)

Båda huvudbergarterna, metagabbron i synnerhet, uppvisar en typisk signatur för subduktionsrelaterad magma, med anrikning av LILE (Cs, Rb, K, Ba, Sr) och en kraftig positiv anomali för Pb, samt negativa anomalier av HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf, Ti) (Tatsumi & Eggins, 1995). De höga halterna av framförallt Ba, Rb, Pb och Sr i förhållande till MORB, beror på anrikningen från den subducerande plattan. Halterna av HFSE





Figur 19.. Diskrimineringsdiagram efter Scherstén et al. (insänt). De olika fälten är "Mid Ocean Ridge Basalt" (MORB), "Ocean Island Basalt" (OIB) & "Subduktion Zone Basalt " (SUBZ).

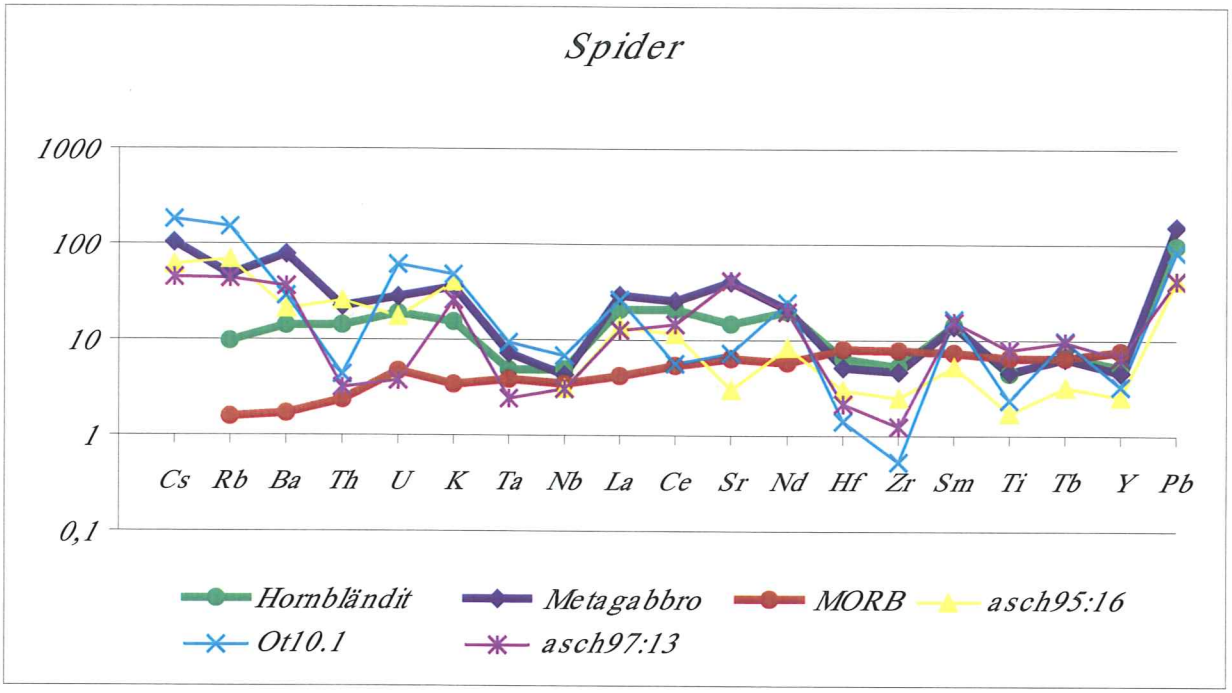


Fig.20. Spiderdiagram. Samtliga prover är normerade mot en primitiv mantel (McDonough et al., 1992). MORB är en genomsnittlig N-MORB plottad som referens (Saunders & Tarney 1984; Sun 1980). Asch95:16 (Scherstén et al., insänt), Ot10.1 och Asch97:13 (Scherstén & Cornell, 2000) är samtliga från subduktionsrelaterade mafiska intrusioner och plottade här som jämförelse. Asch95:16 är från hornbländit och asch97:13 från amfibolit, båda i Kedumintrusionen, Ot10.1 från gabbro i Lerumintrusionen (Fig. 2).

motsvarar de för MORB, då dessa ämnen hålls kvar i plattan under dehydreringen av mineralen ilmenit, rutil och zirkon (Ayers & Watson, 1991; Saunders *et al.*, 1991).

De stora skillnaderna mellan hornbländitens och metagabbrons halter av Rb resp. Ba, och till viss del K och Sr, beror på fraktioneringen, då dessa element inte favoriseras av klinopyroxen.

Bergarternas relation

Likheten i kemi hos både huvudelement och spårelement, i de båda huvudbergarterna tyder på att de är genetiskt relaterade, att de härstammar från samma magma (appendix 1). De skillnader som dock återfinns, i bland annat Mg-tal, visar på att hornbländiten troligen är ett kumulat av metagabbron. Kumulatet har bildats av de tidigt kristalliserande faserna, i detta fall klinopyroxen samt amfibol, som fraktionerats bort, troligen gravitativt.

När klinopyroxenen fraktioneras bort tillsammans med en viss del amfibol, utarmas smältan på kalcium, magnesium och järn. Att skillnaden i järnhalt bergarterna emellan inte

är så signifikant beror på den relativt låga andelen järn i framförallt hornbländitens pyroxener. Den ger samtidigt en anrikning av aluminium och till viss del natrium och kalium i smältan. Fraktioneringen sätter även sina spår i spårelementens fördelning. Då kumulatet primärt kristalliserar klinopyroxen kommer halterna av spårelement att påverkas av pyroxenens fördelningskoefficienter för respektive element. Detta ger en utarmning av bland annat Cr i resterande smälta, samt en anrikning av Rb, Ba, och Sr (appendix 1) (Arth, 1976).

De båda bergarternas REE kurvor är väldigt lika varandra (Fig. 21). Bland de tyngsta elementen är halten något högre i hornbländiten och bland de lättaste, något högre i metagabbron. Detta beror på fraktioneringen där klinopyroxenen föredrar de tunga elementen och metagabbron som innehåller mycket plagioklas föredrar de lättare elementen. Då granaten är metamorft bildad inverkar inte den på fördelningen, då den annars har en mycket stor förkärlek för de tunga elementen.

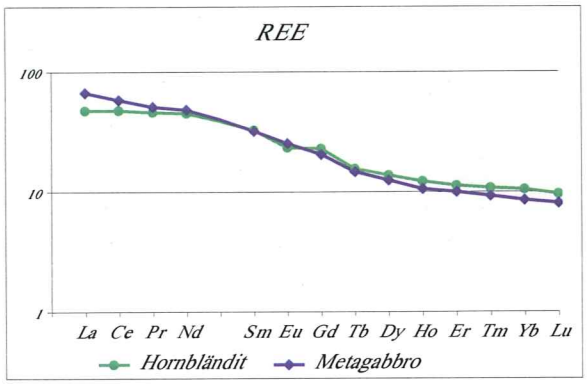


Fig 21. REE- diagram. Normalisering är gjord på kondritdata från Boynton (1984).

Att olivin inte återfinns i kumulatet kan bero på att magmans vattenfugacitet varit så hög att amfibol stabiliserats i stället för olivin. Olivin har då reagerat med volatilier samt smältans plagioklaskomponent i bildandet av amfibol. (Yoder & Tilley, 1962; Scherstén & Cornell, 2000). De låga halterna av Mg och Ni, samt den höga halten Si i kumulatet, i förhållande till en primitiv magma, pekar dock på att en tidigare fraktionering ägt rum. Alltså att en differentiation av i huvudsak olivin föregått fraktioneringen av kumulatet.

Förekomsten av breccierad hornbländit liggandes i metagabbron, visar på att gabbrons kristallisation sker efter hornbländiten. Hornbländiten har dock ej varit helt igenom kristallin vid gabbrons entré, då sporadisk mixing kunnat ske.

