

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Mineralogi och petrologi

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA



En geokemisk studie av bergartsvariationen
på Bullberget i västra Dalarna

Anders Kjällerström

Per

Lunds univ. Geobiblioteket



15000

600955218

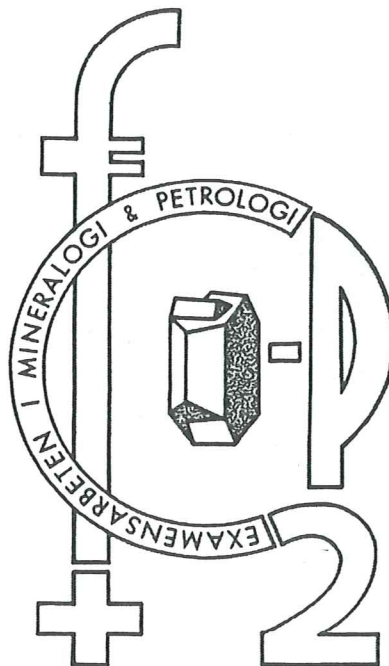
Examensarbete, 20 p
Institutionen, Lunds Universitet

Nr 125

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Mineralogi och petrologi

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA



En geokemisk studie av bergartsvariationen
på Bullberget i västra Dalarna

Anders Kjällerström

En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna

ANDERS KJÖLLERSTRÖM

CODEN: SE-LUNBDS/NGB-00/5125+31s

Anders Kjölllerström, Department of Geology, Division of Mineralogy, Lund University, Sölvegatan 13. S-223 62 Lund, Sweden.

The *Bullberget* hill is situated in the Lima parish of the Dalarna province in western Sweden. The major rock forming the hill is *Öje basalt*. This is cut by a *dolerite* sill belonging to the same generation as the *Åsby dolerite*, which is common in the province. The sill displays a continuous transition from a SiO₂-content of 54% to 73%. No lithological boundaries have been found between the various rock types, all changes seem to be gradual. The rock samples have been studied at two prior occasions, which has resulted in two different interpretations to explain the chemical diversification. The first interpretation suggests crystal fractionation. The second interpretation rejects this explanation and suggests wallrock assimilation as the cause of the variation. In order to determine the liability of this conclusion and confirm what process is responsible for the variation new geochemical analyses of trace elements and Sm-Nd isotopes have been carried out.

These analyses show that the trace elements as well as the ϵ_{Nd} -values follow linear trends between two end members. Data conform well to the two types of plots used, linear companion plots and mixing hyperbolas. The arithmetic means of R^2 for these plots are 0.88 and 0.92, respectively, after due transformations to adjust for spurious correlation and non-normally distributed errors. The ϵ_{Nd} and Eu-anomaly change from 1.05 and 0.83 to -2.23 and 0.38 respectively, from the mafic to the felsic end member of the data series. The REE plot shows little variation among the samples although a group consisting of the most felsic samples can be identified among the LREE.

Together these results clearly show that two separate chemical reservoirs, having different times of separation from the mantle, have been mixed but not homogenised. A microscopical study of the material reveals an abundance of granophyr as well as wide-spread recrystallisation of most phases. This supports the assumption of two not fully homogenised parent materials. Furthermore it shows that cooling has been very rapid, which is consistent with the idea of a large mass of wall-rock being assimilated and through heat exchange partially melted by the magma.

Bullberget är beläget i västra Dalarna i Lima socken. Huvudbergarten utgörs av Öjediabas, som här är genomslagen av en horisontell diabasgång tillhörande samma generation som den i Dalarna rikligt förekommande Åsbydiabasen. Denna diabasgång uppvisar en steglös övergång från en SiO₂-halt på 54% till 73%. Även bergartens makroskopiska utseende förändras helt utan synliga kontakter. Bergarterna har tidigare studerats vid två skilda tillfällen, vilket har resulterat i två skilda förklaringar till hur de har bildats. En första förklaring som anger kristallfraktionering som bildande process samt en andra som vederlägger den första och i stället anger sidobergsassimilation som orsak till variationen. Med syfte att klargöra vilken process som gett upphov till variationen har nya geokemiska analyser av spårämnen samt Sm-Nd isotoper genomförts.

Dessa analysresultat visar att spårämnena följer en entydigt linjär trend samt att även ϵ_{Nd} -värdet förändras linjärt mellan ändleden. Data ansluter mycket väl till de två typer av kurvor som plottas för spårämnen (linjära *companion plots* samt blandningshyperblar) med ett medelvärde på R^2 på 0,88 respektive 0,92 då dessa anpassats för skenbar korrelation respektive ej normalfördelade fel. ϵ_{Nd} samt Eu-anomalin förändras från 1,05 respektive 0,83 för det mafiska uppmätta ändledet till -2,23 respektive 0,38 för det felsiska ändledet. REE visar mycket liten spridning. Det finns dock en tydlig gruppering med de mest felsiska proverna med något högre värden på LREE. Detta visar tydligt att det måste ha funnits två ursprungsmaterial med olika kemisk sammansättning samt olika tidpunkt för separering från manteln, som har blandats men inte homogeniserats. Genomgång av materialet i mikroskop visar framför allt att många faser är kraftigt omvandlade samt att förekomsten av granofyr är mycket riklig. Detta stöder antagandet om att de två ursprungsmaterialen inte till fullo har homogeniserats samt visar att avsvälningen skett mycket snabbt, vilket ligger helt i linje med antagandet om att en stor mängd sidoberg assimilerats och genom värmeutbyte delvis smälts upp av magman.

Keywords: Geochemistry, Ratio Correlation, Epsilon-Nd, Central Scandinavian Dolerite Group (CSDG), Wallrock Assimilation, Two-component Mixing

Innehållsförteckning

Introduktion	4
Frågeställning och arbetsmetodik	4
Förutsättningar	5
Analys	6
ACF-processer enligt DePaulo	6
Optisk mikroskopering samt stuffbeskrivning	6
Punktanalyser av fältspater	8
Statistik	9
Blandning	10
Urval	10
Hyperbola elementkvoter	10
Linjära elementkvoter	11
Sm-Nd isotopsystematik	12
Sällsynta jordartsmetaller (REE)	13
Diskussion	14
Slutsatser	18
Tack	18
Referenser	19
Appendix	20
Provbeteckning	20
Accuracy	21
R²-värden för linjära diagram	22
R²-värden för hyperboliska diagram	23
Huvudelement mm	24
Spårelement	26
Isotopmätningar	27
Klassifikationsdiagram	28
Urval av diagram enligt Langmuir	29

Introduktion

Syftet med detta arbete är att försöka fastställa vad som orsakat den kemiska variation som uppvisas i en diabasgång på Bullberget i Dalarna.



Figur 1. Karta över Dalarna med Bullberget och förenklad regionalgeologi.

Bullberget är beläget i Lima socken i västra Dalarna och utgörs av en i NNW-SSÖ riktning utsträckt kulle med en längd på 2 km. Den står ca 100 m över omgivningen, toppen ligger 626,6 m över havet. Bullberget ligger i mitten av ett 5 km brett bälte av Öjebasalt, över- och underlagrad av Jotniska sandstenar. Öjebasalten skärs här av en intrusiv diabas samhörande med de Jotniska Åsby- och Särnadiabaserna. Denna diabas övergår lokalt på Bullberget gradvis till en syenitliknande bergart och slutligen till en kvartsporfyr. Hela serien omges av Öjebasalt. Denna beskrivning är en sammanfattning av Hjelmqvists (1961) beskrivning. Åsbydiabasen har senare av Gorbatshev *et al* (1979) tillförts SCDG (Central Scandinavian Dolerite Group). Bullberget har även beskrivits av Hjelmqvist (1966) och Solyom (1973), men även Törnebohm (1877, 1896) och Geijer (1922) uppmärksammade lokalens i

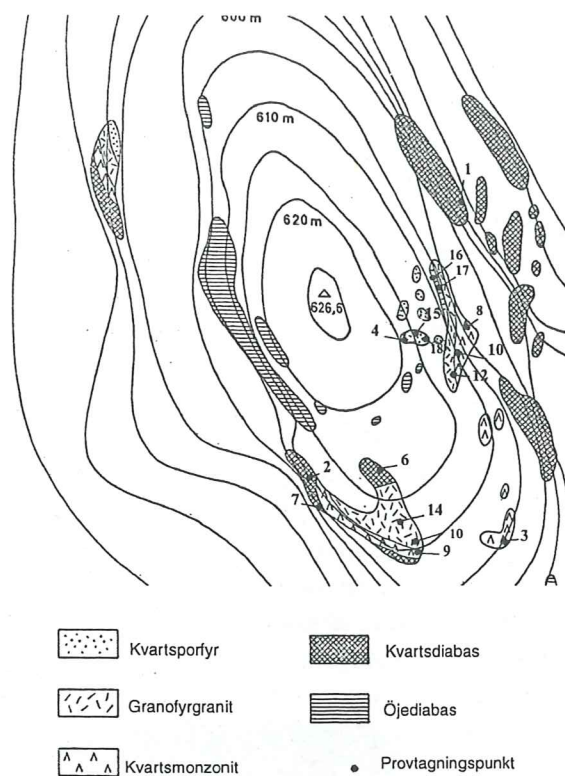
jämförelse med omgivning avvikande petrografiska karaktär.

Den gradvisa övergången från kvartsporfyr till syenit har en maximal mäktighet på 50 m och innehåller inga tydliga kontakter mellan de olika bergarterna som bygger upp serien. Hjelmqvist tolkar denna gradvisa övergång som en fraktionerad kristallisation samt anger sekvensen som en enda övergångsserie. Solyom (1973) visar med hjälp av kemiska analyser på huvudelementen och ett fåtal spårelement att en assimilerad xenolit (ren blandning) är att föredra som förklaring till den kemiska variationen.

Frågeställning och arbetsmetodik

Bullberget karterades 1957 av C.-A Larsson på uppdrag av Hjelmqvist, som kompletterade karteringen 1960. Resultatet publicerades av Hjelmqvist (1961; se fig. 2 med provtagningspunkter). De tidigare analysmetoder som tillämpats på detta material är främst mikroskopering (Hjelmqvist 1961). Därtill kommer också okulär besiktning av stuffer samt mycket begränsade kemiska analyser. Solyom (1973) genomförde en grundlig analys av huvudelement samt ett fåtal spårelement för tjugo av proven.

Detta arbete utförs för att med modernare metoder undersöka riktigheten i Solyoms (1973) slutsatser om ursprunget till den kemiska variation som finns på Bullberget. De undersökningar som genomförs är förutom mikroskopisk och okulär besiktning, spårämnesanalys (som läggs till Solyoms analysresultat från 1973), Sm-Nd isotopanalys (utförd med stor hjälp av Hans Schöberg på Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm) samt punktanalyser av fältspater samt studier av deras habitus utförda på geologiska institutionens i Lund svepelektronmikroskop (SEM).



Figur 2. Karta över Bullberget efter Hjelmqvist (1961) med provtagningspunkter.

Förhoppningen är att med hjälp av en eller flera av dessa nya analysmetoder kunna fastställa vad som gett upphov till den kemiska variationen som föreligger i Bullberget. Elementdata används för att statistiskt testa om blandning föreligger och för att kontrollera om det finns en trend för de sällsynta jordartsmetallernas fördelning. Sm-Nd isotopdata utnyttjas för att se om och hur ϵ_{Nd} förändras med SiO_2 -halten. Svepelektronmikroskopet med EDS-detektor används för att med hjälp av punktanalys om möjligt belägga zoner i fältspaterna till följd av de olika kemiska miljöer de befunnit sig i. Dessutom bör fältspaternas habitus kunna visa om de befunnit sig i kemisk jämvikt eller inte.

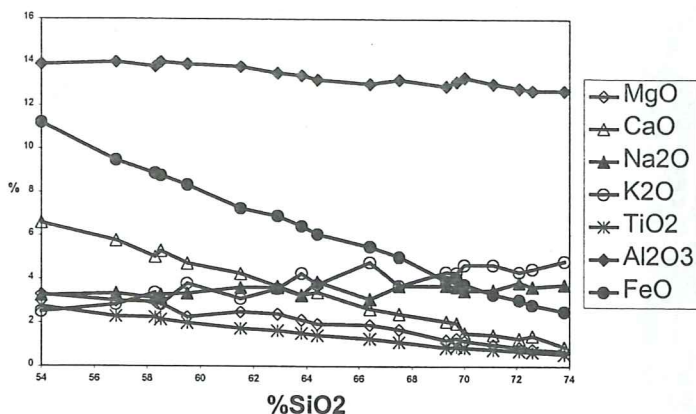
Förutsättningar

Inget fältarbete har företagits; proven som ligger till grund för detta arbete är desamma som Hjelmqvists (1961) och Solyoms (1973) arbeten grundar sig på. Av dessa tjugo prov saknas ett (Solyoms nummer arton; förkommet), ett ingår inte i den undersökta variationsserien utan består av sidoberget Öjebasalt (Solyoms nummer två). Återstår alltså arton prov för användning i detta arbete. Samtliga prov består av både stuffer och malt pulver, de flesta hade dessutom tillhörande tunnslip klistrade med kanadabalsam. För att kunna undersöka samtliga förekommande bergartstyper i svepelektronmikroskopet valdes tolv prov ut för tillverkning av polerade tunnslip.