Den mafiska apliten har tolkats som en restsmälta av gabbron, dess mineralinnehåll tyder på att den hållit mycket fluider vilket ger den en låg solidustemperatur som i sin tur gör att den kristalliserar sent. Associerad med apliten är de kraftiga pegmatiterna. Dessa härstammar från ett mobilisat som bildas då intrusionen smälter upp sidobergets gnejser. Pegmatiterna skjuter in i intrusionen, så kallad back-veining, ibland tillsammans med apliten, längs svaghetszoner som till exempel de skarpa kontakterna mellan kumulat och gabbro och i sprickor som bildats då den mafiska kroppen svalnar och krymper. De små odeformerade postintrusiva pegmatiterna är troligen kopplade till de extensio-nella rörelserna i den senare delen av den svekonorvegiska orogenesen (Romer & Smeds, 1996).

De felsiska linser som återfinns i den mafiska kroppen är stycken av sidoberget som slitits med vid intrusionstillfället och som sedan har inkorporerats. Dessa xenoliter har blivit mer eller mindre uppsmälta och omkristalliserade och uppvisar endast en mycket svag gnejsighet. Något utbyte med mafiterna har inte skett på grund av de stora viskositets skillnaderna.

Hur granatamfiboliten är kopplad till intrusionen, är svårt att säga då relation till övriga bergarter saknas. Bergartens mineralparageneser, med bland annat granat och plagioklas, antyder att granatamfiboliten i sitt ursprungliga skick haft en kemisk sammansättning snarlik den i metagabbron. De skillnader som granatamfiboliten uppvisar, i jämförelse med metagabbron, framförallt de stora granaterna och det myckna inslaget av vattenbärande omvandlingsmineral tyder på att den utsatts för en mer omfattande hydratisering och kontaminering.

Bergarternas metamorfa historia

Under den svekonorvegiska orogenesen och utbildandet av Mylonitzonen, har Norra Hortens bergarter utsatts för metamorfos samt varierande grad av deformation. Förekomsten av nybildade hydratiserade faser samt kalcit i bergarterna tyder på att H_2O-CO_2-fluider varit närvarande vid metamorfosen. Fluiderna har även fört med sig mobila element från det sura sidoberget, in i intrusionen och har således kontaminerat denna. Kontamineringen bidrar med bland annat natrium och kalium, den senare i bildandet av biotit.

Graden av infiltration varierar i intrusionen, där de yttre delarna, såsom granatamfiboliten, samt svaghetszoner (sprickor och kontaktzoner) blivit utsatta för den mest genomgripande hydratiseringen och kontaminationen och således också blivit mest omvandlade. När intrusionen senare har lyfts upp har bergarterna genomgått en mer eller mindre utpräglad retrogradering med bildandet av en mängd lågmetamorfa mineral som följd.

Hornbländit & Metagabbro

Både metagabbron och hornbländiten har ursprungligen haft en större andel pyroxen. Vid metamorfosen har pyroxenen hydratiserats och brutits ner till den sekundära amfibolen samt en del neoblastisk pyroxen, små korn av kvarts och kalcit. Pyroxen och/eller amfibol reagerar med ilmenit och bildar titanit.

I metagabbron har granat bildats genom reaktion mellan anortit och klinopyroxen och/eller amfibol. Denna har, under lågmetamorfa förhållanden med inslag av fluider, börjat brytas ner till Ca-rik plagioklas, biotit samt magnetit och kvarts. Plagioklasen har i sin tur sericitiserats i varierande grad.

Granatamfibolit

I den prograda fasen har titanrik granat bildats. Detta har troligen skett under påverkan av fluider, med hänseende på granaternas generellt stora omfång, då fluider underlättar diffusion. När tryck och temperatur sjunker blir granaten instabil och titan avblandas i form av rutilnålar. Vid ytterliggare sänkning av tryck och temperatur börjar granaten brytas ner. Granaten reagerar då med fluider och bildar de stora omvandlingskoronorna bestående av den Mg-rika biotiten samt ozonerad plagioklas och lågmetamorf ortoamfibol (gedrit). Rutilen, både nålarna och kornen, som blottläggs då granaten bryts ner, reagerar med granatens järn och bildar titanrik magnetit. Titanfasen i Ti-magnetiten avblandas i sin tur vid den fortskridande sänkningen av tryck och temperatur till ulvöspinell. Ulvöspinellen oxideras sedan till ilmenit vilken återfinns som lameller i magnetiten.

Metamorf faciestillhörighet

Tryck och temperatur bestämningar utifrån geotermobarometri är inte möjliga då jämnvikt inte råder i bergarterna. På grund av den omfattande retrograderingen och hydrotermala omvandlingen, finns inte mycket av de prograda faserna kvar, vilket gör tolkningen av metamorf facies vansklig. Samexistensen av klinopyroxen och granat i metagabbron ger en indikation på att bergarten har varit utsatt för tryck och temperaturer motsvarande minst övre amfibolitfacies, troligen granulitfacies metamorfos. Mängden lågmetamorfa omvandlingsmineral, såsom klorit, glimrar och epidot, tyder på att den sedan retrograderats i prehnit-pumpellyit till grönskifferfacies.

Granatamfibolitens granat pekar dock på både högre temperatur och tryck, då den ursprungligen haft en hög halt av titan, nu avblandad i form av rutilnålar. Detta fenomen förknippas vanligen med mycket höga tryck och i viss mån även hög temperatur och återfinns vanligen i granuliter och eklogiter (muntlig information; E. Essene, Michigan, 2001). Dokumentation angående hur titans löslighet i granat varierar med tryck och temperatur är sparsam. O´Hara & Yoder (1967) gjorde tester på granater med avblandad rutil i eklogiter från Dodoma gruvan i Tanzania, dessa visade att det krävdes 30 Kbars tryck för att granaten skulle reabsorbera titanet. Griffin & Jensen (1971)

som undersökt fenomenet i eklogiter från Bergen i Norge bekräftar att det krävs höga temperaturer och tryck, med trycket som den viktigaste faktorn, dock kanske inte så höga tryck som 30 Kbar.

Jämförelse med andra mafiska intrusioner i SV Sverige

Petrologiskt
Norra Horten uppvisar stora likheter i sitt ursprung med de nordligt liggande mafiterna i Lerum och Kedum (Fig. 2) som Scherstén beskrivit (insänt). Mafiterna i Lerum och Kedum har, liksom Norra Horten, en subduktionsrelaterad kemisk signatur samt härstammar från hydratiserade magmor som kristalliserat primär amfibol. Intrusionerna har även varit relativt samtidiga då dateringar med U-Pb metoden på zirkon från Olstorp, en del av Lerumintrusivet, visar på en kristallisationsålder på 1624 ± 6 Ma (Scherstén et al., 2000), att jämföra med Norra Hortens aplit (1646 ± 12 Ma). Detta tolkas som att Norra Horten tillhör denna generation av mafiter som intruderat i samband med den östliga subduktionen mellan 1.69 till 1.55 Ga.

Huruvida de mera närliggande mafiterna på Buahalvön med omnejd tillhör denna subduktionsrelaterade generation av mafiter är oklart då deras kristallisationsåldrar ej är kända samt att de inte undersökts geokemiskt. Dock antyder deras petrologi att så inte är fallet, då amfibol inte uppvisar några tecken på att vara primär, utan enkom uppträder som små individer.

Metamorft
Enligt SGU tillhör Norra Horten det Västra Segmentet (Lundqvist, 1997). Denna tolkning bygger troligen på intrusionens läge, såsom liggandes utanför den till Västra Segmentet tillhörande Buagnejsen, det vill säga synbarligen norr om den litologiska gränsen mellan de båda segmenten. Utifrån tolkningen av Norra Hortens metamorfa faciestillhörighet stämmer inte detta antagande, då Västra Segmentet endast genomgått amfibolitfacies och mafiterna däri, mycket sällan är granatförande. Alltså skall Norra Horten, såsom varande en granatförande mafit som genomgått minst övre-amfibolit, troligen granulitfacies, liksom de båda mafiterna i ortognejsen, tillhöra Östra Segmentets granulitregion.