Samtliga prov skickades till Acme Analytical Laboratories för spårelementsanalys. Den analysmetod som använts är ICP MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer). Metoden går i korthet ut på att det pulveriserade provet hettas upp till en plasma för att sedan ledas in i en masspektrometer. Där sorterar jonerna efter massa och sålunda kan de identifieras och proportioner beräknas. ICP MS har en mycket hög precision samt dito tillförlitlighet. Två husstandardprov som skickades med analysen visar att tillförlitligheten för denna är god (se appendix). Huvudelementsanalys samt beräkning av normativt mineralinnehåll hämtas direkt ur Solyoms (1973) arbete, bergartsklassificering enligt Cox (1979) grundar sig på dessa resultat. För att underlätta och förtydliga har jag i detta arbete inför en egen beteckning, kallad kj1-18, på proven som numreras efter stigande SiO_2 -halt (dvs. surhetsgrad). Se appendix för motsvarande beteckningar hos Hjelmqvist och Solyom.

Proven varierar mellan syenodiorit och alkaligranit, med SiO_2 -halter mellan 54,0% och 73,8%; övriga huvudelement varierar linjärt med SiO_2 -halten (se fig. 3). Se även

appendix för klassifikationsdiagram enligt Cox och Streckeisen.



Figur 3. Harkerdiagram visar huvudelementens linjära trender.

Analyser

ACF-processer enligt DePaulo

Med avsikt att undersöka huruvida en kombinerad assimilations-, kristallisations- och fraktioneringsprocess skulle kunna förklara den kemiska variation, som återfinns på Bullberget, studerades den modell DePaulo (1981) framlagt för att matematiskt beskriva processen i fråga.

Det visar sig dock att alltför många okända variabler föreligger för att modellen skall kunna tillämpas med framgång – assimilationshastighet, kristallisationshastighet, elementhalt i sidoberget, elementhalt i magman, elementhalt i de kristalliserande faserna samt kristallisationsgraden. Av dessa kan endast elementhalten i sidoberget och magman uppskattas med någorlunda god tillförlitlighet. Detta då sidoberget förmodas vara identiskt med de mest SiO₂-rika proven från Bullberget och magma-sammansättningen med den i regionen vanligen förekommande och med intrusionen på Bullberget jämgamla Åsbydiabasen. Övriga variabler måste

samtliga varieras inom vad som antas vara rimliga gränser. Detta ger hela fyra frihetsgrader för att finna ett spårämnesmönster liknande det som föreligger i proven. Det går rimligtvis att producera ett sådant mönster med så många frihetsgrader, däremot har det knappast något bevisvärde. Modellen förutsätter dessutom en kontinuerlig homogenisering och skulle sålunda inte ge någon bra beskrivning av den inhomogenitet som proven uppvisar. Visserligen är det fullt möjligt att magman inte homogeniseras fullt ut och att man då skulle få en fördelning mer lik den sökta. Det är dock orimligt att använda en modell som förutsätter homogenisering för att försöka förklara ett heterogent fenomen.

Optisk mikroskopering samt stoffbeskrivning

Proven undersöktes i optiskt mikroskop med planpolariserat ljus för klassificering samt för att söka efter spår efter den process som gett upphov till den kemiska variationen.

Generellt gäller för alla prov att endast kvartskorn, opaka faser och enstaka albitkorn är något så när oomvandlade. I övrigt är samtliga faser utsatta för en mer eller mindre kraftig omvandling och/eller intim sammanväxning med andra faser. Detta gör att det ofta är svårt att korrekt identifiera faser och kristaller, varför man bör vara mycket försiktig med att tolka resultaten av mikroskoperingen. Fältspater samt en del av pyroxenen är sub- till euhedral – dock aldrig utan påväxningar – övriga faser är anhedrala.

Proven visar en inte helt linjär men dock tydlig trend vad gäller mineralparageneser. De innehåller i stort samma mineral, endast proportionerna ändras. Kornstorleken minskar från fin för de mest basiska proven till mycket fin eller tät för

det mest SiO₂-extrema proven. Stora (\cong 3 mm) kalifältspater återfinns i prov kj3, kj7 och i viss mån även i kj6. Dessa prov har en allt för låg SiO₂-halt (kj7 har mest med 61,5%) för att kristallisera denna fas tidigt som fenokristfaser. Vid dessa låga SiO₂ halter kan man förvänta sig små mängder kalifältspat som matrixfaser om inte en hög volatilihalt gör att allt kalium i stället kommer att bindas i biotit. Detta tyder på att mingling förekommit. De mer basiska proven består främst av sericitiserade plagioklaser (inte sällan med en påväxtrand av kalifältspat), små och "rena" albiter förekommer (men de är inte vanliga), grov till fin radiell granofyrisk sammanväxning av kvarts och kalifältspat samt klinopyroxen. Därtill kommer mindre

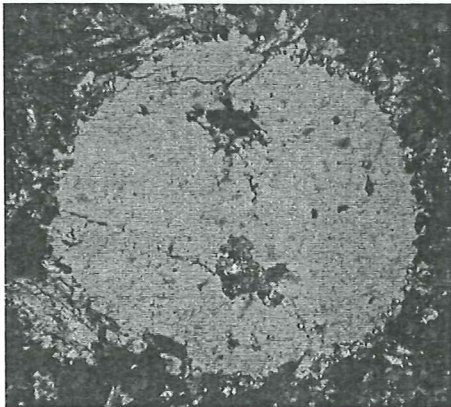


Bild 1. Kvartsxenokrist med angripna kanter.

mängder kvartskorn och en del mörka mineral (hbl, opaka faser). I vissa av de mindre sericitiserade fältspaterna kan man se tydliga albittvillingar och ibland zonerings definierade av kristallens utsläkningsvinklar. I de mer felsiska proven är plagioklasen mer utdragen i sin längdriktning och något starkare sericitiserad, mörka mineral förekommer endast i små mängder, företrädesvis hornblände. De granofyriska sammanväxningarna är här mikrografiska och mycket vanligare och kan utgöra upp till hälften av ett tunnslip. Vidare förekommer - till skillnad från de basiska proven - granofyr

helt självständigt, inte bara som påväxt på fältspatskristaller. Eventuella albittvillingar går här inte att se, då fältspaterna är alltför starkt omvandlade. Det finns dock antydningar till karlsbadertvillingar samt zonerings. Zoneringsarna definieras dock inte av utsläkningsmönstret utan snarare av hur starkt sericitiserad kristallen är. Kärnorna är hårdast angripna.

Ett av Hjelmqvists tunnslip (kj18, Hjelmqvists slip #9101, kvartsporfyrt m. sandsten) utgörs av nästan endast sandsten. Denna är bitvis helt intakt, bitvis uppsprucken i aggregat och enskilda kvartskorn uppblandade med fältspater och granofyriska sammanväxningar, vilka verkar vara identiska med dem som finns i de mer felsiska proven

Enstaka kvartsxenokrist eller små litofragment bestående av ett par korn (främst kvarts men i åtminstone ett fall av granitisk sammansättning) återfinns i nästan alla tunnslip (se bild 1 och 2). Dessa korn är alltifrån mycket större än till lika stora som de i paragenesen ingående kornen. De kan bestå av mycket väl rundade korn som endast är svagt angripna i kanterna till nästan helt upplösta och ersatta korn.

Det är mycket möjligt att det faktiskt förekommer kvartsxenokristen även i de



Bild 2. Granitiskt litofragment med plagioklas, kvarts och zirkon.

prov där inga hittats. De kan i de fall då det inte föreligger någon markant kornstorleksskillnad mellan xenokrister och övriga korn, eller då xenokristerna är tillräckligt uppsmälta för att ha förlorat sin runda form lätt förväxlas med de kvartskorn som ingår i mineralparagenesen.

Punktanalyser av fältspater

Arbetshypotesen för denna analys är följande:

Om en sur xenolit har smält upp och mekaniskt blandats in i en basisk magma, bör man kunna hitta zonerade fältspat(xeno)krister som speglar de förändrade kemiska miljöer som fältspaten vuxit till i. Här kan man föreställa sig två olika typer av zonerings. Den första med en kärna i jämvikt med det sura ändledet och en rand i jämvikt med den basiska magman (xenokrist med ursprung i sidoberget). Den andra med en kärna som bildats tidigt under magmans färd mot ytan och sålunda i jämvikt med den ursprungliga diabasen och med zoner som speglar en allt surare magma ju längre från kärnan man kommer (fenokrist med ursprung i diabasmagman).

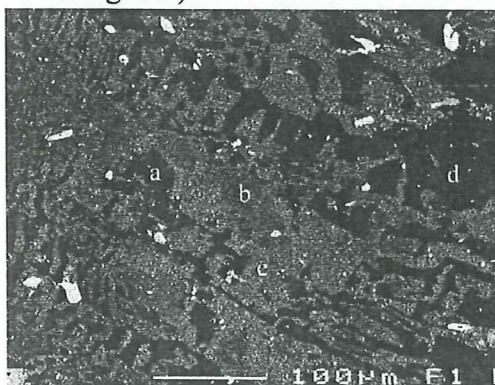


Bild 3. Anhydral fältspat med granofyr.
Fälten är:
a) albit, b) pertitbildning, c) kalifältspat,
d) kvarts

Detta kan enkelt kontrolleras genom att undersöka förändringen i kvoten $Na/(Na+K)$ från fältspatkristallernas kärna till deras kant; ett lågt värde motsvarar en kemi i jämvikt med det sura ändledet medan ett högt värde visar en jämvikt som ställt in sig i diabasmagman. För en fältspatskärna från xenoliten bör dennas Na-K signatur förändras mot en allt flackare linje då den omgivande färdiga blandningens kemi allt mer liknar xenolitens. Då fältspaten i stället härstammar från magman bör Na-K signaturen vid inblandning av mycket främmande material bli starkt positiv och flack kring låga värden om endast lite främmande material inblandats. Det skulle dock kunna förhålla sig så att en sådan primärt bildad kemisk zonerings

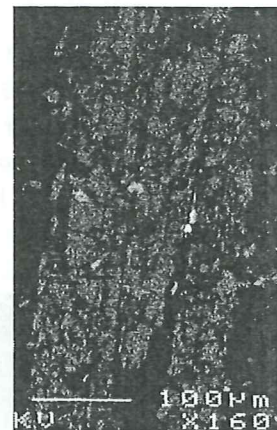


Bild 4. Anhydral fältspat.

raderats genom senare diffusion. Detta är fullt möjligt i fallet Bullberget då de omfattande sericitiseringarna tyder på en postmagmatisk period med höga temperaturer. Diffusionen skulle rimligtvis resultera i pertitbildningar, vilket också finns om än bara sporadiskt. För att testa om denna kemiska trend föreligger bland proven

undersöktes dessa med punktanalys i geologiska institutionens svep-elektronmikroskop.

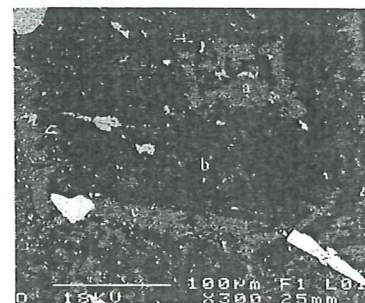


Bild 5. Fältspat med påväxtrand.
Fälten är:
a) sericitiserad kärna, b)
huvudsakligen albit, c) påväxtrand av
kalifältspat

Fältspaternas starkt sericitiserade karaktär visade sig vara ett stort problem, då det var svårt att hitta kristaller, som är tillräckligt rena för att möjliggöra mätningar. Detta har sannolikt gett upphov till ett icke-slumpmässigt urval – ett så kallat bias - i urvalet för mätningarna (se bild 3 och 4). Endast en enda kristall hittades som uppvisar den förutspådda zoneringsen med en kalium-rik kärna som gradvis ökar i natrium-halt ut mot kristallkanten. Övriga Na-K signaturer som uppmätts är samtliga flacka med enstaka avvikande punkter. Däremot visade det sig att en tydlig påväxtrand av kalifältspat är vanlig på albitkristaller. I dessa fall är det dock frågan om en mycket skarp gräns mellan två faser – inte alls någon gradvis övergång (se bild 5).

Statistik

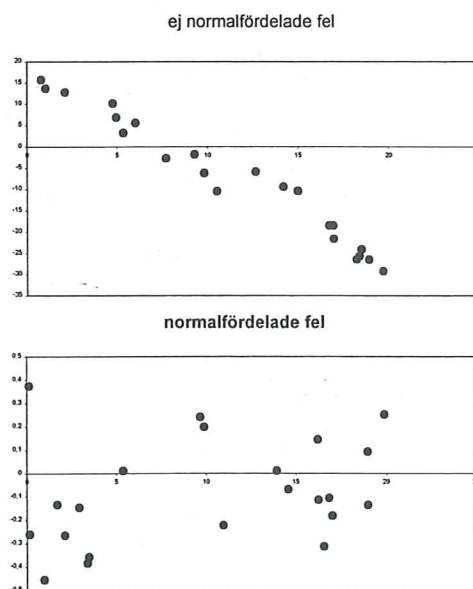
Som ett mått på hur väl ett antal punkter ansluter till en kurva används determinationskoefficienten R^2 . Denna varierar mellan 0 och 1. Då R^2 är 0 föreligger inget samband mellan punkterna och kurvan. Om R^2 i stället är 1 ligger samtliga punkter på kurvan; kurvan ger alltså i sådana fall en bra beskrivning av punkterna. R^2 beräknas enligt:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - y_m)^2}{\sum (y_i - y_m)^2}$$

$$= 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - y_m)^2}$$

Där \hat{y}_i är det från regressionen beräknade y-värdet, y_m är medelvärdet av y samt y_i det faktiska y-värdet. Regressionen har i detta arbete tagits fram med hjälp av programmet igpet2000, R^2 har sedan beräknats i Excel. För att få ett så rättvisande R^2 -värde som möjligt är det viktigt att utesluta systematiska fel. Något som lätt uppstår i den här typen av undersökningar, där mätfel finns i data på både x- och y-axeln. Eftersom R^2 beräknas ur y-värden är det känsligt för förändringar i x, om x kan tänkas variera kring sitt rätta värde (vilket

är fallet här med mätfel i x såväl som y) matchas inte det beräknade y-värdet mot rätt mätvärde. Avvikelsen i y plottat mot x ska - om systematiska avvikelser inte finns - ge punkter normalfördelade kring $y=0$. Om avvikelsen i y mot x däremot uppvisar någon som helst trend föreligger en systematisk avvikelse. Denna avvikelse kan bl.a. bero på förändrade förhållande över tiden vid mätningarna eller så kan plottningsmetoden generera avvikelser. Om en systematisk avvikelse föreligger bör man kontrollera om man på något sätt kan konvertera axlarna och på det viset få normalfördelade avvikelser (se fig. 4 och 5).