Orsaken till Norra Hortens nordliga läge kan bero på att den transporterats tektoniskt i Mylonitzonen eller att den ligger i en uppvridning av den flackt stupande zonen, en så kallad "splayfault".

Slutsatser

•Norra Horten är en subduktionsrelaterad mafisk intrusion. Dess ursprung är ett mantelderivat som hydratiserats av en vattenrik subducerande platta.

•Magman har haft en hög halt av vatten, något som avspeglas i den rikliga mängd primär amfibol som återfinns bergarterna.

•Intrusionen består av två huvudbergarter, hornbländit och metagabbro. Dessa är genetiskt relaterade då hornbländiten är ett kumulat av metagabbron. Avsaknaden av olivin beror dels på en tidigare fraktionering av denna fas och dels på den höga vattenfugaciteten i magman som stabiliserat amfibol på bekostnad av resterande olivin. Kraftigt hydratiserade gångar av aplit slår igenom huvudbergarterna. Dessa är en restsmälta från metagabbro.

•Norra Horten har intruderat ett granitiskt sidoberg som delvis smält upp och trängt in i intrusionen i form av pegmatitgångar, så kallade back-veining. Något större utbyte har inte skett med sidoberget på grund av de stora viskositetsskillnaderna.

•Under den Svekonorvegiska orogensen och utbildandet av Mylonitzonen har Norra Horten blivit utsatt för metamorfos med inverkan av fluider, samt marginell deformation. Bergarterna har metamorfoserats under övre amfibolit- till granulitfacies. Avblandningen av rutil i granatamfibolitens granat

ger dock en indikation på att trycket kan ha varit ännu högre. Bergarterna har senare retrograderats i grönskifferfacies.

•Norra Horten tillhör samma generation av mafiter som de, av Scherstén beskrivna, i Lerum och Kedum, vilka trängt upp i samband med den östliga subduktionen och den västliga tillväxten av sydvästra Sverige mellan 1.69-1.55 Ga.

•Norra Horten tillhör det Östra Segmentets granulitregion.

Tack

Tack till Leif Johansson, Anders Lindh och Erland Andersson samt all personal på avdelningen för mineralogi och petrologi vid Geologiska institutionen vid Lunds universitet.

Referenser

Ahlin, S., Samuelsson, L., Lundqvist, I., 1985. Chemical features and petrography of early granitoids in the Göteborg-Borås area, south-western Sweden. Geol. Fören. Stockholm Förh.106, 89-100.

Andersson, J., Möller, C., Johansson, L., 2002. Zircon geochronolgy of migmatite gneisses along the southern Mylonite Zone: a major Sveconorwegian terrane boundary in the Baltic shield. Precambrian Research, 114(1-2), 121-147.

Arth, J.G., 1976. Behaviour of trace elements during magmatic processes: a summary of theoretical models and their applications. J. Res. U.S. Geological Survey., 4, 41-47.

Ayers, J.C., Watson, E.B., 1991. Solubility of apatite, monazite, zircon, and rutile in supercritical aqueous fluids with implications for subduction zone geochemistry. Philosophical Transactions of the Royal Society, London. 335, 365-375.

Berglund, J., 1997. Mid-Proterozoic evolution in southwestern Sweden. Doktorsavhandling, Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet.

Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Rare earth element geochemistry, 63-114. Elsevier.

Conelly, J.N., Berglund, J., Larsson, S.Å., 1996. Thermotectonic evolution of the Eastern Segment of southwestern Sweden; tectonic constraints from U-Pb geochronolgy. I T.S. Brewer (Editor), Precambrian Crustal Evolution in the North atlantic region. Geol. Soc. Spec. Publ. 112, 297-313.

Conelly, J.N., Åhäll, K.-I., 1996. The mezoproterozoic cratonization of Baltica – new age constraints from SW Sweden. I T. S. Brewer (Editor), Precambrian Crustal Evolution in the North atlantic region. Geol. Soc. Spec. Publ. 112, 261-273.

Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals, 2nd edition. Longman Group (FE) Ltd, Hong Kong, 696 pp.

Griffin, W. L., Jensen, B. B., Misra, S. N., 1971. Anomalously elongated rutile in eclogite-facies pyroxene and garnet. Norsk Geologisk Tidskrift, Vol. 51, 177-185.

Johansson, L., Möller, C., Söderlund, U., 2001. Geochronolgy of eclogite facies metamorphism in the Sveconorwegian Province of SW Sweden. Precambrian Research, 106, 261-275.

Leake, B. E., et al., 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. American Mineralogist, 82, 1019-1037.

Lundmark, M., 2001: Zirkonstudie av Norra Hortens bergarter, SV Sverige. Examensarbete i geologi vid Lunds Universitet. 20p. Nr 136, 1-20.

Lundqvist, I., 1997. Beskrivning till bergrundskartan 6B Kungsbacka SO. Sveriges Geologiska Undersökning, Af 187.

Lundqvist, I., 1994. Bergrundskarta, 6B Kungsbacka SO. Sveriges Geologiska Undersökning, Af 187.

Morimoto, N., et al., 1988. Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on Pyroxenes. Commission on New Minerals and Mineral Names. Internat. Mineralogical Assoc. American Mineralogist, 73, 1123-1133.

Möller, C., Söderlund, U., 1997a. Sveconorwegian high-grade regional reworking in the Eastern Segment, SW Sweden: cause, character, and consequences. GFF, 119, 253-254.

Möller, C., Andersson, J., Söderlund, U., Johansson, L., 1997. A Sveconorwegian deformation zone (system?) within the Eastern Segment, Sveconorwegian orogen of SW Sweden – a first report. GFF, 119, 73-78.

Möller, C., 1998. Decompressed eclogites in the Sveconorwegian (-Grenvillian) orogen of SW Sweden: Petrology and tectonic implications. Journal of Metamorphic Geology, 16, 641-656.

O'Hara, M. A., Yoder, H. S., 1967. Formation and fractionation of basic magmas at high pressures. Scottish Jour. Geol. 3, 67-117.

Page, L.M., Möller, C., Johansson L., 1996. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology across the Mylonite Zone and the Southwest Swedish Granulite Province in the Sveconorwegian orogen of S. Sweden. Precambrian Research, 79, 239-259.

Reider, M., et al. 1998. Nomenclature of the micas. International Mineralogical Association.Canadian-Mineralogist. 1998; 36(3): 905-912.

Romer, R.L., Smeds, S.-A., 1996. U-Pb columbite ages of pegmatites from Sveconorwegian terranes in southwestern Sweden. Precambrian Research, 76, 15-30.

Saunders, A.D., Norry, M.J., Tarney, J., 1991. Fluid influence on the trace element compositions of subduction zone magmas. Philosophical Transactions of the Royal Society, London. 335, 377-392.

Scherstén, A. & Cornell, D.H., 2000. Documentation of a hydrous ultramafic intrusion in the 1.62 Ga crust of southern Sweden. GFF 122, 251-255.

Scherstén, A., Meurer, W.P., Stigh, J., Cornell, D.H., insänt. Petrology and geochemistry of Proterozoic mafic-ultramafic arc cumulates: examples from the Baltic Shield.

Scherstén, A., Årebäck, H., Cornell, D.H., Hoskin, P., Åberg, A., Armstrong, R., 2000. Dating mafic-ultramafic intrusions by ion-microprobing contact-melt zircon: examples from SW Sweden. Contributions to Mineralogy and Petrology 139, 115-125.

Stephens, M.B., Wahlgren, C.H., Weijmars, R., Cruden, A.R., 1996. Left-lateral transpressive deformation and its tectonic implications, Sveconorwegian orogen, Baltic Shield, south-western Sweden. Precambrian Research, 79, 261-279.

Söderlund, U., 1999. Geochronolgy of Tectonothermal Events in the Para-autochtonous Eastern Segment of the Sveconorwegian (Grenvillian) Orogen, Southwestern Sweden. Doktorsavhandling, Geologiska institutionen, Lunds Universitet. (ISBN 91-86746-29-4), 132 pp.

Söderlund, U., Möller, C., Andersson, J., Johansson, L., 2002. Zircon in poly-metamorhpic and veined gneisses, SW Sweden: ion probe dating of 1.46-1.42 Ga and Sveconorwegian (Grenvillian) reworking. Precambrian Research, 113(3-4): 193-225.

Tatsumi, Y., Eggins, S., 1995. Subduction zone magmatism. Blackwell Science, Oxford. 211pp.

Yoder, H.S. & Tilley, C.E., 1962. Origin of basalt magmas: An experimental study of natural and synthetic rock systems. Journal of Petrology 3, 342-532.

Åhäll, K.-I. & Larsson, S.Å., 2000. Growth-related 1.85-1.55 Ga magmatism in the Baltic Shield; a review addressing the tectonic characteristics of Svecofennian, TIB 1-related, and Gothian events. GFF 122, 193-206.

Åhäll, K.-I., Samuelsson, L., Persson, P.-O., 1997b. Geochronolgy and structural setting of the 1.38 Ga Torpa granite; implications for charnockite formation in SW Sweden. GFF 119, 37-43.

Appendix 1

Kemisk analys av huvud- och spårelement på hornbländit och metagabbro.

	XRF	
	Hornbländit	Metagabbro
Huvudelement	w.-%	w.-%
SiO_2	47.91	47.9
TiO_2	0.96	0.99
Al_2O_3	7.8	15.42
Fe_2O_3	14.34	13.63
MnO	0.27	0.25
MgO	11.69	6.97
CaO	13.73	10.64
Na_2O	1.03	1.73
K_2O	0.45	1.04
P_2O_5	0.39	0.65
LOI	0.93	0.62

	ICP-MS	
	Hornbländit	Metagabbro
Spårelement	ppm	ppm
Ba	99	555
Co	73.3	63.8
Cs	<0,1	2.4
Ga	14.2	20.6
Hf	2	1.6
Nb	3.5	3.1
Rb	6.2	30.5
Sn	1	<1
Sr	313	860.7
Ta	0.2	0.3
Th	1.2	1.9
Tl	0.3	0.3
U	0.4	0.6
V	387	353
W	167	191
Zr	59.3	53
Y	23.7	21.1
As	<2*	<2*
Bi	<0,5*	<0,5*
Cd	<0,2*	<0,2*
Cr	-	-
Cu	16*	222*
Mo	<1*	1*
Ni	13*	13*
Pb	<3*	<3*
Sb	<0,5*	0.5*
Zn	25*	54*

De kemiska analyserna är gjorda av prov CK1 (hornbländit) och CK2 (metagabbro).

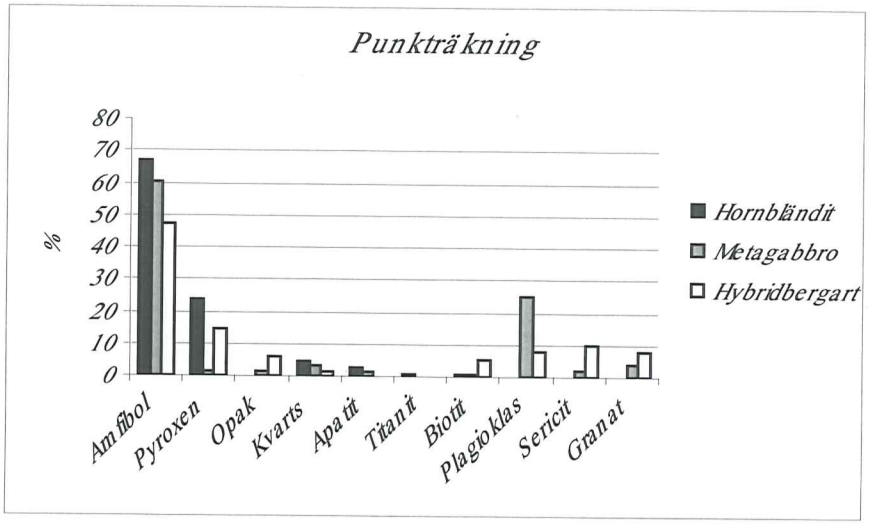
*Analyserna är gjorda på våtkemi. Vid våtkemi löses provet upp i HCL-HNO3-H20 vid 95 grader varpå mätningar görs. Dock löses inte silikater upp, vilket får till följd att element bundna i silikater inte registreras.

Appendix 2

Punkträkning och beräkning av normativa mineral.

Punkträkning

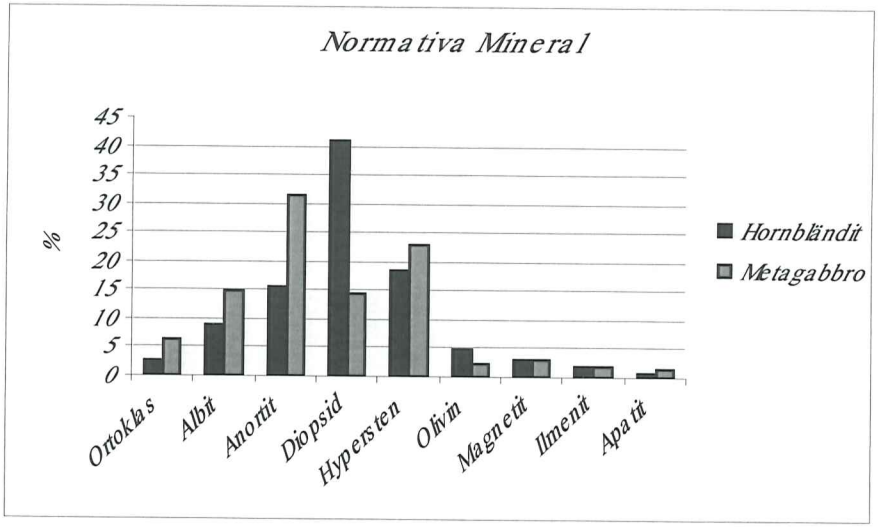
	Hornbländit	Metagabbro	Hybridbergart
	%	%	%
Amfibol	67.2	60.4	47.0
Pyroxen	23.6	1.2	14.2
Opak	0.2	1.4	6.2
Kvarts	4.8	3.4	1.0
Apatit	2.6	1.0	0.0
Titanit	0.8	0.2	0.0
Biotit	0.8	0.9	5.5
Plagioklas	0.0	25.2	8.0
Sericit	0.0	2.1	10.1
Granat	0.0	4.2	8.0
Totalt	100	100	100



Punkträkningen är gjord på tunnslip från proverna CK1 (hornbländit), CK2 (metagabbro) och CP4 (hybridbergart). 500 punkter räknades per slip.

Normativa mineral

	Hornbländit	Metagabbro
	%	%
Ortoklas	2.66	6.15
Albit	8.72	14.64
Anortit	15.33	31.24
Diopsid	40.76	14.26
Hypersten	18.34	22.70
Olivin	4.81	2.32
Magnetit	2.90	2.90
Ilmenit	1.82	1.88
Apatit	0.90	1.51
Total	96.24	97.60



Beräkningen av normativa mineral är gjord utifrån kemianalyserna på prov CK1 (hornbländit) och CK2 (metagabbro).

Appendix 3

Analyser av sammansättningen i olika mineral från granatamfibolit, hornbländit och metagabbro.