Figur 4 och 5. Ej normalfördelade respektive normalfördelade fel.

I ett av testen som används har kurvorna en hyperbelform och går mot oändligheten då x går mot 0. Det är då inte svårt att inse att avvikelserna mätt i y-led kan bli mycket stora för små x (beroende på små mätfel i x). Däremot så bör avvikelserna i y-led inte vara stora för stora x (avvikelsen i y avtar alltså med x). På precis samma sätt så får man lätt stora avvikelser i x för små y och små avvikelser i x för stora y, här är dock endast avvikelser i y av intresse eftersom R^2 -värdet beräknas ur differenser i y. Om det visar sig att avvikelserna följer detta mönster bör man kunna få en bättre

beskrivning genom att beräkna och kontrollera felfördelningen för inverterade och för logarimerade y-värden. I och med dessa transformationer undviker man problemet med en kurva som går mot oändligheten och som en direkt följd därav även de mycket stora fel som är kopplade till kurvans extremvärden. Om det då visar sig att felen för någon av dessa uppställningar är normalfördelade kan man använda sig av dess R^2 -värde som i detta fall skall vara rättvisande.

För att testa hypotesen att korrelationen är lika med noll används Körners (1986) tabeller där man kan slå upp vilket värde på korrelationskoefficienten r (= roten ur R^2) som motsvarar den övre gränsen där korrelationen fortfarande inte är skild från noll för vald signifikansnivå (i vårt fall 95%) och $n - v$ frihetsgrader där n är antalet observationer och v antalet variabler. Detta tabellvärde kvadreras för att erhålla motsvarande R^2 -värde varpå detta i sin tur jämförs med tidigare beräknade värden. Varje beräknat R^2 -värde som överstiger motsvarande tabellvärde visar att tillhörande korrelation är signifikant skild från noll.

Blandning

Langmuir *et al* (1977) ger en allmän ekvation för blandningshyperblar, där fyra olika element bildar två kvoter som sätts emot varandra, samt visar hur man beräknar hyperbeln utgående från två prov. Meningen är att man sedan skall kontrollera hur väl övriga prov ansluter till den förutspådda kurvan. Även en enklare, linjär metod presenteras. Här används dock bara tre olika element, kvoterna har samma element som nämnare. Detta att samma element används dubbelt i ett diagram medför att en skenbar korrelation uppstår (kallad *spurious correlation* av Chayes (1971)), ingen korrelation elementen emellan motsvaras här alltså inte av R^2 lika

med noll som i det första fallet. Ingen korrelation motsvaras i stället av ett R^2 -värde som kan beräknas enligt Chayes (1971). Denna senare metod används främst för att undvika beräkningen av blandningshyperbel enligt den förra metoden. I detta arbete har jag dock valt att tillämpa de båda testen oberoende av varandra.

Urval

Spårelementen undersöks på tre olika sätt för att testa om blandning föreligger (med blandning avses engelskans *mixing*). För att minimera inflytandet av mätfel i undersökningen sorterades först element med liten variation bort, varpå de kvoter som varierade med en faktor 10 eller mer valdes ut att ingå i testen. Kobolt och wolfram används inte heller då det malfat som använts består av en W-Co legering. De elementpar som med hjälp av dessa kriterier valdes ut är:

Rb/CaO Th/CaO U/CaO Zr/CaO
La/CaO Th/TiO₂ U/TiO₂ Rb/MgO
Th/MgO U/MgO Rb/FeO U/FeO V/Rb
V/Th V/U La/V.

Här finns alltså både huvud- och spårelement (oxider för huvudelementen). Urvalet har gett de kvoter som varierar mest, vilket minimerar analysfelens inflytande samt risken för skenbar korrelation.

Hyperbola elementkvoter

Då detta test används ställs samtliga kvoter mot varandra. I stället för att som Langmuir föreslår testa hur väl proven ansluter till en från två prov beräknad kurva beräknas här en regression baserad på samtliga prov med hjälp av programmet igpet2000. Sedan kontrolleras hur väl

proven ansluter till denna regressionskurva. I gpet2000 ger koefficienterna y_0 , x_0 samt C i ekvationen:

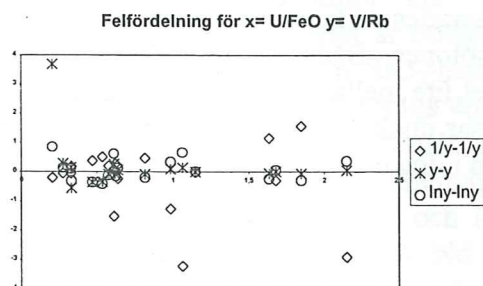
$$y = y_0 + C/(x - x_0)$$

vilken bara är en omformulering av Langmuir *et al* (1977):

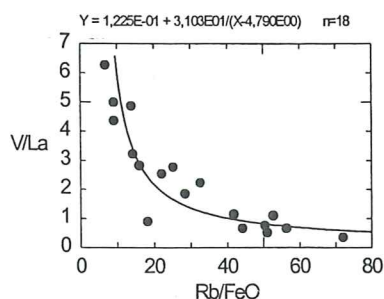
$$Ax + Bxy + Cy + D = 0$$

Här är x_0 , y_0 , A, B, C (i båda ekvationerna) och D koefficienter (C har dock inte samma värde i de olika ekvationerna), skillnaden är att x_0 och y_0 är gränsvärden för x respektive y.

Kurvornas form gör att man kan förvänta sig vissa problem med att räkna fram ett rättvisande R^2 -värde enligt diskussionen i kapitlet om statistik. Det visar sig också efter kontroll att felen inte är normalfördelade, däremot ger $\ln y$ normalfördelade avvikelser (fig. 6).

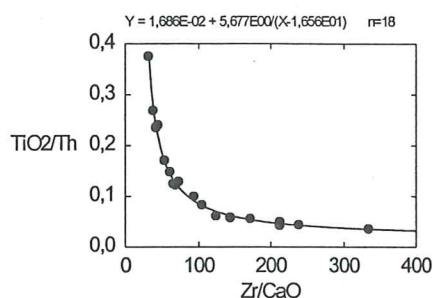


Figur 6. Figuren visar olika anpassningars felfördelning, lägg märke till det stora felet för y för litet x.



Figur 7. Figuren visar den hyperbelplott som ansluter sämst till beräknad kurva.

Nollvärdet (dvs. det R^2 -värde som motsvarar ingen korrelation) är för detta test lika med noll enligt Chayes (1971). R^2 för $\ln y$ ligger mellan 0,758 (fig. 7) och 0,992 (fig. 8) - det aritmetiska medelvärdet är 0,922 (se vidare appendix). Enligt Körner (1986) är det kritiska värdet för r (r är lika med roten ur R^2) en signifikansnivå på 95% och 14 frihetsgrader lika med



Figur 8. Figuren visar den hyperbelplott som ansluter bäst till beräknad kurva.

0,426, vilket ger R^2 lika med 0,181. Detta är som synes lägre än det minsta R^2 -värde beräknat för detta test, vilket betyder att alla R^2 -värden är statistiskt skilda från noll, detta med en konfidensgrad på 95%.

Linjära elementkvoter

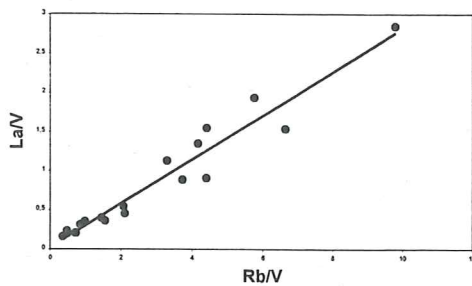
Enligt Langmuir *et al* (1977) får man ett bra test på blandning om man plottar två elementkvoter med samma nämnare mot varandra (dvs a/b mot c/b). Vid ren blandning skall resultatet alltid vara en rät linje oberoende av vilka element som används. Detta test kräver dock försiktighet, då man genom att använda samma element två gånger inför en konstlad korrelation. Enligt Chayes (1971) kan nollvärdet (dvs det R^2 -värde som motsvarar nollhypotesen ingen korrelation) beräknas för bråken X_1/X_2 och X_3/X_2 enligt

$$R^2_0 = 1/\mu_3\sigma_2^2 / ((\mu_2^2\sigma_1^2 + \mu_1^2\sigma_2^2)(\mu_2^2\sigma_3^2 + \mu_3^2\sigma_2^2))^{0,5}$$

Där μ_i är medelvärdet och σ_i^2 variansen för respektive element.

För detta test ställs kvoterna upp enligt följande: nämnarna (och täljarna) är: CaO (Rb, Th, U, Zr, La), TiO₂ (Th, U), Rb (CaO, V, MgO, FeO), Th (CaO, TiO₂, V, MgO), U (CaO, TiO₂, V, MgO, FeO), V (Rb, Th, U, La), La (CaO, V), MgO (Rb, Th, U) samt FeO (Rb, U).

För varje kombination inom alla grupper gjordes en linjär regression och R²-värdet samt nollvärdet bestämdes. R²-värdet varierar mellan 0,899 (fig 9) och 0,999 (fig 10) samt har ett aritmetiskt



Figur 9. Figuren visar den linjära plott som ansluter sämst till en rät linje.

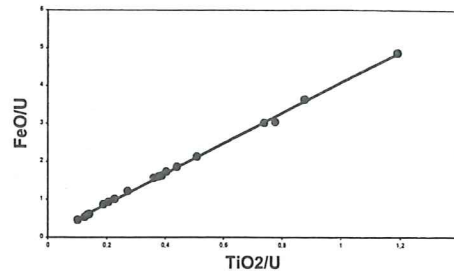
medelvärde på 0,972. Eftersom det endast är relevant att tala om hur mycket R²-värdet överstiger nollvärdet räknas R²-värdet om enligt:

$$R^2_{\text{(anpassat)}} = (R^2 - R^2_0) / (1 - R^2_0)$$

där R²₀ är lika med nollvärdet enligt Chayes (1971).

Detta nya - anpassade - R²-värde varierar mellan 0,369 och 0,998 samt har ett aritmetiskt medelvärde på 0,884. Det är här värt att notera att det inte är samma elementkvoter som står för minima för det ursprungliga och det anpassade R²-värdet (samtliga R²-värden återfinns i appendix tillsammans med respektive nollvärde). Enligt Körner (1986) är det kritiska värdet för r vid en signifikansnivå på 95% med 15 frihetsgrader lika med 0,412, vilket ger R² lika med 0,170. Detta är som synes lägre än det minsta R²-värde beräknat för detta test, vilket betyder att alla R²-värden är

statistiskt skilda från noll, detta med en konfidensgrad på 95%.

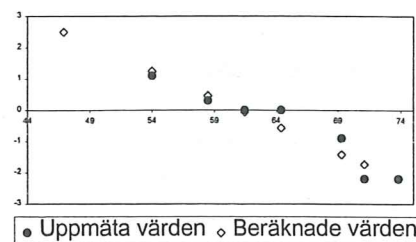


Figur 10. Figuren visar den linjära plott som ansluter bäst till en rät linje.

Sm-Nd isotopsystematik

I första hand variationen hos huvudelementen användes för att välja ut sju prov som representerade hela den kemiska variationen. Dessa prov analyserades sedan med avseende på Sm-Nd isotoper. Både Sm och Nd varierar mycket lite mellan samtliga arton prov (Nd uppvisar dock två skilda nivåer med högre värden i den surare änden samt i prov kj5).

Epsilon-Nd



Figur 11. Figuren visar hur ϵ_{Nd} varierar med SiO₂.