Sammansättning av mineral i granatamfibolit

	CS2-2						CS6				CS9					
	OAmf1	OAmf2	OAmf3	Grt6	Grt7	Grt*	Grt1	Grt2	Grt3	Grt4	Plag1	Plag2	Plag3	Plag4	Plag5	Plag6
SiO_2	41.15	41.13	40.62	38.95	38.78	-	37.68	38.30	38.16	37.81	55.53	53.36	51.47	52.03	51.90	55.69
TiO_2	0.31	0.31	0.38	0.02	0.12	-	0.02	0.00	0.06	0.05	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	18.46	17.80	18.36	22.53	22.67	-	21.98	22.10	22.04	22.01	28.66	30.60	31.51	31.25	31.24	28.70
FeO	18.95	19.04	18.55	24.97	24.72	-	26.11	25.19	24.78	24.56	0.76	0.10	0.14	0.17	0.10	0.12
MnO	0.58	0.54	0.48	0.52	0.57	-	0.52	0.53	0.53	0.43	-	-	-	-	-	-
MgO	15.11	15.12	14.89	11.07	11.11	-	9.91	10.22	10.57	10.42	-	-	-	-	-	-
CaO	0.63	0.70	0.60	3.42	3.44	-	3.12	3.35	3.45	3.47	10.39	12.58	13.80	13.40	13.44	10.43
Na_2O	1.95	1.93	1.92	-	-	-	-	-	-	-	5.42	4.42	3.86	4.08	3.86	5.54
K_2O	0.02	0.00	0.02	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
Totalt	97.16	96.57	95.82	101.48	101.14	-	99.34	99.67	99.57	98.76	100.84	101.07	100.80	100.98	100.53	100.48
Syre	23	23	23	12	12	-	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8
Si	6.01	6.05	6.01	2.91	2.90	-	2.90	2.93	2.91	2.91	2.48	2.39	2.32	2.34	2.34	2.49
Ti	0.03	0.03	0.04	0.00	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	3.18	3.08	3.20	1.99	2.00	-	1.99	1.99	1.98	2.00	1.51	1.62	1.68	1.66	1.66	1.51
Fe^{3+}	0.17	0.20	0.13	0.19	0.19	0.11	0.19	0.16	0.18	0.18	-	-	-	-	-	-
Fe^{2+}	2.14	2.14	2.17	1.37	1.36	1.45	1.49	1.45	1.40	1.40	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Mn	0.07	0.07	0.06	0.03	0.04	-	0.03	0.03	0.03	0.03	-	-	-	-	-	-
Mg	3.29	3.31	3.29	1.23	1.24	-	1.14	1.16	1.20	1.20	-	-	-	-	-	-
Ca	0.10	0.11	0.09	0.27	0.28	-	0.26	0.27	0.28	0.29	0.50	0.60	0.67	0.65	0.65	0.50
Na	0.55	0.55	0.55	-	-	-	-	-	-	-	0.47	0.38	0.34	0.36	0.34	0.48
K	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totalt	15.56	15.55	15.56	8.00	8.00	-	8.00	8.00	8.00	8.00	5.00	5.00	5.01	5.01	5.00	4.99

CS2-2. I Grt* är järnförhållandet beräknat utifrån Mössbauerspektroskopi, att jämföra med Grt 6 och 7 som beräknats enligt Droop (1997).

CS6. Granat 1-4 är en profil där Grt1 är analyserad i kanten på granaten, därefter följer de andra inåt med ca 1 mm mellanrum.

CS9. Plagioklas 1 &6 är analyserade i kanten av korn. 2-5 är från de centrala delarna.

	CS9														
	Bt1	Bt2	Bt3	Bt4	Bt5	Bt6	Bt7	Bt8	Grt1	Grt2	Grt3	Grt4	Grt5	Grt6	Grt7
SiO_2	39.14	38.57	36.51	36.83	37.23	37.32	37.74	38.67	37.52	39.13	38.91	38.45	38.70	38.49	38.61
TiO_2	1.15	1.54	1.34	1.42	1.42	1.53	1.82	1.78	0.00	0.00	0.06	0.01	0.09	0.02	0.07
Al_2O_3	18.94	18.92	18.92	18.15	18.46	18.53	18.30	18.53	21.82	22.56	22.13	22.15	22.38	22.24	22.21
FeO	10.88	11.04	11.82	10.62	12.01	11.60	11.81	11.94	25.47	24.06	23.90	23.85	23.94	24.22	24.10
MnO	0.16	0.07	0.08	0.13	0.01	0.03	0.09	0.10	0.72	0.52	0.55	0.59	0.59	0.52	0.52
MgO	16.35	17.05	17.25	16.27	17.02	16.59	16.58	16.75	9.28	11.10	10.87	10.82	10.88	10.86	10.85
CaO	0.08	0.07	0.08	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	3.44	3.35	3.52	3.57	3.48	3.37	3.40
Na_2O	0.52	0.71	0.51	0.71	0.60	0.66	0.69	0.81	-	-	-	-	-	-	-
K_2O	7.75	8.27	6.98	8.04	7.82	8.18	8.50	8.44	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	94.97	96.24	93.49	92.19	94.59	94.47	95.53	97.01	98.24	100.73	99.93	99.44	100.06	99.71	99.75
Syre	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.82	2.76	2.69	2.76	2.73	2.74	2.74	2.76	2.92	2.94	2.95	2.93	2.93	2.93	2.93
Ti	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.61	1.60	1.64	1.60	1.59	1.60	1.57	1.56	2.00	2.00	1.98	1.99	2.00	1.99	1.99
Fe^{3+}	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	0.12	0.11	0.15	0.13	0.15	0.13
Fe^{2+}	0.66	0.66	0.73	0.67	0.74	0.71	0.72	0.71	1.52	1.40	1.41	1.38	1.40	1.40	1.41
Mn	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Mg	1.76	1.82	1.90	1.82	1.86	1.81	1.80	1.78	1.08	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
Ca	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.27	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28
Na	0.07	0.10	0.07	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	-	-	-	-	-	-	-
K	0.71	0.76	0.66	0.77	0.73	0.77	0.79	0.77	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	7.71	7.79	7.78	7.80	7.81	7.81	7.82	7.80	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

CS9. Biotit 1-8 är analyserade från granaten utåt. Bt1 ligger närmast granaten, därpå följer de andra utåt med ungefär 0.5 mm mellanrum.

CS9. Granat 1-7 är en profil där Grt1 är analyserad i kanten på granaten. Resten följer inåt med ungefär 0.5 mm mellanrum.

Sammansättning av mineral i hornbländit

	CP1-2						CP5						
	Amf1	Amf2	Am3	Cpx1	Cpx2	Cpx3	Amf1	Amf2	Amf3	Amf4	Cpx1	Cpx2	Cpx3
SiO_2	42.98	44.39	43.76	51.77	51.94	52.79	42.64	42.59	41.26	42.00	52.58	51.80	52.06
TiO_2	0.91	0.91	0.89	0.13	0.10	0.05	1.36	1.26	0.84	0.82	0.13	0.38	0.08
Al_2O_3	9.34	9.39	9.54	2.74	2.10	0.67	10.50	10.68	10.91	9.64	1.58	2.67	1.77
FeO	14.71	14.95	14.51	8.99	8.68	7.19	15.35	15.62	15.57	14.76	8.58	9.23	8.96
MnO	0.23	0.30	0.20	0.39	0.43	0.44	0.21	0.26	0.20	0.20	0.33	0.27	0.28
MgO	11.07	11.66	11.31	11.97	12.32	13.13	11.09	10.97	10.71	11.16	12.90	12.79	12.46
CaO	12.35	12.46	12.65	24.30	24.53	25.40	12.06	11.94	11.80	11.70	23.71	22.59	24.14
Na_2O	1.07	1.05	1.07	0.45	0.46	0.33	1.37	1.54	1.37	1.24	0.89	0.64	0.53
K_2O	0.64	0.62	0.61	-	-	-	1.23	1.32	1.30	1.14	-	-	-
Totalt	93.29	95.73	94.52	100.74	100.56	100.00	95.81	96.19	93.96	92.66	100.70	100.36	100.27
Syre	23	23	23	6	6	6	23	23	23	23	6	6	6
Si	6.65	6.68	6.67	1.92	1.93	1.97	6.49	6.48	6.41	6.59	1.94	1.92	1.94
Ti	0.11	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.16	0.14	0.10	0.10	0.00	0.01	0.00
Al	1.70	1.67	1.71	0.12	0.09	0.03	1.88	1.92	2.00	1.78	0.07	0.12	0.08
Fe^{3+}	0.33	0.33	0.30	0.06	0.08	0.06	0.17	0.12	0.31	0.24	0.10	0.06	0.08
Fe^{2+}	1.58	1.56	1.55	0.22	0.19	0.16	1.78	1.87	1.71	1.70	0.16	0.22	0.20
Mn	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
Mg	2.55	2.62	2.57	0.66	0.68	0.73	2.52	2.49	2.48	2.61	0.71	0.71	0.69
Ca	2.05	2.01	2.07	0.97	0.98	1.01	1.97	1.95	1.96	1.97	0.94	0.90	0.96
Na	0.32	0.31	0.32	0.03	0.03	0.02	0.40	0.45	0.41	0.38	0.06	0.05	0.04
K	0.13	0.12	0.12	-	-	-	0.24	0.26	0.26	0.23	-	-	-
Totalt	15.46	15.44	15.43	4.00	4.00	4.00	15.64	15.71	15.67	15.61	4.00	4.00	4.00

CP1-2. Amf 1-3 är analyserade i små amfiboler. Cpx1 och Cpx2 är från en uralitiserad pyroxen. Cpx3 är från en neoblastisk pyroxen.

CP5. Amf 1-2 är från stora individer. Amf 3-4 är analyserade i små amfiboler. Cpx 1-2 är från stora uralitiserade pyroxener.

Cpx3 är från en neoblastisk pyroxen.

Sammansättning av mineral i metagabbro

	CK2										CP2-2					
	Amf1	Amf2	Am3	Am4	Grt1	Grt2	Grt3	Grt4	Cpx1	Cpx2	Amf1	Cpx3	Cpx5	Cpx6	Cpx7	Cpx8
SiO_2	42.50	41.58	41.67	42.57	36.60	37.00	36.52	36.62	52.99	51.87	42.49	52.00	51.41	51.86	52.86	51.26
TiO_2	1.87	1.97	1.70	1.42	0.03	0.06	0.09	0.03	0.27	0.28	1.50	0.08	0.07	0.20	0.14	0.14
Al_2O_3	12.41	12.89	12.40	11.82	21.17	21.29	21.21	20.81	2.63	2.36	11.85	1.61	2.10	1.86	1.67	1.56
FeO	15.56	15.71	16.21	15.68	23.69	25.19	23.29	23.22	8.60	9.28	15.39	8.92	9.26	7.84	8.30	7.52
MnO	0.27	0.33	0.21	0.23	3.10	3.83	2.18	3.80	0.34	0.40	0.23	0.17	0.27	0.21	0.26	0.38
MgO	10.73	10.31	10.11	10.88	4.56	5.00	4.58	4.04	13.00	12.43	11.07	13.24	12.86	13.40	13.72	13.59
CaO	12.29	12.11	12.13	12.18	10.13	7.61	10.65	10.04	23.92	23.86	12.37	23.66	24.23	23.95	24.09	23.57
Na_2O	1.24	1.43	1.30	1.27	-	-	-	-	0.51	0.42	1.32	0.44	0.47	0.46	0.54	0.52
K_2O	1.42	1.58	1.46	1.23	-	-	-	-	-	-	1.16	-	-	-	-	-
Totalt	98.29	97.90	97.18	97.29	99.28	99.98	98.53	98.56	102.25	100.90	97.36	100.13	100.67	99.77	101.57	98.54
Syre	23	23	23	23	12	12	12	12	6	6	23	6	6	6	6	6
Si	6.32	6.24	6.29	6.38	2.88	2.90	2.89	2.91	1.93	1.92	6.34	1.93	1.90	1.93	1.93	1.93
Ti	0.21	0.22	0.19	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Al	2.17	2.28	2.21	2.09	1.96	1.97	1.98	1.95	0.11	0.10	2.08	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07
Fe^{3+}	0.15	0.09	0.16	0.24	0.27	0.23	0.23	0.22	0.05	0.07	0.35	0.09	0.13	0.08	0.09	0.10
Fe^{2+}	1.78	1.88	1.88	1.73	1.29	1.43	1.31	1.32	0.21	0.22	1.57	0.19	0.16	0.16	0.16	0.13
Mn	0.03	0.04	0.03	0.03	0.21	0.25	0.15	0.26	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	2.38	2.31	2.28	2.43	0.53	0.58	0.54	0.48	0.71	0.69	2.46	0.73	0.71	0.74	0.75	0.76
Ca	1.96	1.95	1.96	1.95	0.85	0.64	0.90	0.86	0.93	0.95	1.98	0.94	0.96	0.96	0.94	0.95
Na	0.36	0.42	0.38	0.37	-	-	-	-	0.04	0.03	0.38	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
K	0.27	0.30	0.28	0.24	-	-	-	-	-	-	0.22	-	-	-	-	-
Totalt	15.63	15.72	15.66	15.60	8.00	8.00	8.00	8.00	4.00	4.00	15.58	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00

CK2. Amf1-2 är stora korn. Amf 3-4 är små korn. Cpx1 är en neoblast. Cpx2 är en relativt välbevarad större pyroxen.

CP2-2. Amf1 är analyserad i ett litet korn.

Cpx3 är en neoblast. Cpx5 &8 är stora uralitiserade pyroxenkorn. Cpx6-7 är analyserade i respektive sida på en uralitiserad tvilling.

	CP4		CP6b											
	Opx1	Opx2	Amf11	Amf12	Amf14	Amf15	Amf16	Grt3	Grt4	Grt5	Grt6	Grt7	Grt8	Grt9
SiO_2	50.73	50.85	41.64	39.60	39.32	40.53	40.71	37.93	36.73	37.68	38.13	38.46	38.76	38.41
TiO_2	0.10	0.03	1.02	1.04	1.09	1.20	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al_2O_3	1.47	1.27	12.83	12.54	12.76	13.14	12.47	20.30	19.74	20.09	20.37	20.54	20.76	20.84
FeO	24.56	24.79	15.75	16.14	15.73	15.84	15.57	25.35	23.87	24.99	25.82	25.56	25.52	25.63
MnO	0.59	0.53	0.22	0.36	0.34	0.31	0.29	4.03	2.71	4.00	1.64	1.34	1.57	2.42
MgO	20.27	20.04	10.87	10.02	10.07	10.47	10.47	4.26	4.23	4.11	4.57	4.82	4.44	4.54
CaO	0.40	0.45	11.93	11.85	11.89	11.93	12.01	9.16	10.91	10.18	11.15	11.46	11.49	11.19
Na_2O	0.08	0.00	1.31	1.31	1.18	1.25	1.23	-	-	-	-	-	-	-
K_2O	-	-	1.28	1.31	1.29	1.27	1.33	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	98.19	97.97	96.85	94.16	93.65	95.92	95.11	101.02	98.18	101.06	101.68	102.18	102.54	103.04
Syre	6	6	23	23	23	23	23	12	12	12	12	12	12	12
Si	1.94	1.96	6.22	6.14	6.11	6.22	6.12	2.94	2.94	2.94	2.96	2.92	2.92	2.94
Ti	0.00	0.00	0.11	0.12	0.13	0.12	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.07	0.06	2.26	2.29	2.34	2.25	2.34	1.84	1.85	1.85	1.87	1.87	1.88	1.88
Fe^{3+}	0.04	0.02	0.64	0.60	0.61	0.52	0.66	0.28	0.28	0.27	0.22	0.29	0.29	0.25
Fe^{2+}	0.74	0.77	1.35	1.51	1.46	1.49	1.37	1.34	1.38	1.37	1.41	1.34	1.37	1.43
Mn	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.26	0.11	0.09	0.10	0.16	0.17	0.28
Mg	1.16	1.15	2.42	2.31	2.33	2.39	2.36	0.48	0.52	0.55	0.51	0.51	0.55	0.53
Ca	0.02	0.02	1.91	1.97	1.98	1.97	1.93	0.85	0.92	0.94	0.94	0.91	0.83	0.71
Na	0.01	0.00	0.38	0.39	0.36	0.36	0.37	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	0.24	0.26	0.26	0.26	0.24	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	4.00	4.00	15.56	15.65	15.62	15.61	15.57	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

CP6b. Amf11-16 är från små amfibolkorn.