Då arbetshypotesen förutsätter att vi har ett block av äldre kontinentalt material omgivet av en yngre mantelderiverad diabas kan man - under förutsättningen att denna är korrekt - göra vissa förutsägelser om hur isotopförhållandena bör uppföra sig i proven. Den kontinuerliga utveckling av manteln, som har lett till utarmningen av

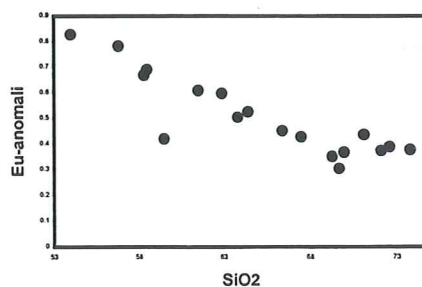
densamma, har medfört att manteln redan då intrusionen i Bullberget ägde rum för 1,21 Ga sedan hade ett positivt och skorpan ett negativt ϵ_{Nd} -värde. Detta bör återspeglas i en negativ korrelation mellan SiO_2 och ϵ_{Nd} i proven (vilket också framgår av fig. 11). Viktigare är att ϵ_{Nd} i blandningen även kan beräknas enligt den allmänna ekvationen:

$$\epsilon_M^X = (\epsilon_A^X X_A f + \epsilon_B^X X_B (1-f)) / (X_A f + X_B (1-f))$$

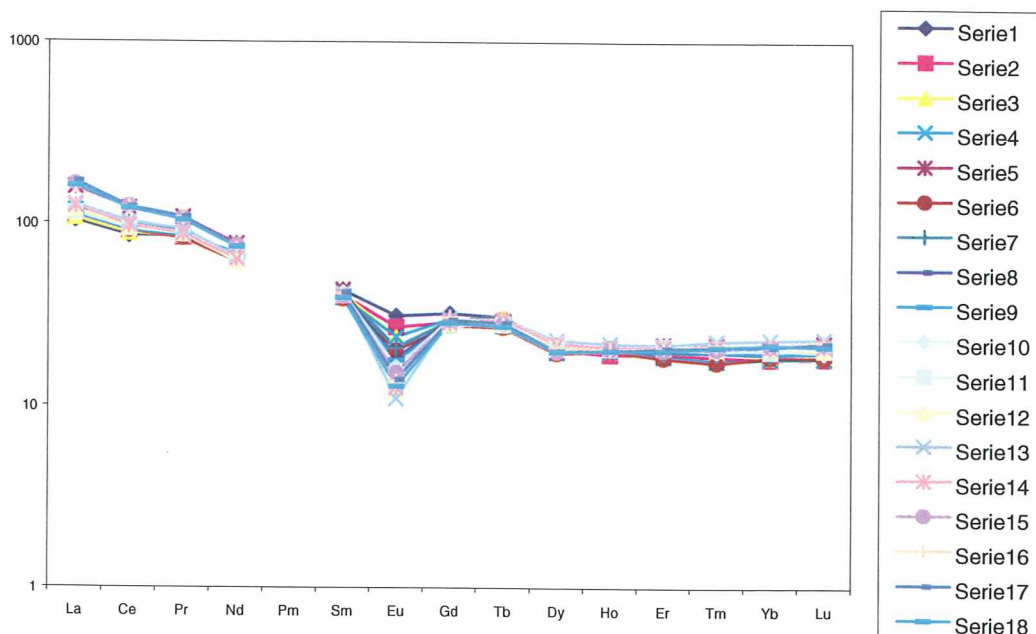
(Faure 1977) där X_A , X_B är koncentrationen av element X och ϵ_A^X och ϵ_B^X är de relevanta isotopparametrarna för element X i ändleden A och B, andelen f beräknas här från SiO_2 -halten. De beräknade värdena kan sedan jämföras med de uppmätta. För att få en bra beräkning krävs att ändvärdena ligger nära de verkliga. För det felsiska ändledet används det mest felsiska provet då detta har en ungefärligt granitisk sammansättning. För det andra ändledet däremot krävs en extrapolation då det knappast är troligt att det basiska ändledet har en SiO_2 -halt på hela 54%. Som basiskt ändled väljs 46,9% SiO_2 – medelvärdet av de totalt fyra Åsbydiabaser redovisade av Hjelmqvist (1966), Gorbatshev *et al* (1979) och Ripa (1998). Då inga mätningar på Nd för Åsbydiabas finns att tillgå sätts Nd-halten till samma som de mest basiska proven, 40 ppm (Nd har en varierar obetydligt i samtliga analyserade prov). ϵ_{Nd} antas ligga mellan 1 och 4 och varierar däremellan för att finna en god anpassning. Det visar sig att man med ett ϵ_{Nd} -värde på 2,5 för det basiska ändledet får teoretiska värden på ϵ_{Nd} som stämmer väl överens med uppmätta data (fig. 11), R^2 beräknas till 0,91.

Sällsynta jordartsmetaller (REE)

Vid blandning av två bergarter med olika fördelning av de sällsynta jordartsmetallerna (REE) skall blandningsbergarternas REE-signaturer kunna förutsägas utifrån proportionerna av de två ursprungsbergarterna. Man bör sålunda lätt kunna plotta de i serien ingående bergarterna och få ett mönster där ändleden omsluter blandningsbergarterna. För blandningsserien som undersöks i detta arbete (se fig. 12) visar det sig dock att det föreligger en mycket liten variation framför allt för de tyngre elementen mellan de båda ändleden. Detta medför att analysfelen här får ett alltför stort inflytande. Man kan dock ana en tendens till att de surare bergarterna ligger något lägre. För de lätta REE:n är dock skillnaden mellan ändleden lite större och här finns en något tydligare gradering från de felsiska högt upp till de mafiska längst ned. Här kan nämnas att fem prov (kj5, kj15-18, dvs de fyra mest felsiska proven plus kj5) utgör en tydligt avskild grupp, som ligger över de övriga proven. Europiumanomalierna uppvisar med ett undantag (kj5) en tydligt negativ korrelation med SiO_2 . En linjär anpassning ger ett R^2 -värde på 0,78 eller om prov kj5 utesluts 0,90 (fig. 13). För den linjära regression som fås då kj5 strukits ($y = -0,025x + 2,146$) beräknas SiO_2 för Eu-anomali lika med 1 till 45,84%. För den Åsbydiabas som tidigare använts (46,9%



Figur 13. Figuren visar hur Eu-anomalin varierar med SiO_2 . Lägg märke till punkten som avviker till vänster under trenden, prov kj5.



Figur 12. De sällsynta jordartsmetallernas fördelning uppvisar mycket lite spridning, vilket framgår av figuren.

Diskussion

Den studerade kemiska variationen på Bullberget har tidigare föreslagits ha sitt ursprung i en kristalldifferentiation (Hjelmqvist 1961) eller kontamination/-assimilation (Solyom 1973). En annan teoretiskt tänkbar förklaring skulle kunna vara partiell uppsmältning till olika grad.

Hjelmqvist (1961) konstaterar att de förekommande bergarterna saknar skarpa kontakter mot varandra, alla övergångar bergarterna emellan sker gradvis. De kemiska analyser på huvudelementen som utförts av Solyom (1973) visar en liknande trend. I samtliga analyserade prov följer övriga element SiO_2 helt linjärt utan någon antydning till gruppering efter bergarter.

Även spårämnen visar sig variera helt linjärt då dessa testas enligt Langmuirs *et al* metod (1977).

Att en partiell uppsmältning skulle ha gett upphov till variationen får ses som högst osannolikt. Detta då det felsiska ändledet endast skulle kunna ha bildats genom en mycket låg grad av uppsmältning. Denna magma skulle sedan ha en mycket liten volym och skulle knappast lämna manteln. Hjelmqvists (1961) lämnar i sin hypotes ett visst utrymme för att en del surt material tagits upp av magman, men fördelningen (dvs. variationen) förklaras enkom med kristalldifferentiation. De nya analyser som tillkommit sedan Hjelmqvist presenterade sina slutsatser talar dock mot dessa. Samtliga spårämnen uppvisar en linjär trend, vilket går emot såväl hypotesen om partiell uppsmältning som kristalldifferentiation. Solyom (1973) avvisar kristalldifferentiation framför allt med hänvisning till samvariationen mellan barium och kalium samt de linjära trenderna för elementvariationen. Även de nya spårämnesanalyser som genomförts till detta arbete pekar på att kristalldifferentiation måste uteslutas som den dominerande processen vid bildningen. Det kan här vara värt att påpeka att Hjelmqvists

differentiation måste uteslutas som den dominerande processen vid bildningen. Det kan här vara värt att påpeka att Hjelmqvists kemiska analyser inskränkte sig till huvudelement för fyra prov och att detta arbete har haft som huvuduppgift att med de nya metoder som föreligger testa huruvida geokemin stämmer överens med hypotesen.

De test som genomförts i detta arbete har främst syftat till att försöka fastställa Solyoms (1973) hypotes med assimilerat sidobergsmaterial som förklaring till variationen. Alla har tyvärr inte fallit väl ut men dock är säkert att samtliga test som kunnat genomföras med framgång också pekar på riktigheten i Solyoms (1973) slutsatser.

Vad gäller användningen av DePaulos (1981) fraktioneringsekvation har det redan tidigare konstaterats att den inte är särskilt lämplig, då så få utgångsfaktorer är kända. Vidare har vi här problemet med att modellen faktiskt förutsätter homogenisering genom hela processen. Problemet består i princip av att endast ett antal punkter på den tänkta fraktioneringskurvan är kända, men vi vet näst intill ingenting om var på kurvan de ligger eller hur långt det är mellan varje punkt. Man kan bara göra ganska lösa antaganden om detta. Det enda vi säkert vet är punkternas relativa placering. Detta resulterar i att man så länge elementen inte ger mycket säregna kurvor lätt kan placera punkterna på så sätt att varje tänkbar kurva matchas perfekt.

Valet av ändpunkter ställer också till med en del problem. För att testa en fraktionering, som ju inte har en linjär trend, kan man inte ta de existerande ändleden, då dessa inte kommer att ge en kurva med samma förlopp som de riktiga. Om testet däremot förutsätter blandning och därmed en linjär trend för elementen, går det däremot utmärkt att använda extremvärdena som ändled. En linje definieras ju entydigt av två på linjen liggande punkter.

DePaulos modell kan dock inte avvisas helt. Då den energi som krävs för att smälta det tillförda sidobergs materialet

måste komma från magman är det också tvunget att magman kristalliserar i viss mån. Dessa kristaller (främst olivin) avlägsnas troligen genom fraktionering. Däremot är det inte rimligt att denna process lämnar några större spår efter sig, då processen uppsmältning/rekristallisering tycks ha gått mycket snabbt. Vilket innebär att tiden för de bildade kristallerna att fraktioneras bort från magman är mycket begränsad. Total kemi skulle alltså påverkas marginellt.

De stora kvartskorn som återfinns framför allt i de surare proven är av allt att döma xenokrister och inte fenokrister. Det är framför allt kristallernas angripna kanter som pekar på detta, stora kvartskrystaller återfinns dessutom även i prov med så låg SiO₂-halt att kvartsfenokrister knappast kan bildas.

De stora kalifältspater som återfinns i några av de mer mafiska proven samt ett granitiskt litofragment pekar på att blandning mellan två olika kemier, en sur och en basisk, har skett. Dessa iakttagelser visar också att det inte kan vara frågan om en ren kemisk blandning utan snarare en kemisk blandning med inslag av mingling. Frågan är hur långt uppsmältningen av det främmande inslaget har gått innan hela bergarten har stelnat. För att försöka utröna hur snabbt temperaturen har sjunkit under solidus kan man betrakta förekomsten av granofyr. Denna är större ju mer felsiskt provet är och samtidigt mer finkornig. Generellt gäller att granofyr bildas vid relativt snabb avkyllning, vilket verkar peka mot att ju surare ett prov är desto snabbare har det kylts av. Här spelar givetvis även kornstorleken in, men båda dessa faktorer, andel granofyr och kornstorlek, pekar mot att de mer felsiska proven har kylts snabbare. Vad är det då som har orsakat denna snabbare avkyllning? En rimlig förklaring kan vara att ju större andel felsiskt material som tagits upp av den mafiska magman desto närmre kommer denna sin solidustemperatur, då energi förbrukas för att smälta nytillskottet. Xenolitmaterialet fungerar helt enkelt som

kylklampar på magman och ju mer som blandas in desto kallare blir magman.

Den undersökning av fältspaternas kemi som företagits med hjälp av punktanalyser i svepelektronmikroskop har framförallt en allvarlig brist. De fältspater som valts ut för analys är alla relativt klara och utan omvandlingar då just sådana kristaller hade störst chans att ge entydiga analysresultat utan störningar från sekundära omvandlingar. Detta medför i sin tur att endast ett fåtal kristaller per slip har analyserats. Vidare är urvalet i sig grundat på en skillnad av kristallernas habitus vilket säkerligen även återspeglas i deras kemi. *Den absolut största gruppen (fältspater med sekundära omvandlingar) har alltså sorterats bort då de inte ger tillräckligt bra analysresultat. Detta är givetvis olyckligt men inte särskilt lätt att komma åt. Det är just dessa bortsorterade fältspater som ofta uppvisar ett mönster vad gäller omvandlingar. Främst är kärnorna kraftigt omvandlade och kanterna inte alls lika kraftigt angripna.*

De fältspater som faktiskt analyserats uppvisar i de flesta fall en flack K/Na-trend möjligen med en avvikelse för en påväxtrand. Det visar sig alltså att de undersökta kristallerna är homogena fältspater med en påväxtrand. Det tycks som om fältspaterna inte haft den tid som krävs för att utveckla de gradvisa tydliga zoner som eftersöktes.

I de foton som är tagna av fältspater kan vi dock se reaktioner som tyder på en kemisk ojämvikt även om ingen direkt zonerings förekommer. Här verkar det vara frågan om tvillingbildande fältspater som börjar dela upp sig i två individer; den snabba avkylningshastigheten gör dock att fältspaterna inte hinner ställa in sig efter den nya kemiska miljön.

Den statistik som beräknats på testen enligt Langmuir *et al* (1977) är entydig och visar att blandning föreligger. De element som utvalts för att ingå i testen är speciellt utvalda för att de har stor variation och är därmed behäftade med relativt sett små analysfel. Ingen annan faktor har spelat in

vid valet av ingående element. Antalet element som utvalts är vidare stort och de har kombinerats till 77 hyperbeldiagram och 43 linjära diagram. Därmed utgör de testade elementen en betydlig del av populationen och dessutom hela den del som kan förväntas ge entydiga resultat. Den omräkning som skett för de linjära R^2 -värdena är giltig då den följer en linjär skala.