Grt3-9 är en profil från kant till kant, med en längd på ung. 250 mikrometer.

	CP7-1											
	Amf1	Amf4	Amf5	Amf6	Amf7	Grt1	Grt2	Grt3	Grt4	Grt5	Grt6	Grt7
SiO_2	42.45	41.62	41.17	40.68	43.54	37.35	37.17	36.31	37.45	37.69	37.55	37.76
TiO_2	1.57	1.70	1.68	1.37	1.44	0.07	0.00	0.12	0.12	0.13	0.08	0.03
Al_2O_3	11.99	12.40	12.94	12.90	11.41	21.23	21.28	20.96	21.04	21.72	21.46	21.60
FeO	14.10	14.94	15.52	15.33	13.90	24.55	24.60	24.95	24.77	25.01	24.78	25.50
MnO	0.11	0.10	0.12	0.09	0.12	1.69	1.46	1.58	1.41	1.40	1.50	1.93
MgO	11.64	10.67	10.65	10.41	12.08	5.62	5.96	6.09	6.09	6.21	6.36	5.90
CaO	12.20	12.00	12.09	12.09	12.32	8.60	8.44	7.40	7.75	7.76	7.73	7.68
Na_2O	1.31	1.32	1.34	1.28	1.21	-	-	-	-	-	-	-
K_2O	1.08	1.28	1.25	1.35	1.11	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	96.46	96.02	96.76	95.51	97.12	99.09	98.90	97.41	98.62	99.92	99.45	100.39
Syre	23	23	23	23	23	12	12	12	12	12	12	12
Si	6.34	6.29	6.18	6.20	6.45	2.93	2.92	2.90	2.95	2.93	2.93	2.93
Ti	0.18	0.19	0.19	0.16	0.16	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al	2.11	2.21	2.29	2.32	1.99	1.96	1.97	1.97	1.95	1.99	1.97	1.97
Fe^{3+}	0.36	0.30	0.46	0.38	0.33	0.17	0.21	0.23	0.14	0.15	0.17	0.17
Fe^{2+}	1.41	1.60	1.50	1.59	1.40	1.44	1.41	1.44	1.49	1.48	1.45	1.49
Mn	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.11	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.13
Mg	2.59	2.40	2.38	2.36	2.67	0.66	0.70	0.72	0.71	0.72	0.74	0.68
Ca	1.95	1.94	1.94	1.97	1.95	0.72	0.71	0.63	0.65	0.65	0.65	0.64
Na	0.38	0.39	0.39	0.38	0.35	-	-	-	-	-	-	-
K	0.21	0.25	0.24	0.26	0.21	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	15.55	15.59	15.59	15.63	15.52	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

CP7-1. Grt1-7 är en profil från kant till kant. Profilen är knappt 1 mm tvärs över.

	CP7-1					
	Plag1	Plag2	Plag3	Plag4	Plag5	Plag6
SiO_2	52.14	50.80	49.24	50.51	46.15	45.22
TiO_2	-	-	-	-	-	-
Al_2O_3	29.81	30.17	32.29	31.29	33.34	34.13
FeO	0.36	0.35	0.43	0.51	0.44	0.62
MnO	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-
CaO	12.24	12.84	14.86	13.83	16.66	17.61
Na_2O	4.29	3.75	2.94	3.42	1.81	1.44
K_2O	0.15	0.09	0.08	0.10	0.06	0.02
Totalt	98.99	98.00	99.84	99.66	98.45	99.04
Syre	8	8	8	8	8	8
Si	2.39	2.36	2.25	2.31	2.16	2.11
Ti	-	-	-	-	-	-
Al	1.61	1.65	1.74	1.69	1.84	1.88
Fe^{3+}	-	-	-	-	-	-
Fe^{2+}	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Mn	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-
Ca	0.60	0.64	0.73	0.68	0.83	0.88
Na	0.38	0.34	0.26	0.30	0.16	0.13
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Totalt	5.00	5.00	5.01	5.00	5.01	5.02

CP7-1. Plag 1-6 är analyserade mot granat. Så att Plag1 ligger längst ifrån och Plag6 ligger närmast granat.

Tabellerna bygger på kvantitativa kemianalyser med energi dispersiv röntgenflourescens.
Den övre delen av tabellen visar viktprocent av oxiderna, här är allt järn satt som tvåvärt.
Den nedre delen av tabellen visar katjoner. I vissa mineral är järnet omräknat till två och trevärt. Detta är gjort enligt Droop (1987).

Mössbauer analys på förhållandet mellan Fe3+ och Fe2+ har gjorts på granat från prov CS6.
Detta gav ungefär 7% Fe3+, att jämföra med beräkningarna enligt Droop som gav 10-12% Fe3+ i granat för samma prov.

Förkortningar: Amf=amfibol, Oamf=ortoamfibol, Grt=granat, Bt=biotit, Cpx=klinopyroxen, Opx=Ortopyroxen.

Tidigare skrifter i serien "Examensarbeten i Geologi vid Lunds Universitet":