Testresultaten visar alltså på blandning och har fullgod tillförlitlighet.

De ändled som används för att testa ϵ_{Nd} måste vara nära de riktiga ändleden för att beräkningarna skall bli något så när korrekta. Då kurvan inte är linjär duger det inte att sätta in sina uppmätta extremvärden. I det fallet att dessa inte ligger mycket nära de faktiska ändleden resulterar beräkningar gjorda på dessa värden i en fördelning som skiljer sig från den riktiga. Problemet är här att försöka approximera de riktiga ändleden för att få en beräknad kurva som ligger nära verklighetens. Det mest basiska provet mäter 54,0% SiO_2 och kan därmed knappast betraktas som ett verkligt ändled. Därför väljs i stället den med Bullberget associerade Åsbydiabasen som ändled och nödvändiga värden tas från Hjelmqvist (1966), Gorbatshev *et al* (1979) och Ripa (1998) varpå ett medelvärde beräknas. Ändledets ϵ_{Nd} -värde måste uppskattas och ett flertal värden testas. För det mest SiO_2 -extrema provet finns det ingen sådan direkt koppling till en lokal bergart, rimligen har detta material sitt ursprung en bit ner i skorpan vilket gör det svårt att avgöra vad det egentligen är. Det står dock klart att detta ändled har en ungefärlig granitisk sammansättning, därmed kan det sura extremprovet, som har en sådan, utnyttjas som ändled.

När dessa ändled används för att beräkna en hypotetisk fördelning av ϵ_{Nd} -värden för att jämföras mot de i proven uppmätta visar det sig att det råder en god överensstämmelse dem emellan. Vi har vidare i det enkla faktum att ϵ_{Nd} -värdet skiljer sig åt för de två ändleden ett ovedersägligt bevis mot varje form av

process som inte innefattar två skilda bergarter i sin förklaring av variationen.

DePaulo (1981) ger en ekvation för beräkning av den utarmade mantelns ϵ_{Nd} -värde:

$$\epsilon_{Nd} = 0,25 T_{DM}^2 - 3 T_{DM} + 8,5$$

Claesson & Lundqvist (1995) föredrar två tredjedelar av detta värde för manteln under den Bottniska bassängen. Det skall dock påpekas att Claesson & Lundqvists (1995) undersökning inte innefattar Dalarna och Bullberget utan bergarter i en annan region, den Bottniska bassängen, av den Svekofenniska orogena. De beräknade värdena för den utarmade mantel blir 5,2 respektive 3,5 alltså något högre än beräknat för vårt basiska ändled.

Då de sällsynta jordartsmetallerna plottas visar det sig att spridningen mellan proven är mycket liten, endast för de lättare elementen föreligger en markant skillnad. Vad man framför allt kan se är att fem prov (kj5 samt kj15-18) bildar en klart avskild grupp; i övrigt följs den normala fördelningen med låga värden på de lätta REE:n för de mer basiska proven och höga för de surare. Med undantag för kj5 ligger proven om inte strikt ordnade efter surhet så i alla fall så att en sådan trend kan urskiljas. Detta är föga förvånande om man beaktar hur analysfelen påverkar den relativt lilla variansen mellan proven.

Eu-anomalin förändrar sig (också här med undantag för kj5) linjärt med SiO_2 . Vid extrapolation av en till dessa mätvärden (undantaget kj5) anpassad regression till SiO_2 lika med 46,9%, vilket motsvarar det mafiska ändled som tidigare beräknats från Hjelmqvist (1961), Gorbatshev *et al* (1979) och Ripa (1998), fås Eu-anomali lika med 0,97, vilket skulle kunna motsvara en basisk magma med en obetydlig plagioklaskristallisation i magmakammaren. *Det betyder alltså att det mafiska ändled som beräknats fram ur Hjelmqvist (1961), Gorbatshev et al (1979) och Ripa (1998) och antagits vara en god approximation för beräkning av en*

teoretisk ϵ_{Nd} -fördelning passar mycket bra även för den trend som beräknats för Eu-anomalin.

Då det här har visat sig att prov kj5 inte följer den övriga serien åtminstone vad gäller spårelement plottade mot SiO_2 , undersöks i vilken ordning proven kommer i Langmuirs *et al* (1977) plottar. Resultatet blir här att kj5 avviker starkt från trenden. Vidare placerar det sig närmre prov med högre SiO_2 -halt då både huvudelement och spårelement används. För de plottar då bara spårelement används placerar sig provet däremot helt enligt förväntningarna tillsammans med andra prov med låg SiO_2 -halt. Det förefaller vara rimligt att anta att de olika mätningarna för huvud- och spårelement inte hör samman för detta prov. Vad detta beror på är givetvis svårt att säga, men eventuellt kan det någonstans skett en provförväxling. Att någon annan analys skulle vara felaktig förefaller orimligt då båda analyserna i sin helhet passar bra i trenden för samtliga prov. Det kan här nämnas att provet är mycket fin-kornigt, i princip tätt.

En uppgift, som fallit utanför ramen för detta arbete, av stort intresse är att finna den sura kontaminant som gett upphov till variationen på Bullberget. Det har redan konstaterats att denna bör vara av en ungefärligt granitisk sammansättning. Vidare bör den även stå att finna i närheten av Bullberget. Detta då avkylningen har konstaterats vara mycket snabb vilket snabbt skulle leda till en kraftig minskning i magmans mobilitet. I Bullbergets omedelbara närhet finns Öjebasalt och Jotniska sandstenar, knappast den sökta bergarten. Bara fem km sydväst om Bullberget finns däremot en i den undre dala-serien ingående kvartsporfyr. Denna har en huvudelementsammansättning nära det felsiska ändledets och skulle kunna vara den sökta kontaminanten. Det skulle dock kräva vidare forskning för att klarlägga huruvida det verkligen förhåller sig så.

Slutsatser

Ursprunget till den kemiska variationen på Bullberget står att finna i en blandning mellan en basaltisk magma och uppsmält, granitiskt material som plockats ur sidoberget någon gång under magmans färd mot ytan. Framför allt pekar de test föreslagna av Langmuir *et al* (1977) samt beräkningar på förväntade ϵ_{Nd} -värden på detta. Även de iakttagelser som gjorts i optiskt mikroskop tyder på blandning. Riklig förekomst av granofyr stämmer väl överens med idén om en mycket snabb avkylning till följd av tillfört, kallt, sidoberg. Vidare ger de detaljstudier av enstaka fältspater utförda i SEM vid handen att en den kemiska miljö som dessa befunnit sig i inte har befunnit sig i jämvikt, precis så som man kan förvänta sig vid en blandning av två bergarter med olika kemier.

Tack

Ett stort tack riktas till mina två handledare Anders Lindh och Zoltan Solyom som båda har kommit med konstruktiv kritik, många bra idéer och knuffar i rätt riktning. Ett stort tack går även till Hans Schöberg vid laboratoriet för isotopgeologi på Naturhistoriska riksmuseet för hjälp med isotopanalyser och gott sällskap. Till sist tack till alla vänner och bekanta såväl via geologiska institutionen som utanför för all uppmuntran och hjälp.

Referenser

Chayes, F., 1971: *Ratio Correlation*. The University of Chicago Press, Chicago.

Claesson, S. & Lundqvist, T., 1995: Origins and ages of Proterozoic granitoids in the Bothnian Basin, central Sweden. *Precambrian Research* 35: 115-126.

Cox, K., 1979: *The interpretation of igneous rocks*. London; Allen and Unwin, 450pp.

DePaulo, D., 1981: Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291: 193-196.

DePaulo, D., 1981: Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet. Sci. Lett.* 53: 189-202.

Faure, G., 1977: *Principles of isotope geology*. Tredje upplagan. Wiley, New York. 464 s.

Geijer, P., 1922: Problems suggested by the igneous rocks of Jotnian and sub-Jotnian age. *Geologiska Föreningens Förhandlingar*. Bd 44. Stockholm.

Gorbatshev, R., Solyom Z. & Johansson I. 1979: The Central Scandinavian Dolerite Group in Jämtland, central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 101.

Hjelmqvist, S., 1961: The relation between diabase, granite, and porphyry at Bullberget in Dalarna, Central Sweden. *Bull. Geol. Inst. Uppsala* 40: 69-80.

Hjelmqvist, S., 1966: *Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län*. SGU Ca 40.

Körner, S., 1986: *Tabeller och formler för statistiska beräkningar*. Studentlitteratur, Lund. 56 s.

Langmuir, C.H., Vocke, R.D., Hanson, G.N. & Hart, S.R., 1977. A general mixing equation: applied to the petrogenesis of basalts from Iceland and the Reykjanes Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 37: 380-392.

Ripa, M., 1998. *Beskrivning till berggrundskartan Säfsnäs SO*. SGU serie Af 190.

Solyom, Z., 1973. Metodik vid en geokemisk studie av en kvartsdiasbas - kvartsporfyrsekvens från Bullberget i Dalarna. opublicerad Lic. avhandling. Geologiska institutionen Lund.

Törnebohm, A. E., 1877: Om Sveriges viktigare diabas- och gabbro-arter. *Kgl. Sv. Vet.-Akad. Handl.* Bd 14. Stockholm.

Törnebohm, A. E., 1896: Grunddragen af det centrala Skandinaviens bergbyggnad. *Ibid.* Bd 28.

Appendix

Provbeteckning

Min beteckning	Solyoms beteckning	Hjelmqvists beteckning	SiO ₂	Ba enligt Hjelmqvist	Ba enligt Cox
1	1	XIV 15	54	kvartsdiabas	syenodiorit
2	3	XX 32	56,8	kvartsdiabas	syenodiorit
3	4	II 5	58,3	kvartsmonzonit	syenodiorit
4	20	VIII 26	58,5	kvartsdiabas	syenodiorit
5	5	VIII 28	59,5	kvartsmonzonit	syenodiorit
6	19	XX 36	61,5	kvartsdiabas	syenodiorit
7	6	XX 25	62,9	kvartsmonzonit	syenodiorit
8	7	IX 13	63,8	kvartsmonzonit	kvartsdiorit
9	8	XX 27	64,4	kvartsmonzonit	kvartsdiorit
10	9	IX 12	66,4	kvartsmonzonit	kvartsdiorit
11	10	XX 35	67,5	granofyr	alkaligranit
12	11	IX 11	69,3	granofyr	alkaligranit
13	12	XVIII 57	69,7	granofyrgranit	alkaligranit
14	13	XX 30	70	granofyrgranit	alkaligranit
15	17	VIII 10	71,1	kvartsporfy	alkaligranit
16	14	IX 53	72,1	kvartsporfy	alkaligranit
17	15	IX 54	72,6	kvartsporfy	alkaligranit
18	16	VIII 50	73,8	kvartsporfy	alkaligranit

Tabell 1. Tabellen visar de olika beteckningar som använts på de prov som använts i detta arbete. Bergarts klassifikationerna är utförda av Hjelmqvist (1961) samt i detta arbete (enligt Cox (1979)). Provnummer i fetstil har analyserats på Sm-Nd isotoper.

Accuracy

	SG			ACME		X	SB			ACME	
	x(r)	s	s(rel)	x(e)	x(e)rel		X	x(r)	s	srel	x(e)
Ba	1439	58,7	4,1	1455	1,1	X	1144	59,7	5,2	1103	-3,7
Co	38,1	2,3	6,0	40,1	5,0	X	50,8	2,3	4,6	52,4	3,1
Cs	1,18	0,1	9,5	1,3	9,2	X	0,93	0,0	4,8	0,9	-3,3
Ga	17,8	1,5	8,7	18,7	4,8	X	17,9	1,0	5,4	17,5	-2,3
Hf	9,3	1,1	11,5	10,1	7,9	X	4,5	0,4	8,8	4,5	0,0
Nb	19,4	2,0	10,3	20,1	3,3	X	92,9	6,6	7,1	93	-0,3
Rb	182	8,1	4,5	196	7,5	X	73,1	3,0	4,1	77	5,5
Sr	363	14,2	3,9	368	1,4	X	1152	55,1	4,8	1153	0,1
Ta	1,78	0,1	5,6	1,9	6,3	X	5,39	0,5	9,2	5,9	8,6
Th	22,6	1,7	7,4	24,9	9,2	X	7,2	0,2	3,2	7,6	5,3
V	40,9	4,0	9,7	27	-51,5	X	190	11,0	5,8	188	-1,2
Y	39,2	3,3	8,4	43,1	9,0	X	28,6	1,7	6,0	29,6	3,4
Zr	360	31,1	8,6	399	10,0	X	187	11,1	5,9	180	-4,1
U	2,49	0,2	7,9	2,7	7,8	X	1,78	0,1	5,7	1,8	1,1
						X					
La	115	4,0	3,5	119	3,4	X	74	2,4	3,2	77	3,8
Ce	221	9,2	4,2	223	0,9	X	127	3,0	2,4	129	1,4
Pr	24,3	1,2	4,8	23,8	-2,1	X	13,7	0,5	3,6	13,6	-0,7
Nd	84,9	5,9	7,0	90	5,4	X	52,1	2,0	3,9	55	6,0
Sm	13,4	1,1	8,0	13,3	-1,1	X	9,17	0,4	4,0	8,7	-5,4
Eu	1,56	0,2	11,5	1,62	3,7	X	2,81	0,2	5,8	2,88	2,4
Gd	10,3	1,0	10,0	11,23	7,9	X	7,82	0,4	5,5	8,04	2,7
Tb	1,35	0,1	7,3	1,31	-3,1	X	1,08	0,1	5,7	1,06	-1,9
Dy	7,06	0,6	9,1	6,86	-2,9	X	5,56	0,2	4,2	5,16	-7,8
Ho	1,41	0,1	7,9	1,63	13,5	X	1,05	0,1	5,7	1,13	7,1
Er	3,71	0,2	5,3	4,07	8,8	X	2,54	0,1	4,6	2,68	5,2
Tm	0,54	0,0	5,5	0,52	-3,8	X	0,34	0,0	7,0	0,31	-9,7
Yb	3,47	0,2	5,5	3,71	6,5	X	2,11	0,1	4,9	2,22	5,0
Lu	0,51	0,0	5,8	0,52	1,9	X	0,32	0,0	5,1	0,32	0,0

Tabell 2. Överensstämmelse mellan ACME's analyser, x(e) och rekommenderade värden, x(r) för hemmastandarden SG respektive SB! x(e)rel i % kan uppfattas som mått på noggrannheten och har beräknats enligt följande: $[x(e)-x(r)]*100/x(e)$. De enskilda medelvärden x(r) och standardavvikelser s för SG respektive SB grundar sig på mellan 20-30 analyser. Alla halter är i $\mu\text{g/g}$.

SG = GRANIT, hemmastandard från Spinkamåla.

SB = BASALT, hemmastandard från Rallaté.

R²-värden för linjära diagram

x	y	R ²	R ² ₀	R ² _{anpassat}					
Rb/CaO	Th/CaO	0,976	0,832	0,856	”	MgO/U	0,986	0,223	0,981
”	U/CaO	0,926	0,822	0,582	”	FeO/U	0,999	0,227	0,998
”	Zr/CaO	0,957	0,877	0,652	V/U	MgO/U	0,972	0,165	0,966
”	La/CaO	0,977	0,859	0,838	”	FeO/U	0,968	0,168	0,962
Th/CaO	U/CaO	0,976	0,839	0,852	MgO/U	FeO/U	0,986	0,237	0,982
”	Zr/CaO	0,995	0,895	0,952	Rb/V	Th/V	0,983	0,885	0,850
”	La/CaO	0,994	0,877	0,954	”	U/V	0,950	0,877	0,592
U/CaO	Zr/CaO	0,990	0,885	0,909	”	La/V	0,940	0,904	0,369
”	La/CaO	0,974	0,867	0,803	Th/V	U/V	0,983	0,890	0,844
Zr/CaO	La/CaO	0,991	0,925	0,874	”	La/V	0,979	0,917	0,740
CaO/Rb	V/Rb	0,956	0,154	0,948	U/V	La/V	0,994	0,910	0,937
”	MgO/Rb	0,985	0,215	0,981	CaO/La	V/La	0,924	0,077	0,917
CaO/Rb	FeO/Rb	0,998	0,217	0,997	Rb/MgO	Th/MgO	0,972	0,772	0,876
V/Rb	MgO/Rb	0,967	0,179	0,960	”	U/MgO	0,924	0,759	0,684
”	FeO/Rb	0,960	0,183	0,951	Th/MgO	U/MgO	0,978	0,781	0,898
MgO/Rb	FeO/Rb	0,987	0,255	0,982	Rb/FeO	U/FeO	0,899	0,749	0,599
CaO/Th	TiO ₂ /Th	0,995	0,169	0,993	”	medel=	0,972		0,884
”	V/Th	0,961	0,124	0,956					
”	MgO/Th	0,981	0,176	0,977					
TiO ₂ /Th	V/Th	0,970	0,139	0,965					
”	MgO/Th	0,985	0,198	0,982					
V/Th	MgO/Th	0,972	0,145	0,967					
CaO/U	TiO ₂ /U	0,994	0,191	0,992					
”	V/U	0,962	0,142	0,955					
”	MgO/U	0,980	0,199	0,975					
”	FeO/U	0,995	0,203	0,994					
TiO ₂ /U	V/U	0,971	0,158	0,965					

Tabell 3. R²-värden för de linjära testerna. Tabellen anger omodifierat R²-värde (R²), det R²-värde som motsvarar noll korrelation (R²₀) samt en linjär omräkning av R²-värdet anpassat till detta nya nollvärde (R²_{anpassat}). Även aritmetiskt medelvärde anges för R² och R²_{anpassat}. De minsta och högsta värdena är markerade i fetstil, observera att de minsta värdena för R² och R²_{anpassat} inte är för samma elementkombination.

R²-värden för hyperboliska diagram

x	y	R ² (y)	R ² (lny)
Rb/CaO	TiO ₂ /Th	0,823	0,888
"	V/Th	0,932	0,959
"	MgO/Th	0,723	0,859
"	TiO ₂ /U	0,908	0,937
"	V/U	0,889	0,922
"	MgO/U	0,596	0,834
"	FeO/U	0,896	0,915
"	V/La	0,075	0,772
Th/CaO	V/Rb	0,805	0,929
"	MgO/Rb	0,941	0,978
"	FeO/Rb	0,957	0,979
"	TiO ₂ /U	0,986	0,974
"	V/U	0,883	0,906
"	MgO/U	0,971	0,958
Th/CaO	FeO/U	0,985	0,97
"	V/La	0,819	0,886
U/CaO	V/Rb	0,805	0,892
"	MgO/Rb	0,638	0,91
"	FeO/Rb	0,902	0,959
"	TiO ₂ /Th	0,982	0,987
"	V/Th	0,824	0,907
"	MgO/Th	0,968	0,98
"	V/La	0,873	0,96
Zr/CaO	V/Rb	0,735	0,92
"	MgO/Rb	0,931	0,976
"	FeO/Rb	0,952	0,98
"	TiO ₂ /Th	0,99	0,992
"	V/Th	0,848	0,906
"	MgO/Th	0,978	0,98
"	TiO ₂ /U	0,985	0,978
"	V/U	0,868	0,901
"	MgO/U	0,969	0,962
"	FeO/U	0,986	0,975
"	V/La	0,806	0,882
La/CaO	V/Rb	0,527	0,849
"	MgO/Rb	0,859	0,948
"	FeO/Rb	0,932	0,969
"	TiO ₂ /Th	0,951	0,968
"	V/Th	0,658	0,824
"	MgO/Th	0,894	0,937

"	TiO ₂ /U	0,944	0,949
"	V/U	0,671	0,816
"	MgO/U	0,879	0,912
"	FeO/U	0,944	0,943
"	V/La	0,446	0,774
Th/TiO ₂	V/Rb	0,701	0,928
"	MgO/Rb	0,915	0,973
"	FeO/Rb	0,926	0,969
"	V/U	0,907	0,921
"	MgO/U	0,984	0,974
"	FeO/U	0,989	0,981
"	V/La	0,866	0,902
U/TiO ₂	V/Rb	0,233	0,895
"	MgO/Rb	0,795	0,943
"	FeO/Rb	0,822	0,937
"	V/Th	0,799	0,912
"	MgO/Th	0,976	0,982
"	V/La	0,817	0,901
Rb/MgO	V/Th	0,837	0,903
"	V/U	0,794	0,887
"	FeO/U	0,922	0,942
"	V/La	0,609	0,852
Th/MgO	V/Rb	0,762	0,944
"	FeO/Rb	0,909	0,955
Th/MgO	V/U	0,944	0,945
"	FeO/U	0,984	0,981
"	V/La	0,929	0,934
U/MgO	V/Rb	0,413	0,913
"	FeO/Rb	0,79	0,921
"	V/Th	0,841	0,932
"	V/La	0,889	0,93
Rb/FeO	V/Th	0,68	0,867
"	V/U	0,513	0,842
"	V/La	-0,614	0,758
U/FeO	V/Rb	-0,392	0,879
U/FeO	V/Th	0,657	0,904
"	V/La	0,728	0,897
medel		0,79	0,922

Tabell 4. Tabellen anger omodifierat R²-värde (R²(y)) samt R² beräknat på lny (R²(ln(y))). De minsta och största värdena för R²(ln(y)) är markerade med fetstil. Observera att det finns negativa R²(y)-värden, en effekt av att kurvan strävar mot oändligheten.

Huvudelement mm

prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	54	56,8	58,3	58,5	59,5	61,5	62,9	63,8	64,4
Al ₂ O ₃	13,9	14	13,8	14	13,9	13,8	13,5	13,4	13,2
Fe ₂ O ₃	2,53	1,97	2,38	2,7	1,43	1,43	1,49	1,59	1,83
FeO	8,92	7,68	6,7	6,32	7,03	5,95	5,55	4,99	4,41
MgO	3,28	3	2,94	2,87	2,25	2,49	2,39	2,12	1,93
CaO	6,57	5,75	5	5,28	4,7	4,24	3,67	3,27	3,39
Na ₂ O	3,25	3,33	3,13	3,28	3,33	3,6	3,6	3,25	3,88
K ₂ O	2,5	2,82	3,38	2,83	3,79	3,09	3,55	4,25	3,75
TiO ₂	2,74	2,28	2,25	2,14	1,98	1,73	1,63	1,51	1,41
MnO	0,208	0,189	0,182	0,24	0,17	0,165	0,16	0,141	0,147
H ₂ O	0,09	0,09	0,13	0,07	0,1	0,09	0,17	0,1	0,13
L.O.I.	0,96	1,24	1,3	1,1	1,03	1,41	1,33	1,31	1,21

summa 98,95 99,15 99,49 99,33 99,21 99,5 99,94 99,73 99,69

Mn ppm	1609	1464	1392	2015	1314	1841	1287	1087	1137
Zr ppm	220	223	240	244	252	246	251	259	253
Ba ppm	813	736	673	803	700	621	603	530	508
Sr ppm	402	365	345	344	383	311	302	293	225
Rb ppm	67	77	108	71	131	89	96	140	125

Q	5,53	8,59	11,05	12,62	10,69	14,48	15,62	17,54	17,12
Or	15,03	16,7	20,04	16,7	22,27	18,37	21,15	25,05	22,27
Ab	27,27	28,32	26,75	27,8	28,32	30,42	30,42	27,27	33,04
An	15,36	14,75	13,35	15,02	11,68	12,52	10,29	9,46	7,51
Hy	11,35	10,75	9,66	8,81	9,39	9,78	9,31	8,12	5,56
Di	13,91	11,59	9,42	9,17	9,81	7,17	6,47	5,54	7,58
Mt	3,7	2,78	3,47	3,94	2,08	2,08	2,08	2,32	2,55
Il	5,16	4,4	4,25	4,1	3,79	3,34	3,03	2,88	2,73

Ab/An 63/37 66/34 67/33 65/35 71/29 71/29 75/25 74/26 81/19

prov	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	66,4	67,5	69,3	69,7	70	71,1	72,1	72,6	73,8
Al ₂ O ₃	13	13,2	12,9	13,1	13,3	13	12,8	12,7	12,7
Fe ₂ O ₃	1,62	1,79	1,17	1,27	1,43	0,99	1,22	1,36	1
FeO	4,02	3,4	2,87	2,9	2,47	2,41	1,94	1,59	1,61
MgO	1,89	1,68	1,19	1,28	1,15	0,99	0,86	0,77	0,67
CaO	2,63	2,4	2,05	1,98	1,51	1,43	1,26	1,39	0,88
Na ₂ O	3,08	3,69	3,7	3,65	3,46	3,5	3,84	3,65	3,74
K ₂ O	4,77	3,69	4,32	4,29	4,65	4,65	4,32	4,46	4,82
TiO ₂	1,26	1,11	0,85	0,89	0,84	0,76	0,69	0,65	0,55
MnO	0,137	0,14	0,109	0,115	0,125	0,115	0,118	0,11	0,098
H ₂ O	0,13	0,11	0,1	0,13	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07
L.O.I.	1,06	1,18	1,1	0,87	0,95	0,87	0,81	0,8	0,57

summa 100 99,89 99,66 100,18 99,98 99,91 100,03 100,16 100,51

Mn ppm	1059	1087	838	889	980	892	915	853	761
Zr ppm	264	270	289	280	270	333	317	317	325
Ba ppm	568	427	350	389	367	392	339	336	358

Sr ppm	245	210	148	160	156	149	115	171	115
Rb ppm	161	128	149	141	169	150	132	137	162
Q	20,79	23,43	24,45	25,11	26,38	27,7	28,78	30,36	30,04
Or	28,39	21,71	25,61	25,61	27,28	27,28	25,61	26,16	28,39
Ab	26,22	31,47	31,47	30,94	29,37	29,37	32,52	30,94	31,47
An	7,51	8,63	5,56	6,4	6,96	6,12	5,01	5,01	3,62
Hy	6,67	6,04	4,24	4,88	4,8	4,81	3,84	2,29	2,69
Di	4,59	2,73	3,91	2,76	0,45	0,69	0,92	1,13	0,69
Mt	2,32	2,55	1,62	1,85	2,08	1,39	1,85	2,08	1,39
Il	2,43	2,12	1,67	1,67	1,67	1,52	1,37	1,21	1,06
Ab/An	78/22	79/21	85/15	83/17	81/19	83/17	87/13	86/14	90/10

Tabell 5. Mätdata från Solyoms (1973) arbete, mineralinnehållet är efter normativa beräkningar.