100. Zillén, Lovisa, 1998: Late Holocene dune activity at Sandhammaren, southern Sweden -chronology and the role of climate, vegetation, and human impact.
101. Bernhard, Maria, 1998: En paleoekologisk -paleohydrologisk undersökning av våtmarks-komplexet Rolands hav, Blekinge.
102. Carlemalm,Gunnar, 1999: En glacialgeologisk studie av morän och moränfyllda sprickor i underliggande sandursediment, Örsjö, Skåne.
103. Blomstrand, Malou, 1999: 1992-1998 Seismicity and Deformation at Mt. Eyjafjalla-jökull volcano,South Iceland.
104. Dahlqvist, Peter, 1999: A Lower Silurian (Llandoverian) halysitid fauna from the Berge Limestone Formation, Norderön, Jämtland, central Sweden.
105. Svensson, Magnus A., 1999: Phosphatized echinoderm remains from upper Lower Ordovician strata of northern Öland, Sweden - preservation, taxonomy and evolution.
106. Bengtsson, Anders, 1999: Trilobites and bradoriid arthropods from the Middle and Upper Cambrian at Gudhem in Västergötland, Sweden.
107. Persson, Christian, 1999: Silurian graptolites from Bohemia, Czech Republic.
108. Jacobson, Mattias, 1999: Five new cephalopod species from the Silurian of Gotland.
109. Augustsson, Carita, 1999: Lapillituff som bevis för underjurassisk vulkanism av strombolikaraktär i Skåne.
110. Jensen, Sigfinn J., 1999: En silurisk transgressiv karbonatlagerföljd vid S:t Olofsholms stenbrott, Gotland.
111. Lund, Mats G., 1999: En strukturgeologisk modell för berggrunden i Sarvesvagge - Luottalako-området, Sareks Nationalpark, Lappland.
112. Magnusson, Jakob, 1999: Exploration of submarine fans along the Coffee Soil Fault in the Danish Central Graben.
113. Wickström, Jenny, 1999: Conodont biostratigraphy in Volkhovian sediments from the Mäekalda section, north-central Estonia.
114. Sjögren, Per, 1999: Utmarkens vegetationsutveckling vid Ire i Blekinge, från forntid till nutid - en pollenanalytisk studie.
115. Sälgeback, Jenny, 1999: Trace fossils from the Permian of western Dronning Maud Land, Antarctica.
116. Söderlund, Pia, 1999: Från gabbro till granatamfibolit. En studie av metamorfos i Åkermetabasiten väster om Protoginzonen, Småland.
117. Jönsson, Karl-Magnus, 2000: Sedimen-tologiska och litostratigrafiska undersökningar i södra Malmös kvartära avlagringar, södra Sverige.
118. Romberg, Ewa, 2000: En sediment- och biostratigrafisk undersökning av den tidigare Littorina-lagunen vid Barsebäck, SV Skåne, med beskrivning av en Preboreal klimat-oscillation.
119. Bergman, Jonas, 2000: Skogshistoria i Söderåsens nationalpark. En pollenanalytisk studie i Söderåsens nationalpark, Skåne.
120. Lindahl, Anna, 2000: En paleoekologisk och paleohydrologisk studie av fuktängar i Bräkneåns dalgång, Bräkne-Hoby, Blekinge.
121. Eneroth, Erik, 2000: En paleomagnetisk detaljstudie av Sarekgångsvärmen.
122. Terfelt, Fredrik, 2000: Upper Cambrian trilobite faunas and biostratigraphy at Kakeled on Kinnekulle, Västergötland, Sweden.
123. Sundberg, Sven Birger, 2000: Vattenrening genom komplexbildning mellan järn och humusämnen - en litteraturstudie med försök.
124. Sundberg, Sven Birger, 2000: Sedimentationsprocesser och avlagringsmiljö för en kantrygg kring platåleran vid Rydsgårds gods i backlandskapet söder om Romeleåsen, Skåne.
125. Kjöllerström, Anders, 2000: En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna.
126. Cinthio, Kajsa, 2000: Senglacial och tidigholocen etablering och expansion av lövträd på en lokal i nordvästra Rumänien.
127. Lamme, Sara, 2000: Klimat- och miljöförändringar under holocen i Sylarnaområdet, södra svenska Skanderna, baserat på analys av makrofossil och klyvöppningar.
128. Jönsson, Charlotte, 2000: Geologisk och hydrogeologisk modellering av området mellan Bjuv och Söderåsen, nordvästra Skåne.
129. Kleman, Johan, 2001: Utvärdering av den underkambriska litostratigrafin på Österlen, södra Sverige.
130. Sundler, Malin, 2001: En jämförande studie mellan uppmätt och MACRO-simulerad pesticidutlakning på ett odlingsfält i Skåne.
131. Grönholm, Anna, 2001: Högtrycksmetabasiter i den södra delen av Mylonitzonen: fältgeologi, petrografi och metamorf utveckling.
132. Ekdahl, Magnus, 2001: En studie av Källsjögranitens deformationsmönster och kine-matiska indikatorer inom Ullaredszonen.
133. Axheimer, Niklas, 2001: Middle Cambrian trilobites and biostratigraphy of the Almbacken drill core, Scania, Sweden.
134. Lindén, Mattias, 2001: Proglacial deformation of glaciofluvial sediments during the Pomeranian

deglaciation in the Neubranden-burg area, NE Germany.

135. Warnhag, Jon, 2001: A geochemical study of the zoned Pan-African Mon Repos intrusion, Central Namibia.
136. Lundmark, Mattias, 2001: Zirkonstudie av Norra Hortens bergarter, SV Sverige.
137. Gunnarson, Rebecka, 2001: Sedimentologisk undersökning av en moränskärning i en djupvittrad sprickdal på Romeleåsen, Skåne.
138. Karlsson, Christine, 2001: Diagenetic and petrophysical properties of deeply versus moderately buried Cambrian sandstones of the Caledonian foreland, southern Sweden.
139. Eriksson, Mårten, 2001: Bedömning av föroreningsspridning kring en nedlagd bensinstation i Karlaby, sydöstra Skåne.
140. Ljung, Karl, 2001: A paleoecological study of the Pleistocene-Holocene transition in the Kap Farvel area, South Greenland.
141. Åkesson, Cecilia, 2001: Undersökning av grundvattenförhållanden i området kring Östra Vemmerlöv, Simrishamns kommun, sydöstra Skåne.
142. Bermin, Jonas, 2001: Modelling Mössbauer spectra of biotite.
143. Mansurbeg, Howri, 2001: Modelling of reservoir quality in quartz-rich sandstones of the Lower Cretaceous Bentheim sandstones, Lower Saxony Basin, NW Germany.
144. Hermansson, Tobias, 2001: Sierggavággeskollans strukturgeologiska utveckling; nyckeln till Sareks berggrundsgeologi.
145. Veres, Daniel-Stefan, 2001: A comparative study between loss on ignition and total carbon analysis on Late Glacial sediments from Atteköps mosse, southwestern Sweden, and their tentative correlation with the GRIP event stratigraphy.
146. Ahlberg, Tomas, 2001: Hydrogeologisk undersökning samt sårbarhetskartering av området kring tre bergborrade grundvatten-anläggningar i Simrishamns kommun.
147. Boman, Daniel, 2001: Tektonostratigrafi och deformationsrelaterad metamorfos i norra Kebnekaisefjällen, Skandinaviska Kaledoniderna.
148. Olsson, Stefan, 2002: The geology of the Portobello Peninsula; proposal of a saturated to oversaturated lineage within the Dunedin Volcano, New Zealand.
149. Molnos, Imre, 2002: Petrografi och diagenes i den underkambriska lagerföljden i Skrylle, Skåne.
150. Malmborg, Pär, 2002: Correlation between diagenesis and sedimentary facies of the Bentheim Sandstone, the Schoonebeek field, The Netherlands.
151. Jonsson, Henrik, 2002: Permeability variation in a tidal Jurassic deposit, Höganäs basin, Fennoscandian Border Zone
152. Lundgren, Anders, 2002: Seveskollorna i nordöstra Kebnekaise, Kaledoniderna: metabasiter, graniter och ögongnejser.
153. Sultan, Lina, 2002: Reconstruction of fan-shaped outwash in front of the Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: Architecture and style of sedimentation.
154. Rimša, Andrius, 2002: Petrological study of the metamafic rocks across the Småland-Blekinge Deformation Zone
155. Lund, Magnus, 2002: Anti-slope scarp investigation at Handcar Peak, British Columbia, Canada.
156. Sjöstrand, Lisa: 2003: Early to early Middle Ordovician conodont biostratigraphy of the Tamsalu drill core, central Estonia.
157. Nilsson, Jonas, 2003: Carcharhiniforma hajar från Limhamns kalkbrott.
158. Larsson, Linda M., 2003: Late Triassic and Early Jurassic palynology of the Höganäs Basin and the Ängelholm Trough, NW Scania, Sweden.
159. Sköld, Pia, 2003: Holocen skogshistoria i Stenshuvuds nationalpark, Skånes östra kust, Sverige.
160. Fuchs, M., 2003: Påverkan av sterilisering på gruvsand – en mineralogisk och texturell undersökning.
161. Ljungberg, Julia, 2003. Sierggavággeskollan i gränslandet mellan Sarek och Padjelanta; miljöindikatorer för fjällkedjeberggrundens bildning.
162. Håkansson, Lena, 2003: An architectural element analysis of a large-scale thrust complex, Kanin Peninsula, NW Russia: interaction between the Barents and Kara Sea ice sheets.
163. Davidson, Anja, 2003: Ignimbritenheterna i Barranco de Tiritaña, övre Mogánformationen, Gran Canaria.
164. Näsström, Helena, 2003: Klotdioriten vid Slättemossa, centrala Småland – mineralkemi och genes.
165. Nilsson, Andreas, 2003: Early Ludlow (Silurian) graptolites from Skåne, southern Sweden.
166. Dou, Marion, 2003: Les ferromagnésiens du granite rapakivique de Nordingrå – centre-est de la Suède – composition chimique et stade final de cristallisation.
167. Jönsson, Emma, 2003: En pollenanalytisk studie av råhumusprofiler från Säröhalvön i norra Halland.
168. Alwmark, Carl, 2003: Magmatisk och Metamorf Petrologi av en Mafisk intrusion i Mylonitzonen.