Spårelement

prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ba	692,5	637,7	581,4	685,6	545,8	530,4	499,7	445,6	403,8
Co	37,4	34,9	36,2	37,9	21,1	30,5	31,2	30	28,8
Cs	1,2	1,1	1,5	1,4	1,2	1,1	0,7	1,8	0,9
Ga	20,6	20	20,5	20,8	18,5	20,1	19,4	19,1	19,5
Hf	6	6,2	6,8	6,4	8,9	6,7	6,6	7,1	7
Nb	15,08	14,71	15,76	15,88	19,93	16,56	16,74	17,59	17,49
Rb	77,52	88,25	123,19	81,38	151,7	103,49	110,7	162,21	134,26
Sn	1,8	2	2,6	2	2,5	2,5	2,2	2,9	2,6
Sr	402,3	366,8	357,4	341,1	219,1	373,8	309,6	300,2	226,2
Ta	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,2	1,3	1,3	1,3
Th	7,3	8,5	9,4	9,1	15,9	10,1	11	11,7	11,6
Tl	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
U	2,3	2,6	2,9	2,9	5,1	3,4	3,7	4	3,5
V	213	175	170	167	46	122	113	105	93
W	63,9	60,6	85,9	100,9	85,9	78,3	95,9	105,7	116,6
Zr	208,5	217,2	224,7	221,8	308,4	226,2	224	238,4	233,7
Y	43,3	41,5	44,1	42,7	45,6	42,6	42,5	45,6	44,7
La	34	35,1	34,9	38,3	51,7	37,8	39,9	37,9	36,7
Ce	74	76,3	76	81	104,1	78,8	84,9	81,5	79,2
Pr	9,6	9,39	9,52	9,64	12,06	9,27	10,09	9,86	9,55
Nd	42,9	40,9	40,8	42,8	48,7	39	41,2	41,2	40,7
Sm	8,7	8,2	8,4	7,9	8,8	7,8	8,3	8,6	8
Eu	2,39	2,08	1,83	1,83	1,17	1,55	1,61	1,4	1,37
Gd	8,85	7,89	8,16	8,22	7,97	7,63	8,02	8,17	7,75
Tb	1,46	1,39	1,47	1,3	1,34	1,28	1,31	1,46	1,39
Dy	7,32	6,99	7,34	6,73	7,17	6,7	6,89	7,26	7,28
Ho	1,66	1,5	1,66	1,57	1,65	1,57	1,58	1,67	1,62
Er	4,73	4,38	4,68	4,22	4,92	4,14	4,46	4,84	4,58
Tm	0,63	0,56	0,6	0,53	0,65	0,52	0,59	0,64	0,6
Yb	3,99	3,99	4,09	4,01	4,66	4,09	4,21	4,5	4,24
Lu	0,67	0,62	0,64	0,62	0,76	0,63	0,67	0,7	0,67

prov	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ba	481,8	349	255,7	280,2	331,4	322,8	263	315,1	256,85
Co	27,5	25,3	28	31,7	27,5	27,9	31,1	24,6	22,7
Cs	1,2	0,9	0,8	0,7	1	0,9	0,7	0,5	0,7
Ga	19,2	19,2	18	19,6	20	18,8	19,1	20,3	18,8
Hf	7,4	7,5	7,4	8,4	8,2	9	8,8	8,8	8,7
Nb	18,62	19,33	19,53	21,31	21,37	20,35	20,85	20,63	21,23
Rb	179,7	143,42	164,54	179,2	198,4	166,71	155,36	158,85	181,05
Sn	2,5	2,3	2,1	3,7	2,9	2,9	2,8	2,5	2,8
Sr	243,8	208,8	142,7	115,5	161,9	147,7	120,8	191,1	115,9
Ta	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Th	12,6	13,4	13,9	15,3	15,3	15,5	15,7	15,5	15,85
Tl	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4
U	3,5	4,1	4,5	4,3	3,7	5,4	5,1	5,2	5,4
V	85	69	44	27	45	40	27	36	18,5
W	115,1	106,7	175,8	211,6	166,1	185,4	209,6	171,2	166,85
Zr	245,8	250,5	253,3	285	258,7	302,8	299,9	295,2	294,15
Y	46,5	45,8	45,7	51,5	48,3	46,1	47,7	46,9	46,2
La	38,4	37,3	38,9	41,4	40,8	53,9	52,2	55,6	52,65
Ce	82,9	80,5	82	87,5	84	106,6	104,9	106,3	103,9

Pr	9,9	9,71	9,71	10,36	9,83	11,92	12,04	12,15	11,64
Nd	41,7	39,2	39	41	40,4	47,9	45,4	46,8	46,5
Sm	8,5	8,2	8,2	8,4	8,1	8,1	8,4	8,5	7,9
Eu	1,25	1,12	0,93	0,84	0,97	1,17	1,04	1,07	0,98
Gd	8,23	7,56	7,77	8,27	7,89	8,14	8,47	8,12	7,84
Tb	1,39	1,35	1,33	1,42	1,42	1,35	1,32	1,35	1,29
Dy	7,26	7,47	7,04	7,87	7,58	6,82	7,3	6,86	6,8
Ho	1,63	1,61	1,67	1,72	1,65	1,6	1,6	1,57	1,57
Er	4,66	4,81	4,72	4,87	4,78	4,55	4,74	4,67	4,54
Tm	0,6	0,63	0,62	0,68	0,64	0,62	0,65	0,63	0,63
Yb	4,48	4,4	4,63	5,07	4,67	4,72	4,81	4,65	4,77
Lu	0,67	0,71	0,69	0,79	0,73	0,75	0,77	0,75	0,72

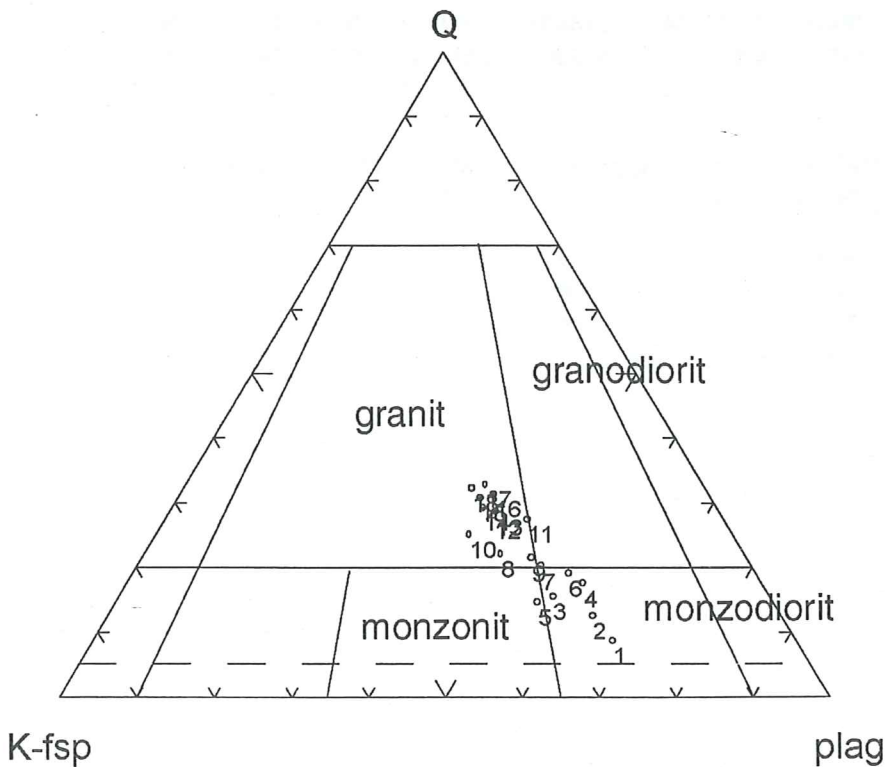
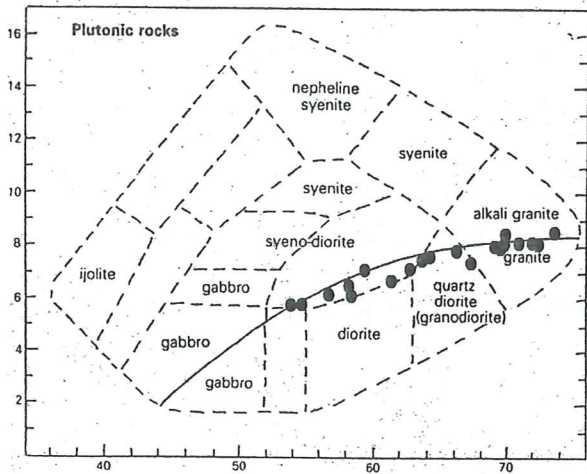
Tabell 6. Spårelementsanalyser utförda av Acme Analytical Ltd för detta arbete.

Isotopmätningar

Prov	1	4	6	9	12	15	18
147Sm/144Nd	0,1154	0,1117	0,1125	0,117	0,1188	0,1028	0,1027
145Nd/144Nd	0,348397	0,348405	0,348404	0,348403	0,348408	0,348403	0,348401
143Nd/144Nd	0,512047	0,511976	0,511967	0,512003	0,511971	0,511778	0,511778
$\epsilon_{Nd}(1,21)$	1,1	0,3	0	0	-0,9	-2,2	-2,2

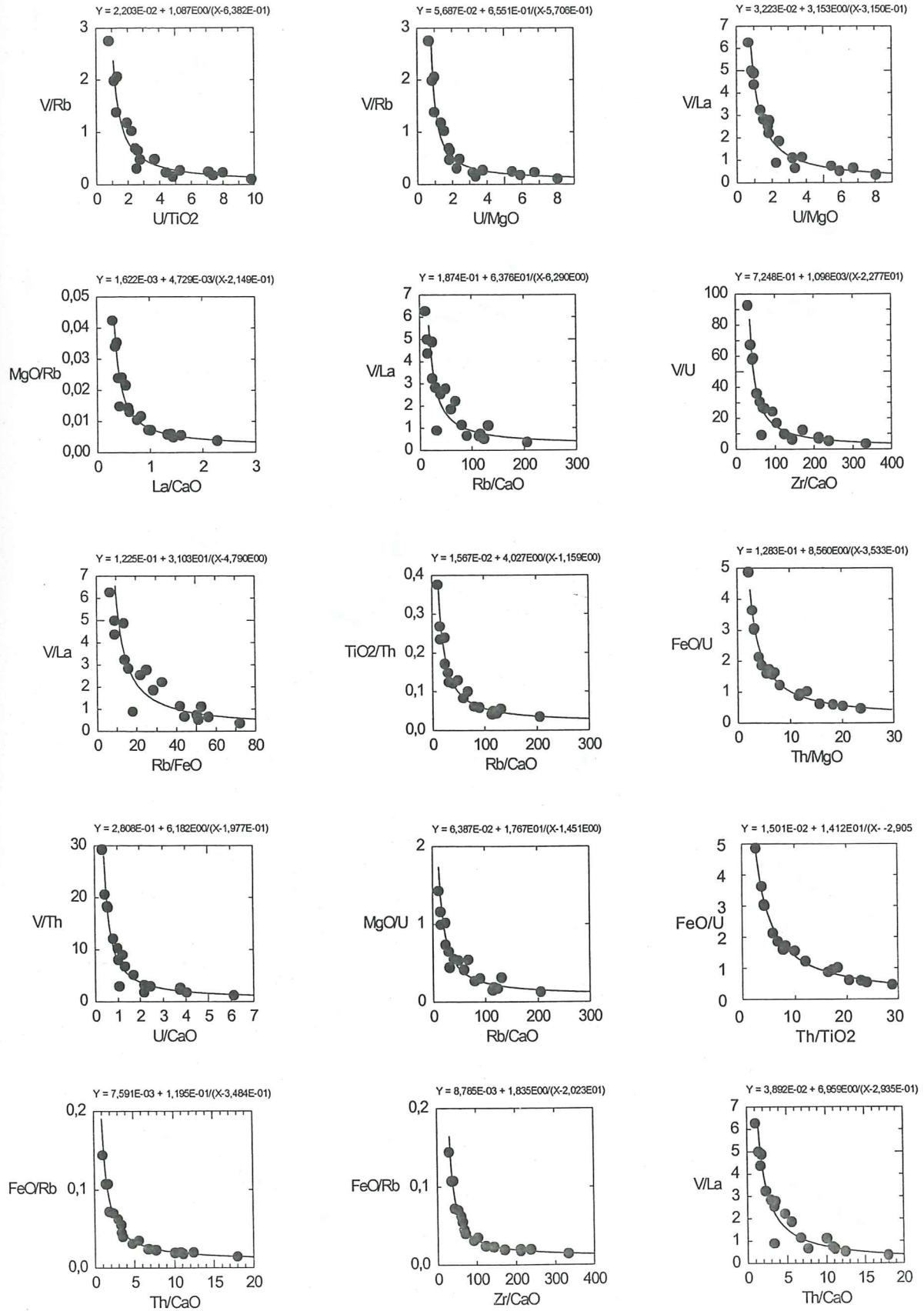
Tabell 7. Nd-Sm analys utförd av Hans Schöberg på laboratoriet för isotopgeologi på Naturhistoriska riksmuseet för detta arbete.

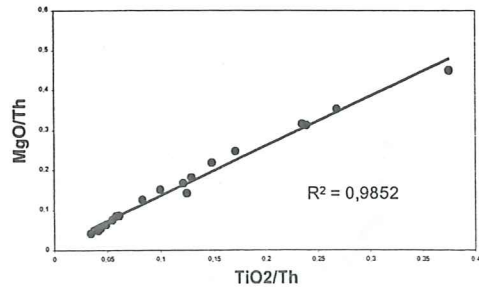
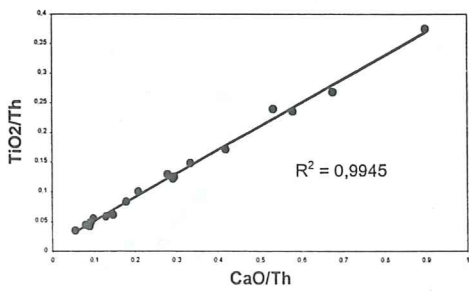
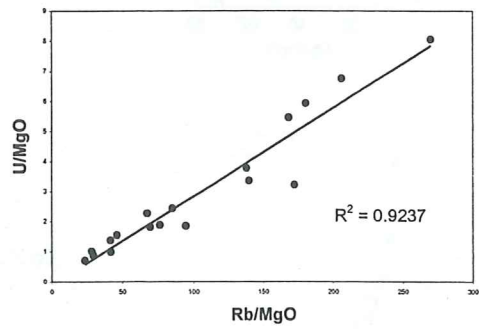
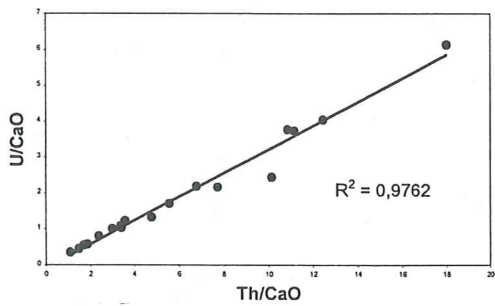
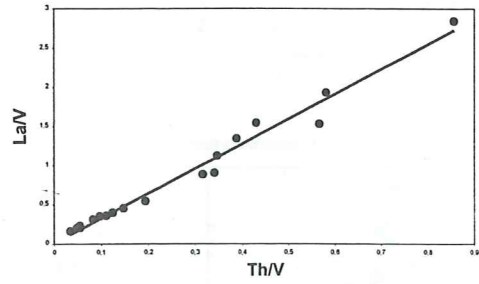
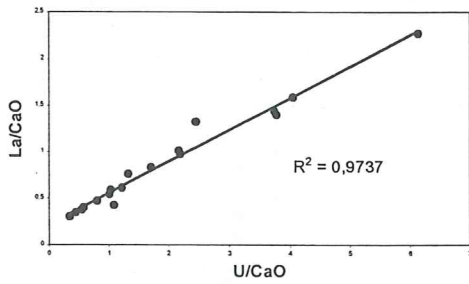
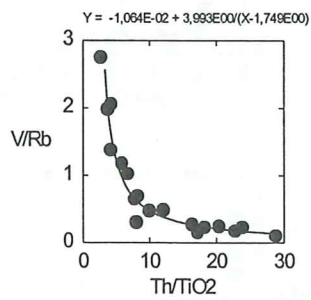
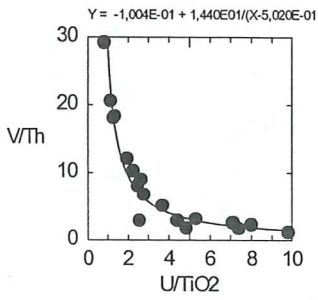
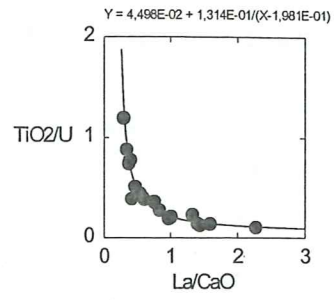
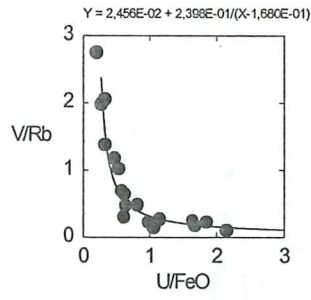
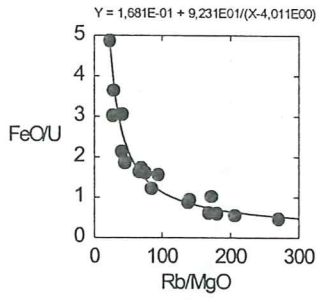
Klassifikationsdiagram

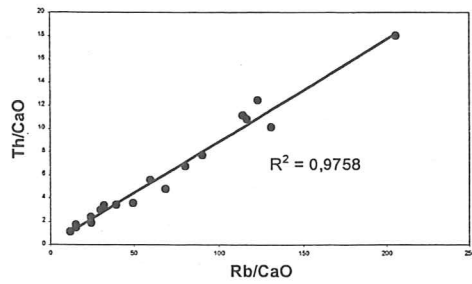
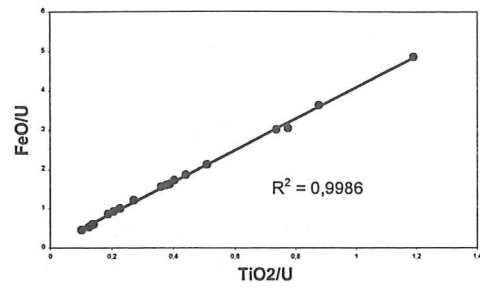
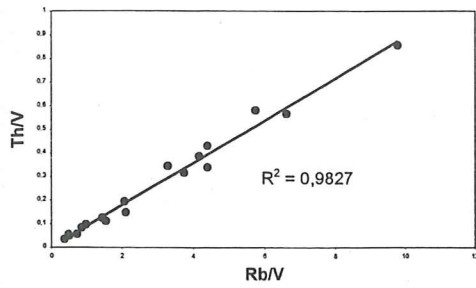
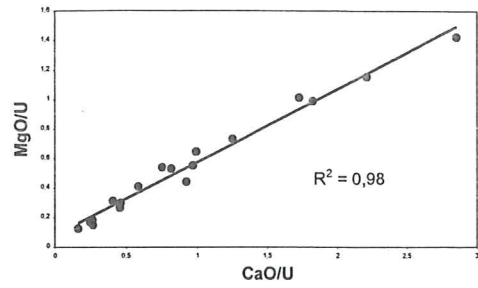
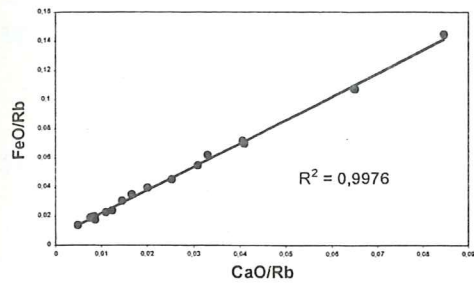


Figur 13 och 14. Figurearna visar provernas klassificering enligt Cox (1979) och Streckeisen (efter normativt mineralinnehåll).

Urval av diagram enligt Langmuir







Diagrammen utgör ett representativt urval av alla de diagram som ingått i testerna enligt Langmuir *et al* (1977).

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

58. Hellman, Fredrik, 1994: Basement - cover relationships in the Harkerbreen Group of the northern Ny Friesland Caledonides, Svalbard.
59. Friberg, Magnus, 1994: Structures and PT determination of the Caledonian metamorphism of the lower part of the Planettjella Group in the area around Mosseldalen, northern Ny Friesland, Svalbard.
60. Remelin, Mika, 1994: Palaeogeographic and sedimentation models for the Whitehill-Irati sea during the Permian of South America and southern Africa.
61. Hagman, Mats, 1994: Bevattning med avloppsvatten - en hydrogeologisk studie.
62. Sandström, Olof, 1994: Petrology and depositional history of the Campanian strata at Maltesholm, Scania, southern Sweden.
63. Pålsson, Christian, 1995: Middle-Upper Ordovician trilobites and stratigraphy along the Kyrkbäcken rivulet in the Röstånga area, southern Sweden.
64. Gustafson, Lars, 1995: Senkvartär stratigrafi och utveckling i Örseryd, mellersta Blekinge.
65. Gichina, Boniface M., 1995: Early Holocene water level changes as recorded on the island of Senoren, eastern Blekinge, southeastern Sweden.
66. Nilson, Tomas, 1996: Process- och miljötolkning av sedimentationen i en subglacial läsideskavitet, Järnavik, S. Blekinge.
67. Andersson, Jenny, 1996: Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden.
68. Olsson, Ingela, 1996: Sedimentology of the Bajocian Fuglunda Member at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
69. Calner, Hanna, 1996: Trace fossils from the Paleocene-Middle Eocene Monte Sporno flysch complex, Northern Apennines, Italy.
70. Calner, Mikael, 1996: Sedimentary structures and facies of fine grained deep-water carbonate turbidites in a Paleocene-Middle Eocene flysch complex, Monte Sporno, Northern Apennines, Italy.
71. Hesbøl, Ros-Mari, 1996: Retrograded eclogites of the Richarddalen Complex, NW Svalbard - Petrology and P/T-conditions.
72. Eriksson, Mats, 1996: Lower Silurian polychaetaspid and ramphoprionid polychaetes from Gotland: aspects on taxonomy and palaeoecology.
73. Larsson, Daniel, 1996: Proterozoic hydrothermal alteration and mineralization along the Protogine Zone in southern Sweden.
74. Rees, Jan, 1996: A new hybodont shark fauna from the Upper Jurassic Vitabäck Clays at Eriksdal, Scania, southern Sweden.
75. Bengtsson, Fredrik, 1996: Paleomagnetisk undersökning av senpaleozoiska gångbergarter i Skåne; Kongadiabas, melafyr och kulait.
76. Björngreen, Maria, 1996: Kontrollprogram vid avfallsupplag - en utvärdering.
77. Hansson, Anders, 1996: Adaptations and evolution in terrestrial carnivores.
78. Book, Jenny, 1996: A Light Microscopy and Scanning Electron Microscopy study of coccoliths from two bore holes along the City Tunnel Line in Malmö, Sweden.
79. Broström, Anna, 1996: The openness of the present-day landscape reflected in pollen assemblages from surface sediments in lakes - a first step towards a quantitative approach for the reconstruction of ancient cultural landscapes in south Sweden.
80. Paulsson, Oskar, 1996: Sevekomplexets utbredning i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
81. Sandelin, Stefan, 1997: Tektonostratigrafi och protoliter i Mårma-Vistasområdet, Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna.
82. Meyerson, Jacob, 1997: Uppermost Lower Cambrian - Middle Cambrian stratigraphy and sedimentary petrography of the Almbacken drill-core, Scania, southern Sweden.
83. Åkesson, Mats, 1997: Moränsedimentologisk undersökning och bestämning av postglacialt bildade järn- och manganmineral i en drumlinformad rygg.
84. Ahlgren, Charlotte, 1997: Late Ordovician communities from North America.
85. Strömberg, Caroline, 1997: The conodont genus *Ctenognathodus* in the Silurian of Gotland, Sweden.
86. Borgenlöv, Camilla, 1997: Vätskeinklusioner som ledtrådar till bildningsmiljön för Bölets manganmalm, Västergötland, södra Sverige.
87. Mårtensson, Thomas, 1997: En petrografisk och geokemisk undersökning av inneslutningar i Nordingrågraniten.
88. Gunnemyr, Lisa, 1997: Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten - en geologisk och hydrogeologisk studie av Strömsholmsåsen, Hallstahammar, Västmanland.
89. Antonsson, Christina, 1997: Inventering, hydrologisk klassificering samt bedömning av hydrogeologisk påverkan av våtmarksområden i samband med järnvägstunnelbyggnation genom Hallandsåsen, NV Skåne.
90. Nordborg, Fredrik, 1997: Granens markpåverkan - en studie av markkemi, jordmänsbildning och lermineralogi i gran- och lövskogsbestånd i södra Småland.

91. Dobos, Felicia, 1997: Pollen-stratigraphic position of the last Baltic Ice Lake drainage.
92. Nilsson, Johan, 1997: The Brennvinnsfjorden Group of southern Botniahavøya, Nordaustlandet, Svalbard - structure, stratigraphy and depositional environment.
93. Tagesson, Esbjörn, 1998: Hydrogeologisk studie av grundvattnets kloridhalter på östra Listerlandet, Blekinge.
94. Eriksson, Saskia, 1998: Moränogenetiska undersökningar i klintar vid Greifswalder Boddens södra kust, NÖ Tyskland.
95. Lindgren, Johan, 1998: Early Campanian mosasaurs (Reptilia; Mosasauridae) from the Kristianstad Basin, southern Sweden.
96. Ahnesjö, Jonas, B., 1998: Lower Ordovician conodonts from Köpings klint, central Öland, and the feeding apparatuses of *Oistodus lanceolatus* Pander and *Acodus deltatus* Lindström.
97. Rehnström, Emma, 1998: Tectonic stratigraphy and structural geology of the Ålkatj-Tielma massif, northern Swedish Caledonides.
98. Modin, Anna-Karin, 1998: Distributionen av kadmium i moränmark kring St. Olof, SÖ Skåne.
99. Stockfors, Martin, 1998: High-resolution methods for study of carbonate rock: a tool for correlating the sedimentary record.
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 våtmarkskomplexet Rolands hav, Blekinge.
102. Carlemalm, Gunnar, 1999: En glacialgeologisk studie av morän och moränfyllda sprickor i underliggande sandersediment, Örsjö, Skåne.
103. Blomstrand, Malou, 1999: 1992-1998 Seismicity and Deformation at Mt. Eyjafjallajökull volcano, South Iceland.
104. Dahlqvist, Peter, 1999: A Lower Silurian (Llandoveryan) 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 karbonatlagarföljd vid St Olofsholms stenbrott, Gotland.
111. Lund, Mats G., 1999: En strukturgeologisk modell för berggrunden i Sarvesvagge-Luotatalako-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: Sedimentologiska 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 klimatoscillation.
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. Kjöllström, Anders, 2000: En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna.