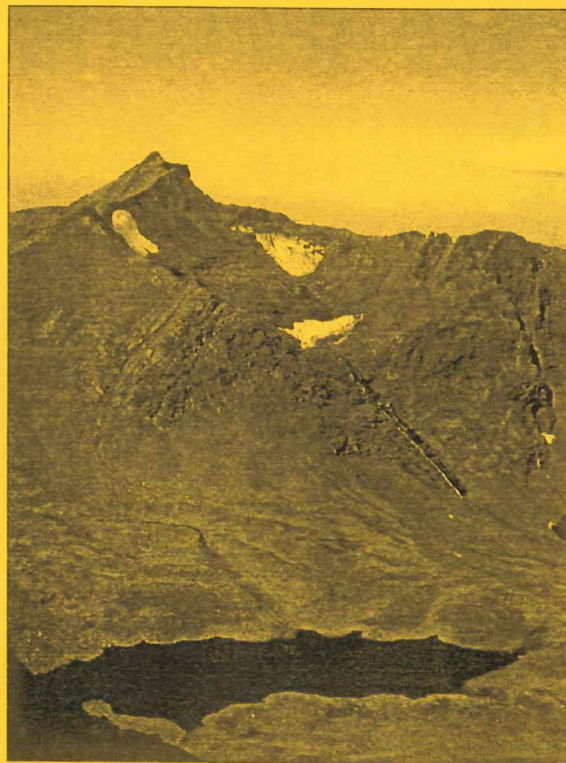


EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET
PERIODICA

Berggrundsgeologi

2003-12-05



**Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens
amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise**

Ann Pettersson

Lund 2003

Examensarbete, 20 p
Institutionen, Lunds Universitet

Nr 169

Lunds univ. Geobiblioteket

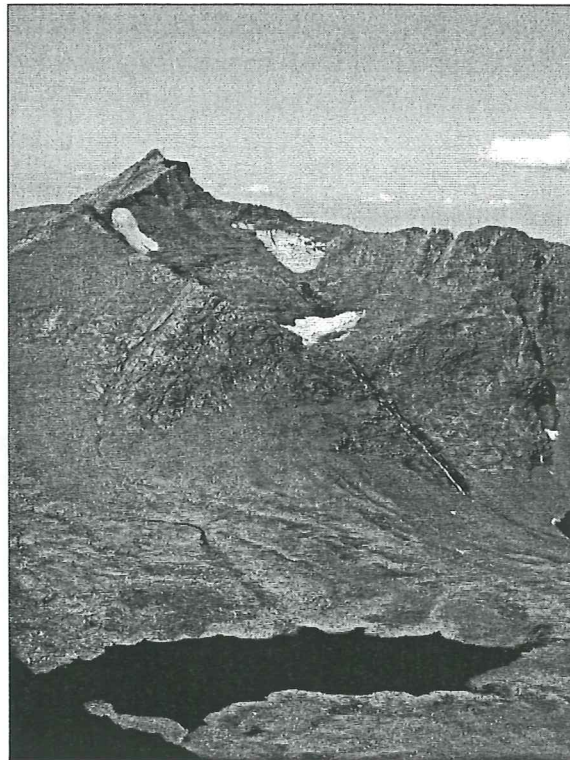


15000

600955607

EXAMENSARBETE I GEOLOGI VID LUNDS UNIVERSITET

Berggrundsgeologi



**Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens
amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise**

Ann Pettersson

Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise

Ann Pettersson

Pettersson, A., 2003 Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise. Examensarbete i geologi vid Lunds Universitet – Berggrundsgeologi, Nr 169, 49 sidor.

Sevekomplexet är ett 900 km långt och ett volymmässigt dominerande inslag i den övre skollberggrunden i de Skandinaviska Kaledoniderna. Komplexet representerar delar av Balticas passiva kontinentkant och havet strax utanför. Litologin domineras av metabasiter. Om dessa tillhör en och samma magmatiska händelse, representerar de en s.k. Magmatisk Storprovins (*Large Igneous Province*) och bevis för intensiv och utbredd vulkanism strax före kambrium. Examensarbetets syfte är därför att jämföra Sevens amfibolitkomplex i den norra (Kebnekaise) respektive södra (Sylarna) delen av de Svenska Kaledoniderna, samt att undersöka ifall de två områdena bildades i en plattetektoniskt likartad miljö. Examensarbetets huvuddel består i en geokemisk jämförelse mellan amfibolitkomplexen. En tidigare geokemisk studie av Sylarnas amfibolitkomplex har kompletterats med nya data; vidare utfördes en kartering av nyckelområden i Sylarnaområdet för att fastställa hur amfibolitkomplexet förhåller sig tektonostratigrafiskt till övriga enheter i området.

Amfibolitkomplexen i de två områdena uppvisar stora likheter i litologisk sammansättning och tolkas som ursprungliga fragment av oceanskorpan med en gabbro intruderad av diabasgångar, gångar av plagioklasgranit, små kroppar av ultramafit, sulfidmineraliseringar, linser av epidotit samt skjuvzoner. Den geokemiska analysen visar dock att amfibolitområdena skiljer sig åt i kemisk sammansättning. Sylarnaamfiboliten är en toleitisk oceanbasalt, som är starkt anrikad på inkompatibla spårelement jämfört med en normalt utarmad oceanryggsbasalt (N-MORB); den har även likheter med basalter från oceanöar. I ett tidigare arbete påvisades spilitisering (högt Na_2O -innehåll kombinerat med lägre Al_2O_3 och CaO). Amfiboliten i Kebnekaise är också en MORB, men svagare anrikad på inkompatibla spårelement. Vissa av proven visar tecken på fraktionering. En del av proverna avviker från Sylarnas amfibolit genom att de visar högre halter av kalium, något lägre halter för titan samt tråg för tantal och niob i normaliserade variationsdiagram. Proven från Kebnekaise visar endast svaga tecken på hydrotermal omvandling.

De två amfibolitkomplexens kemiska olikhet tyder på olika magmakällor. Sylarnas amfibolit härstammar troligen från en djupare, mera anrikad mantelkälla jämfört med den magma som gav upphov till Kebnekaises amfibolitkomplex. Urlakningen på tantal och niob i några av Kebnekaises prover är en egenskap som kännetecknar basalter från subduktionsmiljö. Resultatet är svårtolkat, eftersom det knappast kan ha funnits några öbågar utanför Baltica vid detta tidiga rift-stadie. Detta examensarbete visar alltså på en viktig skillnad mellan amfibolitkomplexen, vilket kräver ytterligare geokemisk undersökning (isotoper).

Tektonostratigrafin i Sylarnaområdet reviderades och en ny skolla, *Ekorrdörrenskollan*, definierades. Denna skolla underlagrar Sylarnaamfiboliten, som tillhör Blåhammarfjällets skolla. I ett tidigare arbete föreslogs ett primärt stratigrafiskt samband mellan Sylarnaamfiboliten och diabasgångarna i den underlagrande mellersta skollberggrunden, där diabasgångarna antogs utgöra matargångar till amfibolitkomplexet. Resultaten från detta examensarbete stöder ej en sådan tolkning.

Comparative study of the Seve amphibolite complexes in the Sylarna and Kebnekaise Mts., Swedish Caledonides: lithology and geochemistry

Ann Pettersson

Pettersson, A., 2003. Comparative study of the Seve amphibolite complexes in the Sylarna and Kebnekaise Mts., Swedish Caledonides: lithology and geochemistry. M. Sc. thesis in Geology at Lund University, 169, 49 pp.

The Seve Nappe Complex is a major allochthon of the Scandinavian Caledonides. The complex derived from the rifted volcanic margin of Continent Baltica and the adjacent oceanic crust. Metabasites are very common along the 900 km long Seve belt and could represent a Large Igneous Province. The purpose of this study is to compare the amphibolite complex of the Sylarna Mts. with the amphibolite complex of the Kebnekaise Mts. 600 km to the north with regard to lithology, geochemistry and magmatic tectonic setting. A previous geochemical study of the Sylarna complex is supplemented with new analytical data. Field mapping of key areas in the Sylarna district was carried out in order to establish the tectonostratigraphic setting of the amphibolite complex.

The two amphibolite complexes show great similarities with regard to original lithology: dyke-intruded gabbro, dykes of plagiogranite, small bodies of ultramafic rocks, sulphide mineralizations, and bands or lenses of epidotite. However, the geochemical results indicate different magma sources. The magma of the Sylarna complex was markedly enriched in incompatible trace elements and light rare earth elements as compared to MORB and corresponds to enriched MORB (E-MORB) or oceanic-island basalts (OIB). The samples include obvious signs of hydrothermal alteration (high Na₂O content combined with lower Al₂O₃ and CaO). The magma of the Kebnekaise complex was slightly enriched as compared to a normal MORB. A group of samples shows higher K but slightly lower Ti contents and troughs for Ta and Nb in normalized multielement diagrams, a feature typical of island-arc basalts. Since there were no island arcs outboard Baltica at this early stage of ocean evolution, the result is difficult to interpret and more analytical work (isotopes) is needed. The samples from Kebnekaise show only weak hydrothermal alteration.

The fieldwork resulted in a revision of the tectonostratigraphy of the Sylarna area and a new nappe, the *Ekorrdörren Nappe*, was defined. This nappe underlies the amphibolite complex in Sylarna which belongs to the Blåhammarfjället nappe. A previous model suggesting a primary stratigraphic relationship between the Sylarna metabasite and "feeder" dykes of dolerites occurring in the underlying Middle Allochthon is not supported by the results of this study.

Innehållsförteckning

Problemställning	3
Metodik	3
Fältarbetet	3
Laboratoriearbeten	3
Skandinaviska Kaledoniderna	4
Uppbyggnad och indelning	5
Undersökt område	5
Sevens skollkomplex	5
Sevekomplexet i Helags-Sylarna-Handöломrådet	9
Tektonostratigrafi	9
Skollorna	9
Ekorrörrenskollan	9
Överskjutningens karaktär vid	
Ekorrörren och Ekorrhammaren	11
Helagsfjällets kollan	12
Blåhammarfjällets kollan	12
Snasahögarnaskollan	16
Täljstensvalenkomplexet	16
Mineraliseringar	16
Tidigare arbeten	16
Sylarnas amfibolitkomplex	17
Tektonostratigrafi	17
Bergarter och strukturer	17
Mineraliseringar	18
Geokemi	19
Tolkning av analysresultaten	19
Klassificering	20
Magmakälla	22
Magmans väg	26
Magmatismens plattetektoniska miljö	28
Sevekomplexet i Kebnekaisemassivet	29
Tektonostratigrafi	29
Övre Alloktionens bergarter	29
Storglaciärgnejsen	29
Höktoppsmyloniten	29
Boginjiramytoniten	29
Mårmas magmatiska komplex	29

Kebnekaise amfibolitkomplex	30
Bergarterna	30
Geokemi	30
Tolkning av analysresultaten	30
Klassificering och magmakälla	30
Magmatismens plattetektoniska miljö	32
Diskussion	32
Sammanfattande jämförelse av analysresultat från amfiboliten i Sylarna och Kebnekaise	32
Skollornas ursprungsmiljö	33
Revision av tidigare kartor	34
Tektonostratigrafisk korrelation med angränsande områden och Kebnekaise	35
Slutsatser	37
Tack	37
Referenser	37
Appendix	40
Geokemiskt analysarbete	40
Provberedning	40
Tidigare analyser	40
Nya analyser	40
ICP-OES	40
ICP-MS	40
Grunprincipen för ICP-tekniken	40
Analysresultatens tillförlitlighet	41
Geologisk karta över Kebnekaiseområdet	43
Topografisk karta med GPS Wp nummer	44
Tabell 1 Provnummer	45
Tabell 2 Kemisk sammansättning av proven från Sylarna	46
Tabell 3 Kemisk sammansättning av proven från Kebnekaise	47
Tabell 4 Jämförelse mellan Sylarna och Kebnekaise	48
Tabell 5 Kvalitet hos analysdata	49

Problemställning

Fjällkedjans bildning inleddes för ungefär 800 miljoner år sedan genom uppsprickning av stor-kontinenten Rodinia, som befann sig på den södra delen av halvklotet. Detta ledde till uppkomsten av två hav, Ægirhavet i norr och Iapetushavet i söder. Ægirhavet skilde de två kontinenterna Siberia och Baltica medan Iapetushavet var beläget mellan Laurentia och Baltica. Uppsprickningen åtföljdes av intensiv magmatisk aktivitet i Balticas kontinentkant. I slutet av Kambrium började Baltica och Siberia närma sig varandra vilket medförde att Baltica subducerades. Baltica närmar sig därefter Laurentia och vid slutet av Silur hade all oceanskorpa mellan dem konsumerats. Som en följd av kollisionen kom Baltica att subduceras under Laurentia. Stora enheter av oceanisk skorpa och kontinentkant metamorfoserades, veckades och sköts upp på de båda kontinenterna.

I de Skandinaviska Kaledoniderna påträffas enheter från kontinentkanten idag främst i Sevens skollkomplex. Ett karakteristiskt inslag i detta skollkomplex är vulkaniska och magmatiska bergarter som idag utgörs av mäktiga amfibolitkomplex. Om dessa komplex bildades vid samma tillfälle kan de ha utgjort en s.k. stor magmatisk provins (*Large Igneous Province*).

Syftet med detta examensarbete är att jämföra amfibolitkomplex i norra (Kebnekaise) respektive södra (Sylarna) delen av de Svenska Kaledoniderna, samt att undersöka ifall de två komplexen bildades i en plattetektoniskt likartad miljö.

Examensarbetets huvuddel består i en jämförelse mellan amfibolitkomplexen i Sylarna och Kebnekaise. En tidigare geokemisk studie av Sylarnas amfibolitkomplex (Solyom et al. 1979) har kompletterats med nya data. Vidare utfördes en fältstudie av Sylarnaområdets uppbyggnad för att fastställa hur amfibolitkomplexet förhåller sig tektonostratigrafiskt till övriga enheter i området.

Examensarbetet utföres inom ramen för P. G. Andréassons projekt *The Baltoscandian volcanic rifted margin: fragment of a Neoproterozoic-Cambrian Large Igneous Province?* finansierat av Vetenskapsrådet.

Metodik

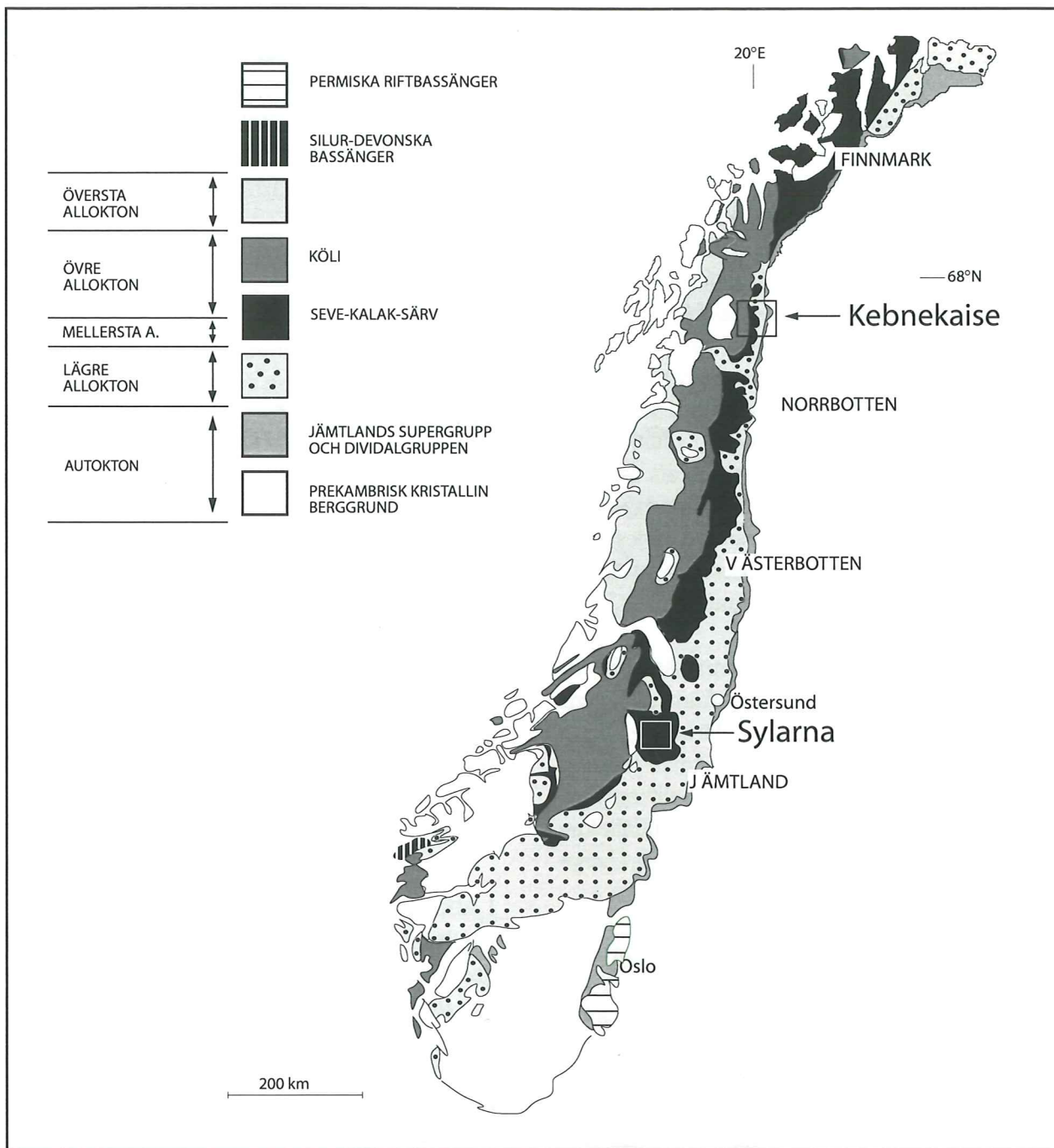
Fältarbetet

Under två veckor i augusti och september 2002 utfördes fältarbetet till detta examensarbete. Arbetet uppdelades i fyra etapper och områden. Etapp 1: Helagsfjället, Funäsdalen och Ramundberget. Etapp 2: Södra Sylarna (ingång från Tydal i Norge). Etapp 3: Snasahögarna, Blåhammarfjällets kollan och Spåimeområdet. Etapp 4: Norra Sylarna.

Det förekom två läger (söder om Sylarna och norr om Sylarna (*Fig. 4*)) men även övernattningsstugor i Funäsdalen och Handöl. Transporterna skedde till fots samt med helikopter (etapp 4). Arbetet handledes i fält av professor Per Gunnar Andréasson.

Laboratoriearbeten

Analysarbetet i Solyom et al. (1979) utfördes vid geologiska institutionen i Lund av Zoltan Solyom och Ingrid Johansson. Kompletterande prov för huvud och -spårelementanalyser förbereddes i Lund men analyserna utfördes av Amce Analytical Laboratories Ltd. i Vancouver, Kanada. Kolloforma aggregat av magnetit och hematit undersöktes med röntgendiffraktion och svepelektronmikroskop vid geologiska institutionen i Lund. För geokemisk analysmetodik redogöres i Appendix.



Figur 1. De Skandinaviska Kaledoniderna, Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise är markerade med fyrkant.

Skandinaviska Kaledoniderna

De Skandinaviska Kaledoniderna (Fig. 1) består av stora skivor av berggrund, *skollor*. Skollorna utgörs av bergarter som västerifrån tektoniskt skjutits upp på kontinentkanten. Skollorna är långtransporterade och representerar kontinentkanterna av Baltica och Laurentia samt Ægirhavet och Iapetushavets jordskorpa, öbågar och oceanöar. Kaledoniderna är en bergskedja med djup-

gående erosion och god blottningsgrad. Området har vid flera tillfällen formats av glacial erosion och dessutom utsatts för upphävning. De berg som vi ser idag utgjorde rötterna till den ursprungliga bergskedjan, som bildades vid kontinentkollisionen. De Skandinaviska Kaledoniderna lämpar sig därför väl för studier av en bergskedjas uppbyggnad genom plattkollision.

Uppbyggnad och indelning

Traditionellt indelas de Skandinaviska Kaledoniderna i undre, mellersta, övre samt översta skollberggrunden (*Fig. 1*). *Autokton* innehåller bergarter som ej transporterats under överskjutningsfasen. Enheten omfattar det prekambrika underlaget med överlagrande sedimentbergarter. *Paraautokton* och *Lägre Allokton* är skollberggrund som transporterats en kortare sträcka. Enheten utgörs av kraftigt veckade sedimentära och kristallina bergarter, som innehåller interna överskjutningar. Den metamorfa graden i den undre skollberggrunden är låg.

Vid storkontinenten Rodinias uppsprickning bildades mäktiga riftbassänger. I bassängerna avsattes sediment som därefter intruderades av gångsvärmar av diabas. Enheten som härrör från dessa bassänger och gångsvärmar samt från det prekambrika kristallina underlaget kallas den *Mellersta skollberggrunden*.

Övre skollberggrunden bygger upp våra högsta toppar och utgör den volymmässigt största delen av de svenska fjällen. Enheten indelas i en övre del, *Köli* och en undre, mera östlig del, *Seve*. Kölins bergarter består av sediment och vulkaniter, vilka har metamorfoserats till kvartsiter, marmor och mjuka glimmerskiffrar. Dessa bergarter representerar öbågar samt Iapetushavets botte- och navlagringar. Seve omfattar kvarts- och fältspatsrika gnejser samt mörka basiska magmabergarter från den yttersta kontinentkanten och den angränsande havsbotten. Gnejserna representerar den kontinentala skorpan, samt sediment som avsatts nära kusten i drunknande landområden och riftbassänger. Den metamorfa graden är betydligt högre i Seve än i Köli. När de vulkaniska bergarterna utsattes för metamorfos och deformation omvandlades de till förskiffrade grönsvarta *amfiboliter*.

Berggrund från den yttersta kontinentkanten av Laurentia och havet utanför återfinns i den *Översta skollberggrunden*. Bergarterna består av gnejser, glimmerskiffrar, marmor och graniter. Under

Ordovicium och tidig Silur, då denna enhet fortfarande tillhörde Laurentia, intruderade granit och gabbro. Den metamorfa graden är hög.

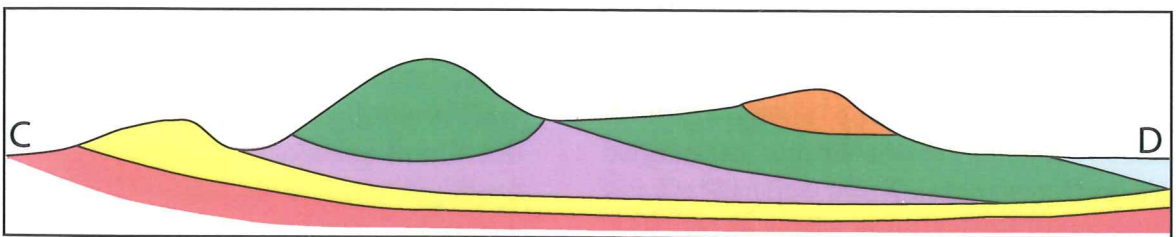
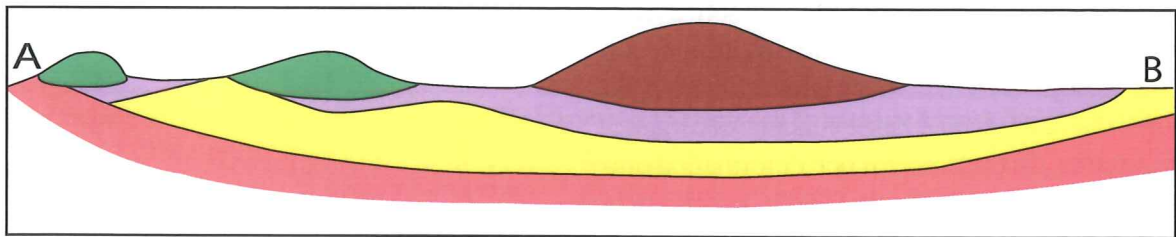
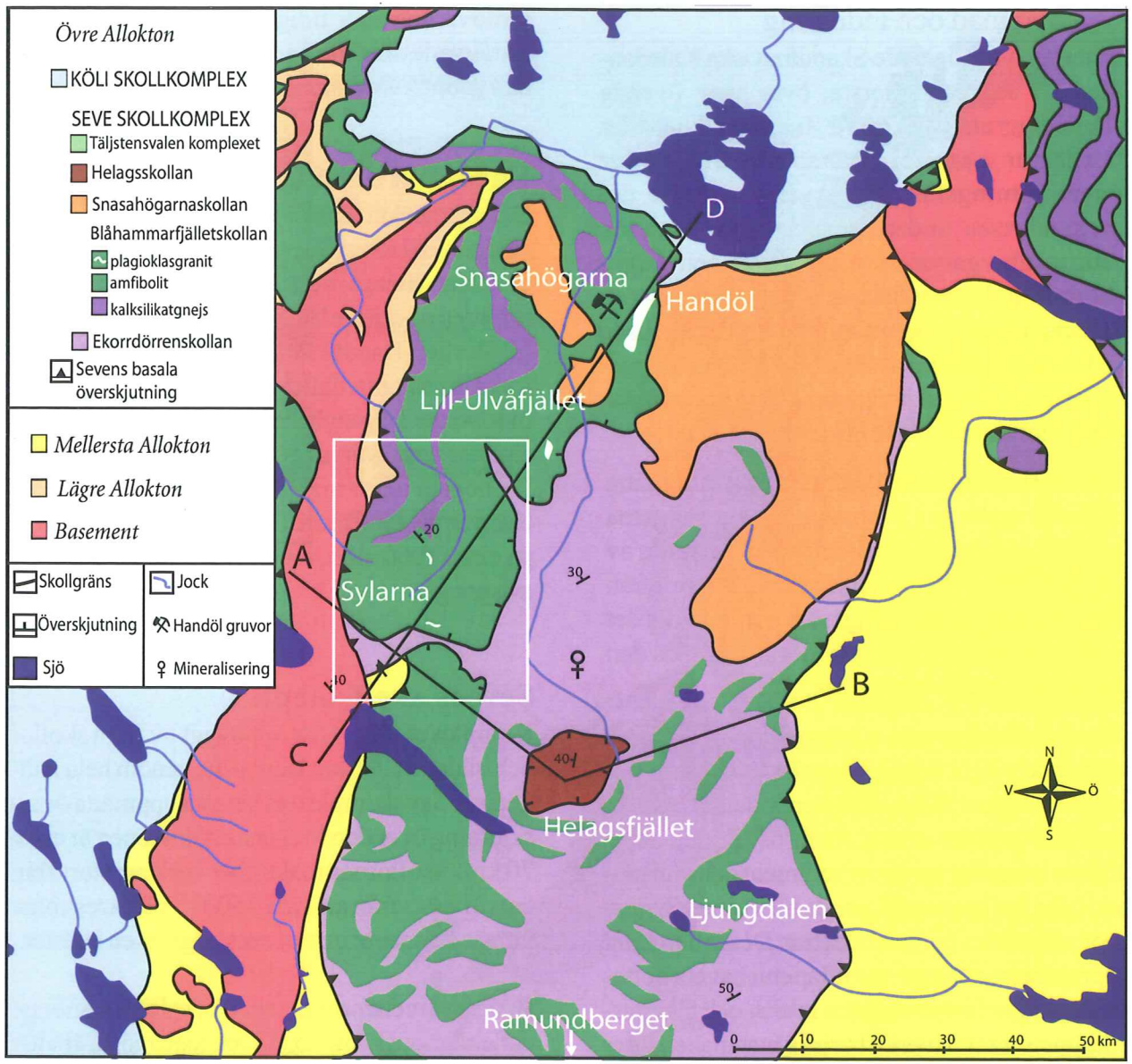
Undersökt område

Det undersökta området ligger i landskapet Jämtland och inkluderar Sveriges sydligaste högfjäll med glaciärer, Helags- och Sylarnafjällen. Fältarbetet utfördes på olika platser från Funäsdalen i söder till Storlien-Handöl i norr (*Fig. 2*). Områdets västra gräns sammanfaller ungefär med riksgränsen mot Norge. Tillgängligheten varierar stort från hög-alpin terräng till familjevänliga vandringsområden. De högsta topparna har glaciärer och reser sig brant cirka 1800 möh. Dalarna, som befinner sig på cirka 1000 möh, innehåller mäktiga kvartära avlagringar.

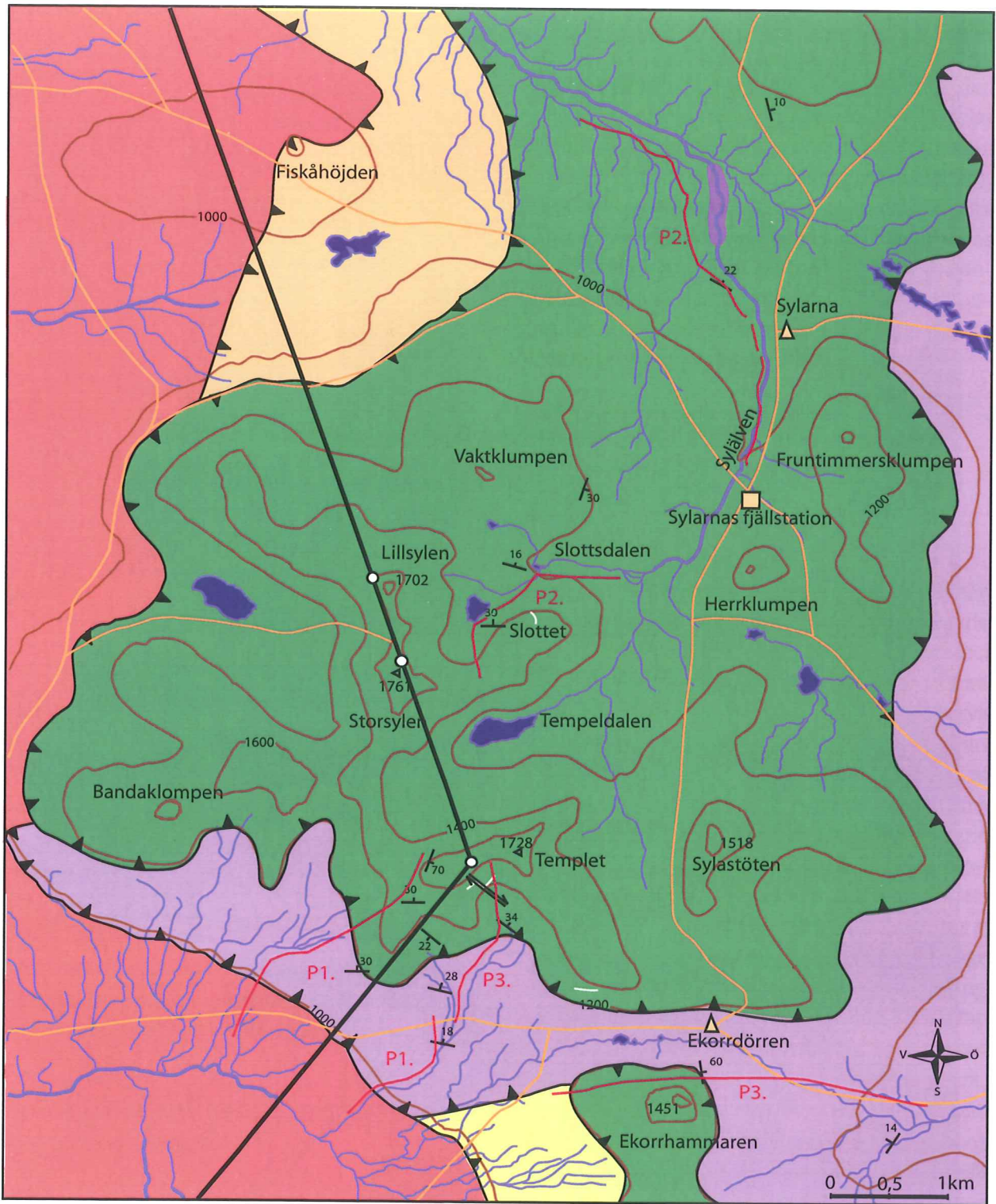
Sevens skollkomplex

Komplexet (*Fig. 1*) är uppbyggt av flera skollor och bildar ett 900 km långt bälte genom hela fjällkedjan. Sevekomplexets längsta uppmätta överskjutning över den Mellersta Alloktonen är cirka 70 km. Skollornas mäktighet varierar stort från öst till väst; från att vara 1500 m vid Åreskutan tunnas de snabbt ut mot norska gränsen i väster.

Både den metamorfa graden och deformationen varierar inom komplexet. Den metamorfa graden varierar från lägre till övre amfibolitfacies. Deformationen ökar från svag i områden med synliga sedimentära strukturer till intensiv där mylonit utbildats.

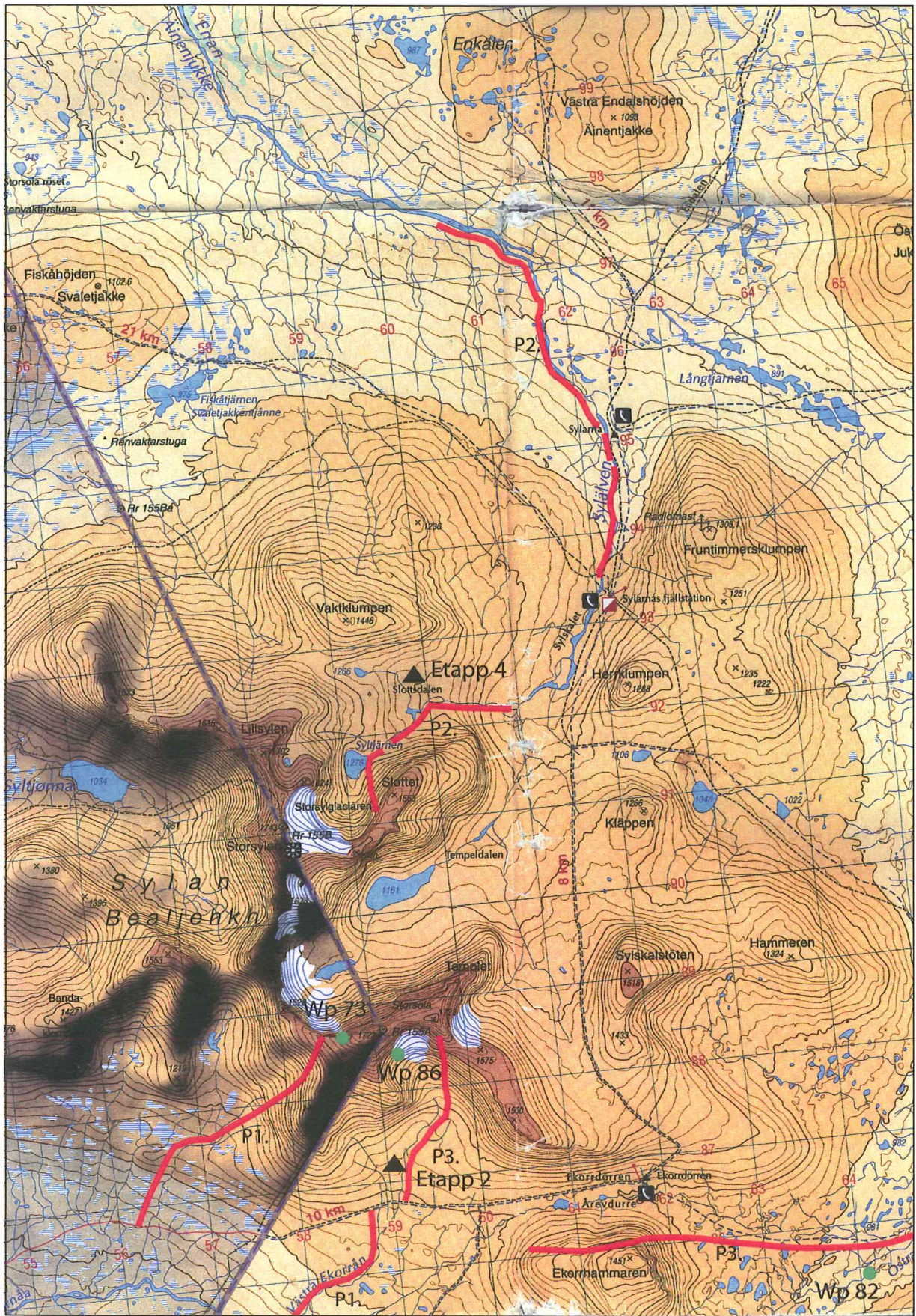


Figur 2. Geologisk karta över undersökningsområdet (efter "Mittnordenkartan", Lundquist et al. 1996). Skollgränsen mellan Ekorrdörrenskollan och Blåhammarfjällets kollan har endast markerats där den har observerats i fält. Vit rektangel anger figur 3.

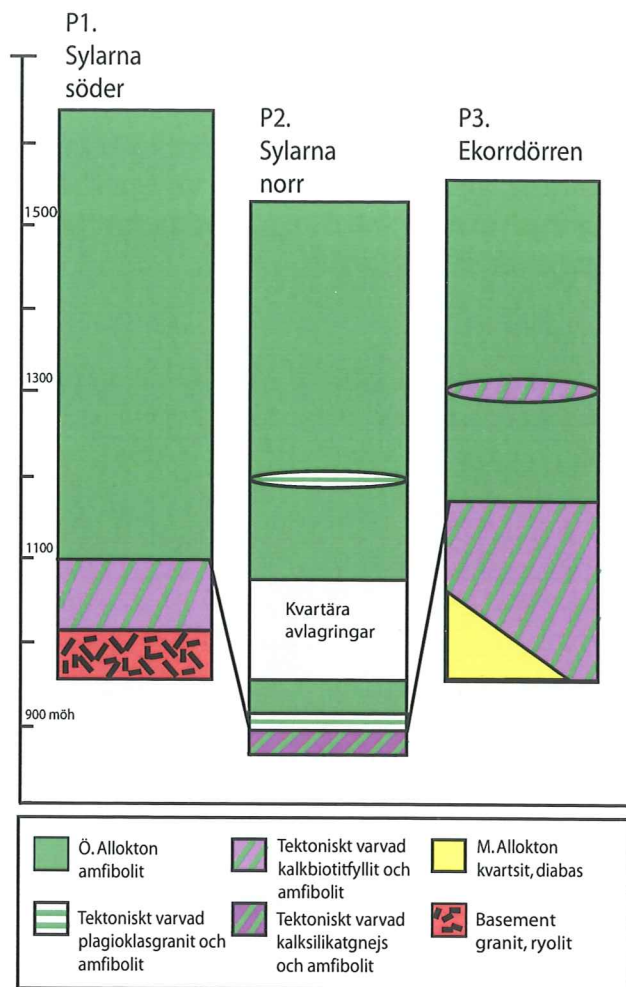


	Gång, av plagioklas-granit		Ö. Alloktion kalkbiotitfyllit		Basement granit, ryolit		Tektonisk zon		Profiler		Ytvatten
	Ö. Alloktion amfibolit		M. Alloktion kvartsit, diabas		Skollgräns		Höjdkurva		Gränsmarkering		Vandringsled
	Ö. Alloktion kalsilikatgnejs		L. Alloktion sedimentära och kristallina bergarter		Strykning, stupning		Toppmarkering		Riksgräns		Stuga, telefon

Figur 3. Geologisk karta över Sylarnamassivet. I områden som ej karterats i detta arbete har gränser dragits efter Strömberg et al. (1984) och Sjöstrand (1999). Enligt figur 2 ska det finnas kalsilikatgnejs i det nordvästra hörnet i figur 3. Denna har ej påträffats under fältarbetet i den omfattning som figur 2 anger. Profiler se figur 5.



Figur 4. Topografisk karta över Sylarnamassivet med profiler (P1, P2, P3) och två läger (etapp 2 och 4). Wp 73, 82: lokaler som omnämns i texten. Kartan utgiven av Tydal kommune 1999. Skala 1:50 000.



Figur 5. De tre undersökta profilerna i Sylarnaområdet.

Inom komplexet påträffas skivor av prekambrisk kristallin berggrund. Lokalt förekommer eklogiter, vilket vittnar om mycket höga tryck.

Sevekomplexet i Helags-Sylarna-Handölområdet

Tektonostratigrafi

Bergarter tillhörande den autoktona skollberggrunden uppträder i fältarbetsområdets västra del (Fig. 3). Enheten överlagras direkt av den Övre Alloktonen, utom i områdets centrala delar, där bergarter från Mellersta Allokton är blottade. Helagsfjället är beläget i den södra delen av undersökningsområdet och utgör en egen skolla, *Helagsfjällets skolla*. Seven representeras här av denna skolla samt en underlagrande kalkbiotitfyllit,

Ekorrhörrenskollan. I Sylarna-området består Seven av amfibolit, som underlagras av kalkbiotitfyllit. I Handölområdet som är den nordligaste delen av fältarbetsområdet, indelas Sevekomplexet i tre tektoniska enheter (Sjöström 1983; Sjöström och Bergman 1991). *Blåhammarfjällets skolla*, som överlagras av *Snasahögarnaskollan*, som i sin tur överlagras av *Täljstensvalenkomplexet*. Den tektonostratigrafiskt översta enheten i undersökningsområdet är Köli. Komplexet, som uppträder i trakten av Handöl, ingår inte i denna studie.

Skollorna

Ekorrhörrenskollan.

Denna skolla består av kalkiga metasedimentära bergarter och metavulkaniter. De kalkiga bergarterna benämndes tidigare *Skarvarnakomplexet* och namngavs (Strömberg 1984) efter en förekomst i Skarvarnafjällen (ca 4 km N Tännadalen). Skarvarnakomplexets bergarter är kalkbiotitfyllit, kvartsit och kalksten. I Sylarnaområdet är Ekorrhörrenskollans översta enhet tektoniskt varvad med Sylarnaamfibolit. Mäktigheten på skivorna varierar från några centimeter till tiotals meter. Kontakten mot den överliggande Blåhammarfjällets skolla (Fig. 6) är mycket tydlig och markeras av skiffer eller fyllonit. I vissa amfibolitlager tillväxer nålar av aktinolit. Kontakten kan studeras längs Sylarnamassivets sydsida (strykning 280°, stupning 36°) samt lokalt i Sylälven norr om massivet. Den volymmässigt dominerande bergarten i Ekorrhörrenskollan är kalkbiotitfyllit (Plansch 1A och 1B). Skollans översta del innehåller även diabasgångar. Dessa är cirka en halv meter mäktiga och har delvis omvandlats till amfibolit. Kontakten mellan diabasen och kalkbiotitfylliten utgörs av fyllonit (Plansch 1C). Fyllonit kan även påträffas internt i kalkbiotitfylliten. I Sylälven norr om Sylarnamassivet har kalkbiotitfylliten ett något anorlunda utseende, här är den metamorfa graden epidot-amfibolitfacies och bergarten är snarare en kalksilikatgnejs. Makroskopiskt kan korn av karbonat, kvarts och biotit urskiljas. De största kornen är ungefär 0,5 cm och består av biotit. Kalkinnehållet varierar stort vilket påverkar



Figur 6. Bandaklumpen, kontakt mellan Ekorrdörrenskollans kalkbiotitfyllit och amfiboliten i den överlagrande Blåhammarfjällets kollan

bergartens färg, som därför är ljusgrå till vit. Vid vittring bildas en ljusbrun vittringshud. Mikroskopiska studier (*Plansch 1B*) visar att karbonat dominerar men att det även finns en betydande mängd opaka mineral. Biotit tillväxer på de opaka kornens bekostnad. Kvartskornen är små och har fint rundade korngränser. Stora delar av bergarten är starkt omvandlad. Glimmer och zoisit har tillväxt i större plagioklaskorn, opak magnetit övergår till rödbrun genomskinlig hematit. Underordnat förekommer titanit. Mineralparagenesen tyder på en metamorf grad i övre grönskifferfacies. Kalkbiotitfylliten i Ekorrdörrenskollan har genomgående en tydlig foliation.

I Ekorrdörrenskollan ingår även en relativt homogen *kvartsit* som lokalt är kraftigt deformerad och veckad, veckaxlarnas orientering varierar. Kvartsiten innehåller förutom kvarts enstaka biotitkorn, en del karbonat samt ljusgrå sliror av muskovit.

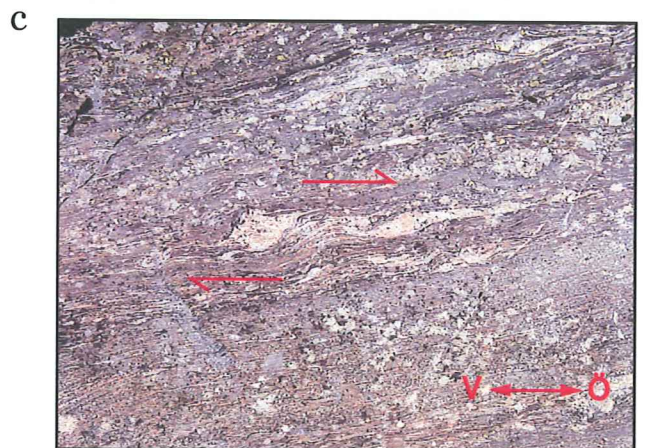
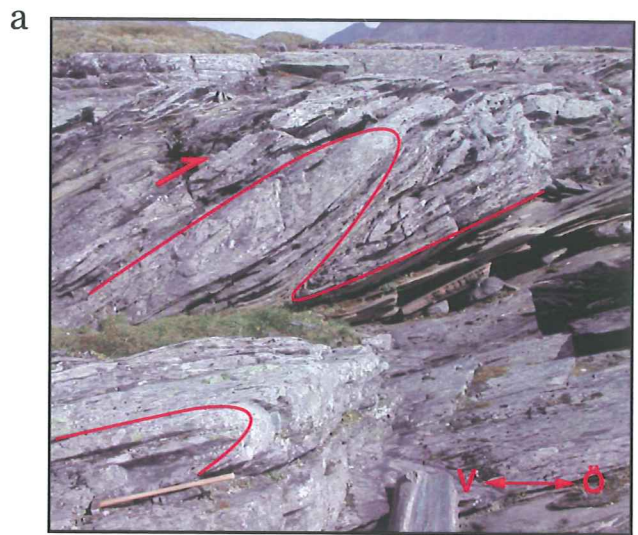
Kalksten uppträder i flera områden inom skollan. Bergarten har en grå till vit färg och är mycket mjuk med väl rundade vittringsformer. I anslutning till kalkstenen på slätten öster om Helagsfjället

förekommer lokalt en basisk, olivgrön *meta-vulkanit*. Bergarten är mer kompetent än den intilliggande kalkstenen som är betydligt mer deformerad.

Överskjutningen av Blåhammarfjällets kollan deformerade den underlagrande Ekorrdörrenskollans bergarter och gav upphov till veckbildning (*Fig. 7*), sc-strukturer samt fyllonit. Förståelsen av vecks uppkomst är viktig då de ger en bild av en överskjutnings rörelseriktning. Vid den basala överskjutningen omorienteras befintliga cylindriska veck eftersom de släpas med av överskjutningen. Nära den basala överskjutningen ger detta upphov till att veckaxlarna vindlar, då de nyorienterade vecken får en annan riktning än den ursprungliga. Vid Sylarnaamfibolitens basala överskjutning kan det lokalt skilja 70° mellan två veckaxelriktningar. Förutom att de nyorienterade vecken förlorar sin cylindriska form, blir de spetsigare och dras ut (*icke-cylindriska veck*). Ju närmare kontakten som man kommer desto mer utdragna blir vecken (*baljveck*). De veck, vars axlar blivit parallella med överskjutningsriktningen, kallas *transportparallella veck*. I Sylarna visar dessa veck att riktningen på överskjutningen av Blåhammarfjällets kollan var $100-110^\circ$.

Överskjutningens karaktär vid Ekorrdörren och Ekorrrammaren. – Ekorrdörren är en dalgång mellan Sylarnamassivet sydöstra del och Ekorrrammaren. Dalgången är ett välkänt landmärke för vandrare eftersom leden mellan Sverige och Norge går genom dalen. I Ekorrdörren, men även i dalen öster därom, är de kvartära avlagringarna mäktiga. Landskapet kännetecknas av terrasser som lokalt är djupt skurna av jokkar och sjöar. Häll förekommer mycket sparsamt, de som finns består av kalkbiotitfyllit som lokalt har ett mycket högt kalkinnehåll. I området påträffas rikligt med block av kalkbiotitfyllit, underordnat uppträder amfibolitblock. Ett undantag utgör trakten sydost om Ekorrrammaren där block av amfibolit dominerar, i detta område finns dock inga fasta hållar. På lokal Wp 82 (O 1321851 / N 6990410) påträffas en kalkbiotitfyllit med ett högt kalkinnehåll, foliationen stryker 32° och stupar 14° åt väster. I kalkbiotitfylliten finns en lineation av kvarts som stryker 292° och stupar 8° åt väst. Lineationen visar den regionala överskjutningsriktningen av Blåhammarfjällets kollan (väst till öst).

Ekorrrammarens översta del består av en mycket finkornig och kompakt amfibolit tillhörande Blåhammarfjällets kollan. Amfiboliten har en tydlig foliation som stryker 352° och stupar 60° åt öster. I den östligaste delen av Ekorrrammaren böjs foliationen och anpassas till foliationen i Blåhammarfjällets kollans basala överskjutning. I den norra slutningen av Ekorrrammaren uppträder två skivor av kalkbiotitfyllit som är cirka 20 m mäktiga. Skivorna, som stryker 340° och stupar 30° åt öster, är troligen tektoniskt inskjuvade från den underlagrande Ekorrdörrenskollan. Den västra sidan av Ekorrrammaren underlagras av den Mellersta Alloktonen, som här består av kvartsit, som intruderats av diabasgångar (Särviskollan).



Figur 7. Strukturer inom Blåhammarfjällets kollan. a) Veck bildade i samband med överskjutningen. b) Transportparallella veck i Västra Ekorrrån. c) Lokal nära Blåhammarfjällets kollans basala överskjutning. Migmatitådra som visar på en dextral rörelseriktning.



Helagsfjället, sydöstra sidan.

Helagsfjällets kollan

Två typer av gnejs bygger upp den dominerande delen av Helagsfjällets kollan. Den ena typen är finkornig, homogen och innehåller sparsamt decimeterstora linser av kalksilikatgnejs (*Plansch 1D*); den andra typen är migmatiserad (*Plansch 1E*). Lokalt kan en gradvis övergång mellan de två formerna ses. I den övre delen av Helagsfjället uppträder en ljusare variant av den finkorniga gnejsen. Denna gnejs har en struktur som påminner om primär sedimentär lagring (*Plansch 1F*), vilket är anmärkningsvärt i en skolla som utsatts för så kraftig deformation.

Gångar av porfyr har intruderat gnejsen i skollan. Vulkanitens textur och färg varierar stort, gradvisa övergångar mellan helt fenokristfria (brun färg) former till utpräglad porfyriska (gråvit) förekommer. Mikroskopiska studier visar att fenokristerna består av starkt omvandlad plagioklas, som har inneslutningar av kvarts, epidot och karbonat. I bergarten förekommer två typer av biotit: flakig biotit med en gråbrun färg som tillväxt i foliationsriktningen, samt enskilda, lätt rundade mörkt bruna korn. Underordnat förekommer karbonat.

I Helagsfjällets kollan varierar foliationsgraden kraftigt, även helt massiva partier förekommer. Den generella foliationsriktningen är ungefär nord till syd med en stupning av 40° åt väster. Öster om Helagsfjället finns en lineation som är äldre än överskjutningen. Lineationen består av kvarts och

visar en annan rörelseriktning (NO-SV) än skollornas transportriktning.

Blåhammarfjällets kollan

Den norra delen av fältarbetsområdet domineras av Blåhammarfjällets kollan. I denna skolla ingår bergarterna amfibolit, gnejs, serpentinit, trondhjemit samt grönskiffer. Blåhammarfjällets kollan har en inverterad metamorf gradient från grönskiffersfacies vid basen till mellersta eller övre amfibolitfacies vid den övre överskjutningen mot Snasahögarna-skollan (Sjöström 1983).

Amfiboliten i fältarbetsområdet beskrivs under Sylarnas amfibolitkomplex (*sid. 17*).

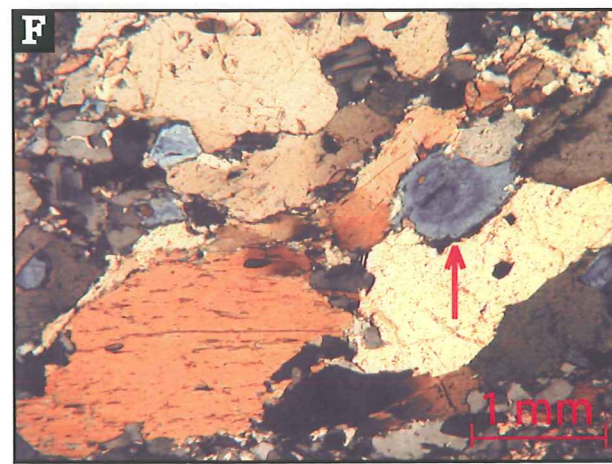
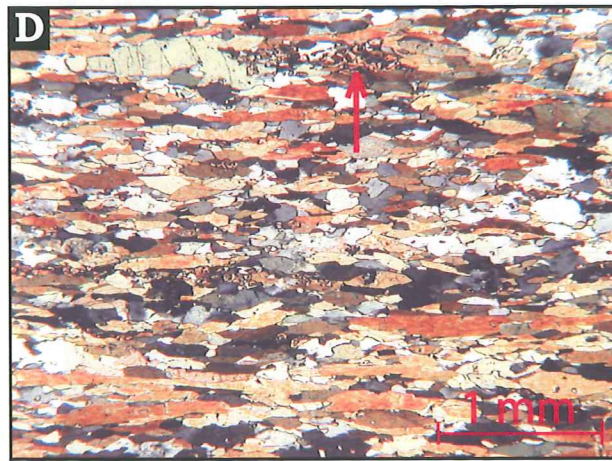
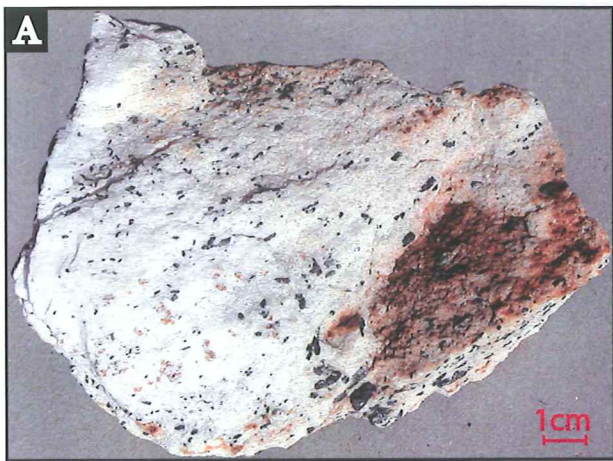
Kvartsfältspatgnejs uppträder på ett fåtal platser inom Blåhammarfjällets kollan; bergarten är heterogen och innehåller kvartsådror samt mörka och ljusa sliror av biotit respektive karbonat.

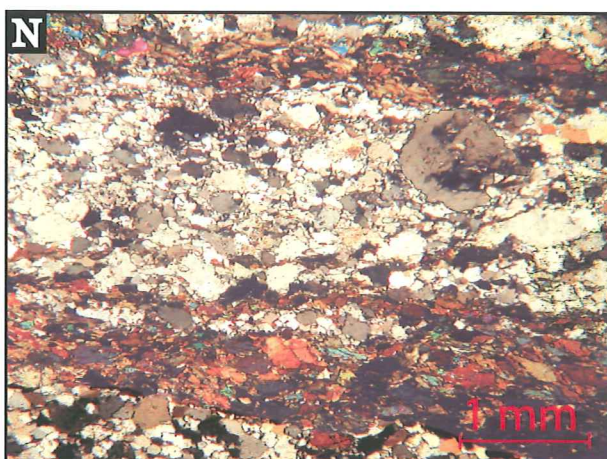
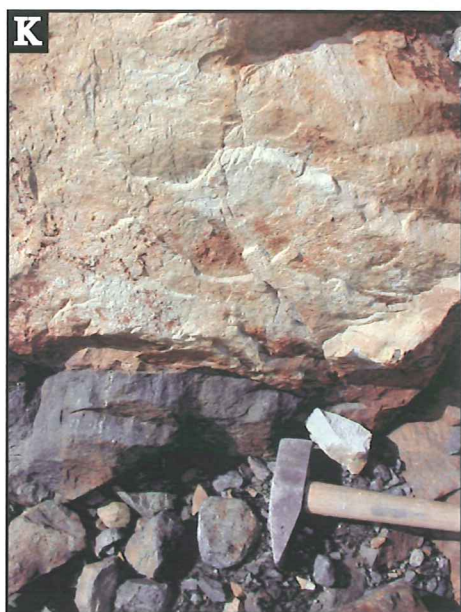
I Spåimeområdet i den norra delen av fältarbetsområdet förekommer lokalt några få kroppar av *serpentinit* (Sjöstrand 1999) (*Plansch 1G*), som innehåller olivin, serpentin och pyroxen. Bergarten har en djupgrön färg med ett finkornigt svart matrix. Serpentiniten är en seg bergart och saknar synlig foliation. I Spåimeområdet uppträder gångar av trondhjemit



Plansch 1.

A) Kalkbiotitfyllit, Ekorrdörreskollan, SO om Helagsfjället. B) Mikrofotografi av kalkbiotitfyllit. C) Fyllonit, i kontakten mellan Blåhammarfjälletskollan och den underliggande Ekorrdörreskollan. D) Lins av Kalksilikatgnejs i Helagsfjälletskollan. E) Migmatisering inom Helagsfjälletskollan. F) Struktur lik primär sedimentär lagring inom Helagsfjälletskollans gnejs. G) Serpentinit i Blåhammarfjälletskollan, Spåimeområdet.





Plansch 2.

Trondhjemiten i Blåhammarfjällets kollan vid toppen av Lillulvåfjället. B) Den grövsta amfiboliten i fältarbetsområdet, Blåhammarfjällets kollan, Lillulvåfjället. C) Kontakt mellan finkornig och porfyrisk amfibolit inom Sylarnas amfibolitkomplex. D) Mikrofotografi av folierad amfibolit med tillväxt av titanit (se röd pil). E) Kontakt mellan finkornig och grövre amfibolit i Kebnekaiseområdet. F) Mikrofotografi av amfibolit från Kebnekaise med gabbrisk textur. Zonerad zoisit vid pilen. G) Block av amfibolit och epidot, Blåhammarfjällets kollan, SV om Templet. H) Lokal wp73, SV om Templet, Sylarna, magnetit och hematit. I) Amfibolit med impregnation av pyrit och kopparkis, Blåhammarfjällets kollan J) Kolloform magnetit och hematit (lokal Wp 73), Blåhammarfjällets kollan. K) Gång av plagioklasgranit, södra Sylarnamassivet. L) Block av plagioklasgranit i Slottet, norra Sylarnamassivet. M) Mikrofotografi av zonerad plagioklas i plagioklasgranit, södra Sylarna. N) Mikrofotografi av folierad och deformerad plagioklasgranit, Slottet Sylarna.

(se nedan) i anslutning till ultramafiten, gångarna klipper lokalt serpentinitkroppen.

I trakten av Lill-Ulvåfjället uppträder ett fåtal större kroppar av *trondhjemit* (Plansch 2A). Trondhjemiten innehåller granater och svarta (0,5 cm) nålar av turmalin. Granaten som har en ljus orange till gul färg är troligen manganhaltig (spessartin).

På slätten väster om Snasahögarna påträffas en svagt förskiffrad *grönskiffer*. Skiffern innehåller en stor mängd muskovit och biotit. Bergarten underlagras av amfiboliten i Blåhammarfjällets kollan och överlagras av gnejsen i Snasahögarnaskollan. En kontakt mot amfiboliten är synlig i den östra slutningen av Snasahögarna. Kontakten är orolig och visar att en överskjutning ägt rum. Grönskiffern är sannolikt en deformerad form av Blåhammarskollans amfibolit.

Snasahögarnaskollan

Blåhammarfjällets kollan överlagras av Snasahögarnaskollan (Sjöström 1983), som återfinns i undersökningsområdets nordligaste del. Endast den basala delen av skollan studerades i detta arbete. Den består av en homogen gnejs, som kan innehålla migmatiserade delar och ett fåtal smala gångar av en ljus granit.

Täljstensvalenkomplexet

Denna enhet består av amfibolit och glimmerskiffer som har metamorfoserats i amfibolitfacies. Mylonit markerar skollans gränser men förekommer även inom skollan. För ytterligare information hänvisas till Bergman (1992).

Mineraliseringar

Sevens skollkomplex innehåller ett stort antal stratabundna mineraliseringar (Zachrisson 1980; Hill 1980; Stephens et al. 1984) som består av pyrit, magnetkis, kopparkis och zinkblände. Malmerna är av impregnationstyp och uppträder i ett flertal bergarter inom komplexet, konkordant med lagring eller foliation. Gruvdriften har tidvis varit betydande i området men idag finns ingen

mineralisering av ekonomiskt intresse. I den norra delen av undersökningsområdet startade brytningen 1738 då block av kopparkis påträffades på slutningen av Snasahögarna (Oscarsson 1994). Fyra gruvor anlades i trakten av Handöl och brytningen pågick fram till 1742. Av den kopparkis som bröts under dessa år framställdes 8160 kg ren koppar. I och med gruvdriften i Handöl uppkom kopparhanteringen i västra Jämtland. Mineraliseringen i Handöl är primär och uppträder i en amfibolit med gångar av plagioklasgranit. Området har utsatts för deformation och en liten del av mineraliseringen uppträder därför nu i graniten. Sylarnamassivet i fältarbetsområdets mellersta del innehåller Sevens största förekomst av stratabunden sulfid (Zachrisson 1980). Ramundberget (>1 Mt), som är beläget i den södra delen av fältarbetsområdet bröts på kopparkis (0,9 % Cu) och magnetit mellan åren 1690 till 1756 med ett ungefärligt uttag på 10 000 ton (Berg och Jord,; Sveriges Nationalatlas, sid. 66; Hill, 1980). Mineraliseringen uppträder här i grönskiffer, vars ursprung är en basaltisk lava med toleitisk sammansättning (Hill 1980). Sulfiden och magnetiten uppträder såväl impregnerat som massivt i de centrala delarna av grönskiffern, som Hill korrelerar med Sylarna-komplexet.

Tidigare arbeten

Den norra delen av fältarbetsområdet undersöktes av Sjöström (1984) och Bergman (1993, 1992), Sjöström och Bergman (1991). Strömberg (1960) sammanställde den geologiska länskartan (SGU serie Ca nr 53). Sjöstrand (1999) sammanställde Sveriges Geologiska undersöknings moderna kartblad för området. Cu-Fe förekomsten i Ramundberget undersöktes av Hill (1980). Till norska geologiska kartor som har använts hör Nilzen & Wolff (1989) samt Bakke (1977). Solyom et al. (1979) drog slutsatsen att Sylarna-amfiboliten representerar den första oceaniska skorpan i det nyöppnade Iapetushavet, amfiboliten bildades som submarina lavaströmmar i gränssonen mellan kontinent och oceanskorpa.



Figur 8. Södra sidan av Sylarnamassivet.

Sylarnas amfibolitkomplex

Sylarnas amfibolitkomplex ingår i Blåhammarfjällets kollan och återfinns i den mellersta delen av undersökningsområdet (Fig. 2, 3, 8). Komplexet bygger upp det välkända fjällmassivet Sylarna.

Tektonostratigrafi

Massivet undersöktes längs tre profiler i Sylarnområdet (Fig. 5). *Profil 1* (980-1640 möh) består av två delar, en undre östlig del som löper utmed Västra Ekorrån samt en övre del som befinner sig väster om norska gränsen. Den undre delen utgår från den Autoktona skollberggrundens graniter och ryoliter. Vid cirka 1000 möh uppträder en kontakt mot tektoniskt varvad amfibolit och kalkbiotitfyllit tillhörande den Övre Alloktonen. Blåhammarfjällets kollans amfibolit ansluter vid cirka 1200 möh och utgör den resterande delen av profilen. *Profil 2* (900-1540 möh) löper i nord-sydlig riktning och utgår från Sylälven norr om Sylarnamassivet. Profilen, som endast består av bergarter från den Övre Alloktonen, följer älven söderut mot högre topografi och avslutas vid foten av Storsylglaciären. Den undre delen består av tektoniskt varvad kalkbiotitfyllit och amfibolit. Denna del överlagras vid cirka 910 möh av en amfibolit som är tektoniskt varvad med plagioklasgranit (denna varvighet återkommer runt 1212 möh i Vaktklumpen). Blåhammarfjällets kollans amfibolit tar vid runt 970 möh. *Profil 3* (950-1550 möh) har en öst-västlig riktning och utgår från dalen sydost om Sylarnamassivet. Även denna profil har Ekorr-dörrenskollans kalkbiotitfyllit som utgångspunkt och amfiboliten i Blåhammar-fjällets kollan tillkommer runt 1200 möh. Kalkbiotitfyllit

återkommer runt 1300 möh i Ekorrhammarens nordvägg. Den västra slutningen innehåller kvartsit med diabasintrusioner från den Mellersta Alloktonen.

Bergarter och strukturer

I Sylarnamassivet (Fig. 8) förekommer tre typer av amfibolit: en finkornig massiv amfibolit, som är grå till svart i färgen, en plagioklasporfyritisk amfibolit, som har något grövre kornstorlek samt en grov metagabbro (*Plansch 2B, 2C, 2D, 2G*). Den senare kan lokalt förekomma breccierad i massivet. De olika typerna av amfibolit är inte knutna till någon specifik nivå. Den grövsta amfiboliten i fältarbetsområdet uppträder vid Lill-Ulvåfjället norr om Sylarnamassivet, här finns en metagabbro med korn i storleken 0,5-1 cm (*Plansch 2B*). Sliror eller linser av epidotit förekommer (*Plansch 2G*).

Hornblendet i Sylarnaamfiboliten är oftast xenoblastiskt, flakformigt och har tillväxt i foliationsriktningen. Förutom korn med hornblendets normala gröna egenfärg förekommer en ljusare variant. Stora korn av plagioklas visar stark omvandling till biotit, epidot och zoisit. Opaka mineral uppträder ofta i bergarten, dessa utgörs till största delen av kopparkis och pyrit men hematit och magnetit förekommer. Epidot uppträder rikligt och mineralet utgör sprickfyllnader såväl som enskilda korn. Bergartens matrix består av plagioklas och kvarts. Dessa korn är relativt små och har rundade korngränser. I några kvartskorn uppträder myrmekit. Underordnat förekommer titanit, klorit, tremolit samt aktinolit. Titaniten

omfattar små korn med väl utbildade kristallformer. Kornen är fristående eller uppträder tillsammans med de opaka mineralen. Gråsvarta omvandlingsområden består av epidotmineral, saussurit. Mineralparagenesen tyder på metamorfos i lägre amfibolitfacies.

I Sylarnas amfibolitkomplex förekommer *plagioklasgranit* som linser och gångar men även tektoniskt varvad med amfiboliten. Några enstaka linser uppträder i de nedre delarna av komplexet. I linserna finns sliror av epidot och närheten till den basala överskjutningen medför veckbildning. Amfiboliten i området norr om Sylarnamassivet i trakten av Handöl innehåller ofta linser (decimeter till meterstorlek) av plagioklasgranit. Gångar av plagioklasgranit kan ses på Sylarnas sydsida (*Plansch 2K, 2M*), samt i Slottet på massivets nordsida (*Plansch 2L, 2N*). Gångarna är extremt finkorniga och har en vit färg samt en tydlig foliation. I Templet (Wp 86) i södra Sylarnamassivet finns en gång av plagioklasgranit, som har gulsfärgats genom vittring av en intilliggande sulfidmineralisering. Plagioklasgraniten har en porfyrisk textur med stora fenokrister av plagioklas (*Plansch 2M*), vilket innebär att gången endast har blivit utsatt för en lättare deformation och metamorfos. Plagioklaskornen visar tvillingbildning och är tydligt zonerade. Matrix är finkornigt och består av kvarts och plagioklas samt små nålar av muskovit. Enstaka omvandlingsområden förekommer, dessa har en olivgrön till brun färg och består av biotit.

Plagioklasgraniten, som intruderat i Slottet i norra delen av Sylarnamassivet, har utsatts för en starkare deformation och metamorfos än gången i söder. Detta syns tydligt i mikroskop (*Plansch 2N*), tunnslipen domineras av omkristalliserad kvarts och den porfyrisk texturen har försvunnit. Gången är vit men innehåller områden som har en grå färg. Den grå partierna har uppkommit genom tillväxt av små amfibolkorn. I gången finns sliror av xenoliter och epidot samt några enstaka relikter av de stora plagioklaskornen, dessa är dock mycket omvandlade genom sericitisering, som utgår från mitten av kornen. Stora hornblendekorn har tillväxt i foliationsriktningen, de har en mörk olivgrön färg. Underordnat i gången förekommer titanit och epidot.

På 1200 möh i Vaktklumpen i de nordliga delarna av Sylarnamassivet samt i Sylälven norr om massivet, förekommer plagioklasgranit tektoniskt varvad med amfibolit. Skivorna i Vaktklumpen är cirka 5 cm mäktiga och stryker 310° och stupar 34° åt nordost. Skivorna i Sylälven befinner sig på en betydligt lägre topografisk nivå (907 möh) vilket kan tyda på veckning eller tektonisk upprepning av den tektoniskt varvade enheten. I Sylälven varierar skivornas mäktighet från 0,5-1 cm. I lagren uppträder ett flertal mesoveck där veckaxlarna stupar åt nordost.

Skollberggrunden i Sylarnaområdet domineras av enheter som stryker i öst till väst och som stupar cirka $20-30^\circ$ åt norr. Inom Sylarnamassivet varierar foliationsgraden stort, från en brant nästan vertikal stupning i de centrala delarna till en i princip horisontell stupning vid den basala överskjutningen. En äldre foliation (som klipptes av plagioklasgranit) finns bevarad i Templet på Sylarnas sydsida. Denna foliation har således överlevt obduktionen och är följaktligen mer primär än den som bildades vid överskjutningen. Plagioklasgraniten skärs i sin tur av en tektonisk zon som stryker 65° och stupar 45° åt nordväst. I massivets centrala delar finns knäveck med flacka axelplan. Dessa veck har uppkommit genom vertikal kompression, troligen under tyngden av överliggande skollor. Transportparallella veck (*Fig. 7b*) uppträder i massivets övre delar och vid den basala överskjutningen. Den basala överskjutningen markeras också av cs-cleavage samt stavar av kvarts och fältspat utdragna i transportriktningen.

Mineraliseringar

I Sylarnamassivet finns sulfidmineraliseringar av varierande storlek som oftast är associerade med den porfyrisk typen av amfibolit. Ett undantag utgör den största stratabundna sulfidmineralisering som påträffas inom Sevens skollkomplex (Zachrisson 1980, 1986). Denna förekomst, som uppskattas till >4 Mt är cirka 20 m mäktig och finns öster om Sylarna i en glimmerskiffer. Mineraliseringen består av pyrit och magnetkis som innehåller cirka 0,4 % Cu och 3% S. Då sulfidmineraliseringar vittrar, bildas en ljusbrun vittringshud på

	Sylarna		Kebnekaise		N-MORB	E-MORB
	x	s	x	s	x	x
SiO ₂	49.75	0.72	48.88	1.57	48.77-50.55	49.72
TiO ₂	1.88	0.39	1.88	0.31	1.15-1.31	1.46
Al ₂ O ₃	14.43	0.82	14.17	0.56	15.90-16.38	15.81
Fe ₂ O ₃	4.26	0.86	13.38	1.19	1.33-1.27	1.66
FeO	7.74	0.76			8.62-7.76	7.62
MnO	0.21	0.09	0.20	0.03	0.17-0.16	0.16
MgO	6.97	0.82	6.61	0.61	9.67-7.80	7.90
CaO	9.21	0.95	10.76	0.80	11.16-11.62	11.84
Na ₂ O	3.81	0.55	2.74	0.34	2.43-2.79	2.35
K ₂ O	0.16	0.08	0.41	0.26	0.08-0.09	0.50
P ₂ O ₅	0.21	0.06	0.13	0.05	0.09-0.13	0.22

Tabell 1 Kemisk sammansättning av Sylarna amfibolitkomplex, Kebne Gångkomplex och referensbergarter (x = medelvärde, s = standardavvikelse). N-MORB (breddgrad 28-52) och E-MORB (Azorererna) från Wilson (1989).

den omkringliggande amfiboliten. En intressant mineralisering förekommer på en av topparna nära Templet i södra delen av Sylarnamassivet (Wp73, O 1317884 / N 6992833). Mineraliseringen, som består av magnetit och hematit (*Plansch 2H*) samt pyrit, kopparkis (*Plansch 2I*) påträffas i den porfyriskamfiboliten som lokalt är kloritiserad. I anslutning till sulfiderna förekommer tremolit i kornstorleken 0,5-1 cm. Magnetit och hematit uppträder tillsammans, halten av de två varierar. Lokalt förekommer de som kolloforma aggregat (*Plansch 2J*). Aggregaten består av magnetit som troligen ersatt kolloform hematit. De stuffer som domineras av magnetiten består av grönskiffer.

Geokemi

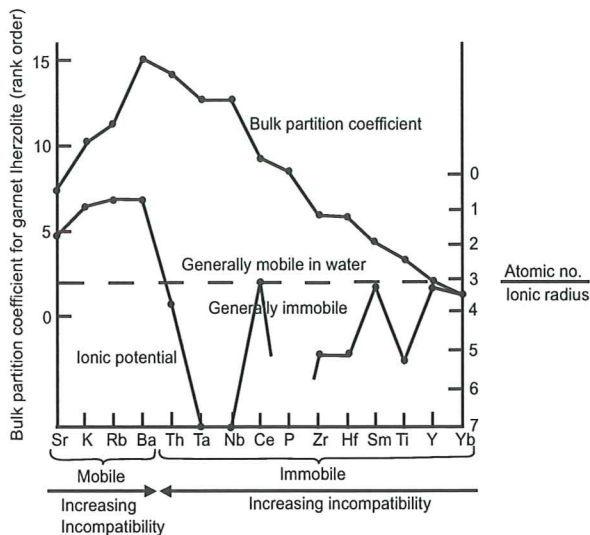
Sylarnas amfibolitkomplex provtogs i Ekorrdörren (A1-A19) i den sydöstra delen av Sylarnamassivet (Solyom et al. 1979) samt i Templet (A20-A22). Den provtagna amfiboliten är relativt finkornig och homogen vilket återspeglas i analysernas låga standardavvikelse (*Tabell 1, Appendix: Tabell 2*). Solyom et al. (1979) analyserade 22 prover med

avseende på huvudelement samt 5 prover för samtliga spårelement och sällsynta jordartselement (REE).

I detta examensarbete kompletteras deras 22 analyser med ytterliggare spårelement, inkluderande även samtliga REE. Analysresultatet är sammanställt i Tabell 2 i Appendix. Prov nummer tio analyserades två gånger för att kontrollera analysutrustningens precision och resultatet är därför ett medelvärde av de två analyserna.

Tolkning av analysresultaten

En bergarts kemiska sammansättning förändras då den utsätts för sekundära processer som hydrotermal omvandling, metamorfos och vittring. Vissa element (Ca, Sr, Ba, K, Na) är mycket känsliga för dessa processer och blir mobila och lämnar det undersökta systemet (*Fig. 9*). Andra element (Ti, P, Zr, Y, Nb) är ej så lämpade (immobila) och kan därför med fördel användas när man undersöker magmans primära sammansättning och utveckling. Analyserna visar att Sylarnaamfiboliten har ett klart högre Na₂O-innehåll än en toleitisk magma har i allmänhet. Detta kombinerat med ett lägre Al₂O₃- och CaO-inne-



Figur 9. Några elements varierande inkompatibilitet respektive mobilitet i vattenlösningar. Efter Wilson (1989).

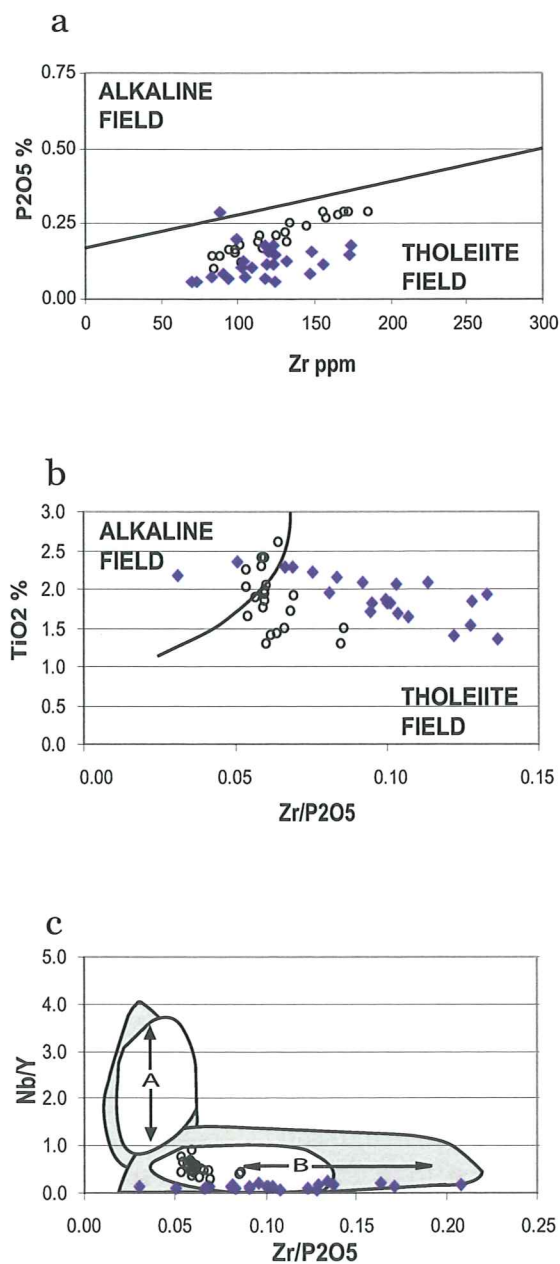
håll tyder på spilitisering (hydrotermal omvandling se nedan) vilket påvisades av Solyom et al. (1979). Resultatet av analysen på amfiboliten från Sylarna presenteras i variationsdiagram mot det relativt immobila elementet Zr (Fig. 10). Huvuddelen av proverna bildar tydliga trender med undantag för MnO, MgO, Na₂O och K₂O, som visar svaga korrelationer. Diagrammet för MnO innehåller tre prov, som avviker stort, proven utesluts därför ur den bearbetade populationen. Avvikelsen kan bero på hydrotermal omvandling. Även spärelementen uppvisar till största delen trender, de enda undantagen utgörs av Ba, Rb och Sr, element som mobiliseras lätt vid hydrotermal omvandling.

Klassificering

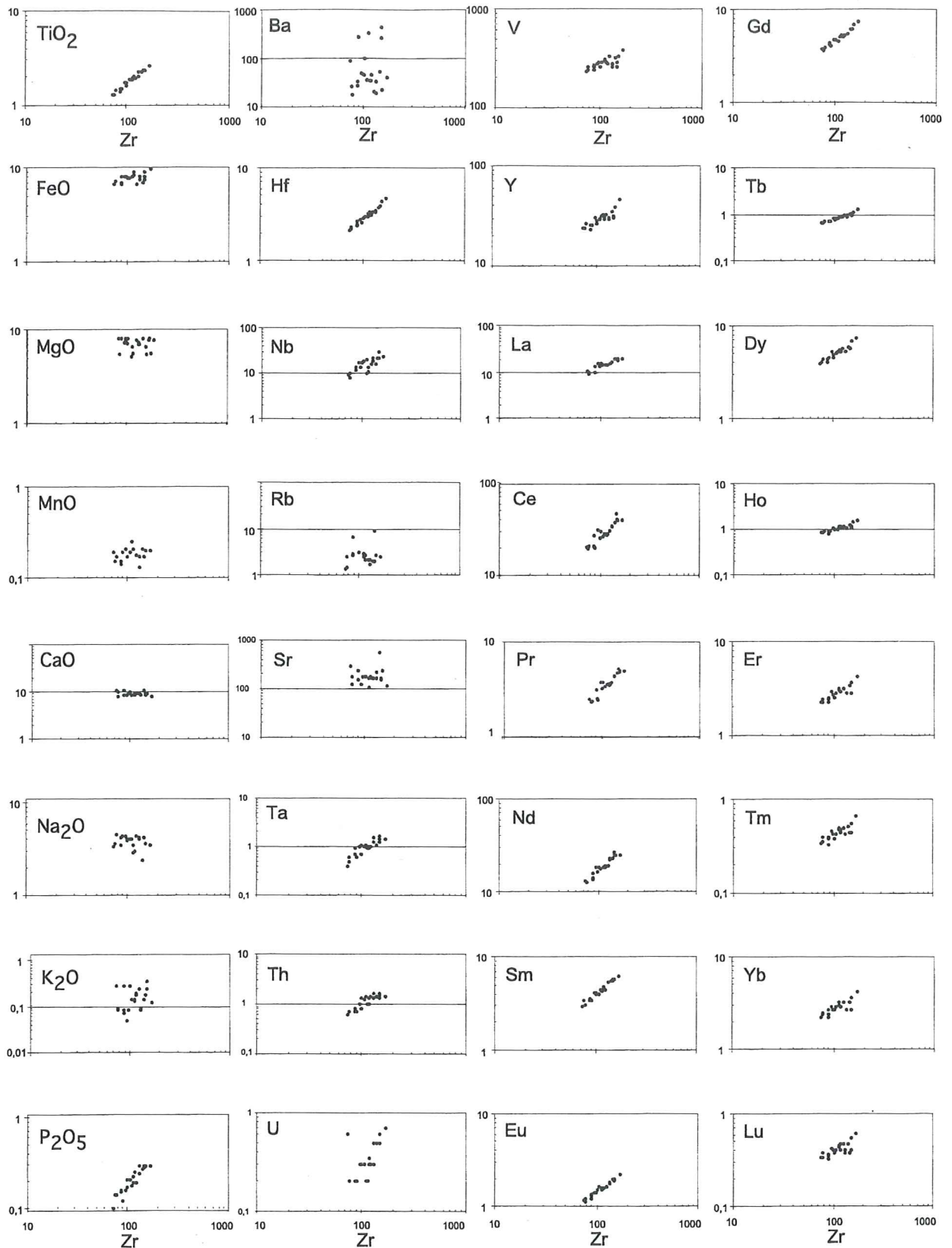
Klassificering av bergarter som är färskas eller endast lätt påverkade av sekundära processer kan utföras med hjälp av deras huvudelement-sammansättning (Na, K, Ca...). Eftersom Sylarnaamfiboliten uppvisar tecken på hydrotermal omvandling grundas klassificeringen istället på de relativt immobila elementen P, Ti, Zr, Y, Nb. Floyd och Winchester (1975, -76) presenterade klassificeringsdiagram som bygger på dessa element (Fig. 11a, b, c). När proven från Sylarna plottas i dessa diagram hamnar huvuddelen av

proven inom fälten för *toleit*. Pearce och Cann (1973) sammanställde ett klassificeringsdiagram som bygger på kvoterna Zr/TiO₂ och Nb/Y. I Detta diagram faller Sylarnaamfiboliten i fälten för sub-alkalin till alkalin sammansättning (Fig. 12).

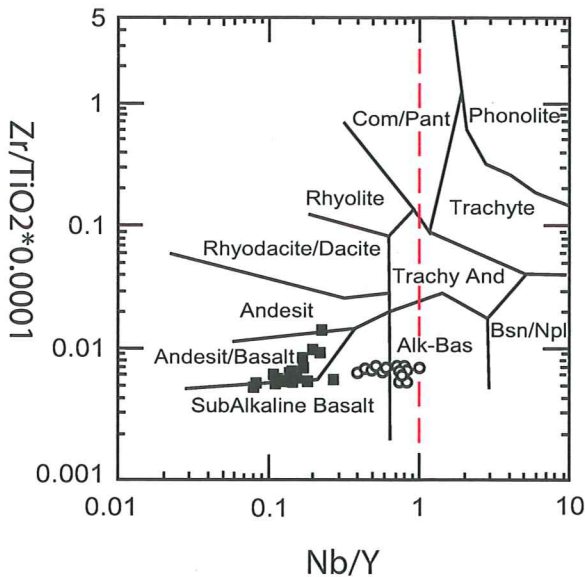
Författarna konstaterade senare att Nb/Y = 1.0 är ett lämpligt förhållande för att skilja mellan toleitiska och alkalina basalter. Om skiljelinjen går vid 1.0, tillhör alla proven från Sylarna det toleitiska fältet.



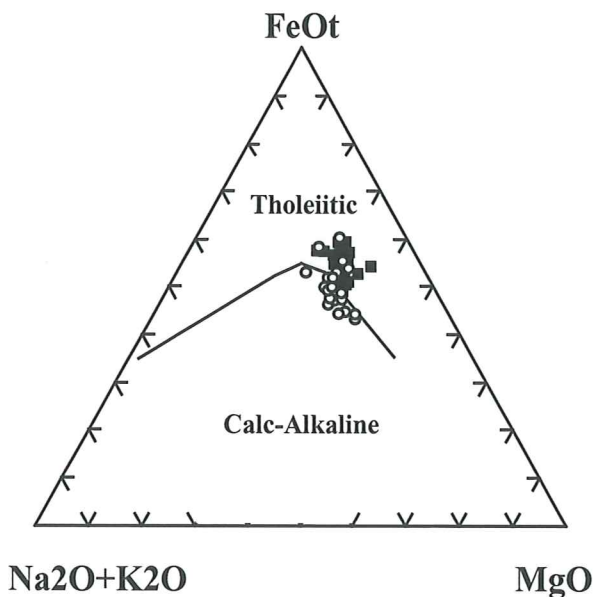
Figur 11 (a, b, c). Klassificeringsdiagram efter Floyd och Winchester (1975, -76). Proven från Sylarna markeras med cirklar, Kebnekaise markeras som fyrkanter.



Figur 10. Sylarnas huvudelement och spårelement plottade mot Zr. Då element visar en god linjär korrelation mot Zr är mobilitet genom hydrotermal omvandling eller metamorfos mindre sannolik. Några element (K, Ba, Rb, Sr....) visar stor spridning. Vissa prover avviker konstant och har uteslutits vid klassificeringen.



Figur 12. Klassificeringsdiagram av Pearce och Cann (1973). Enligt författarna är $Nb/Y = 1.0$ ett lämpligt förhållande för att skilja mellan toleitiska och alkalina basalter. Symboler som i figur 11.



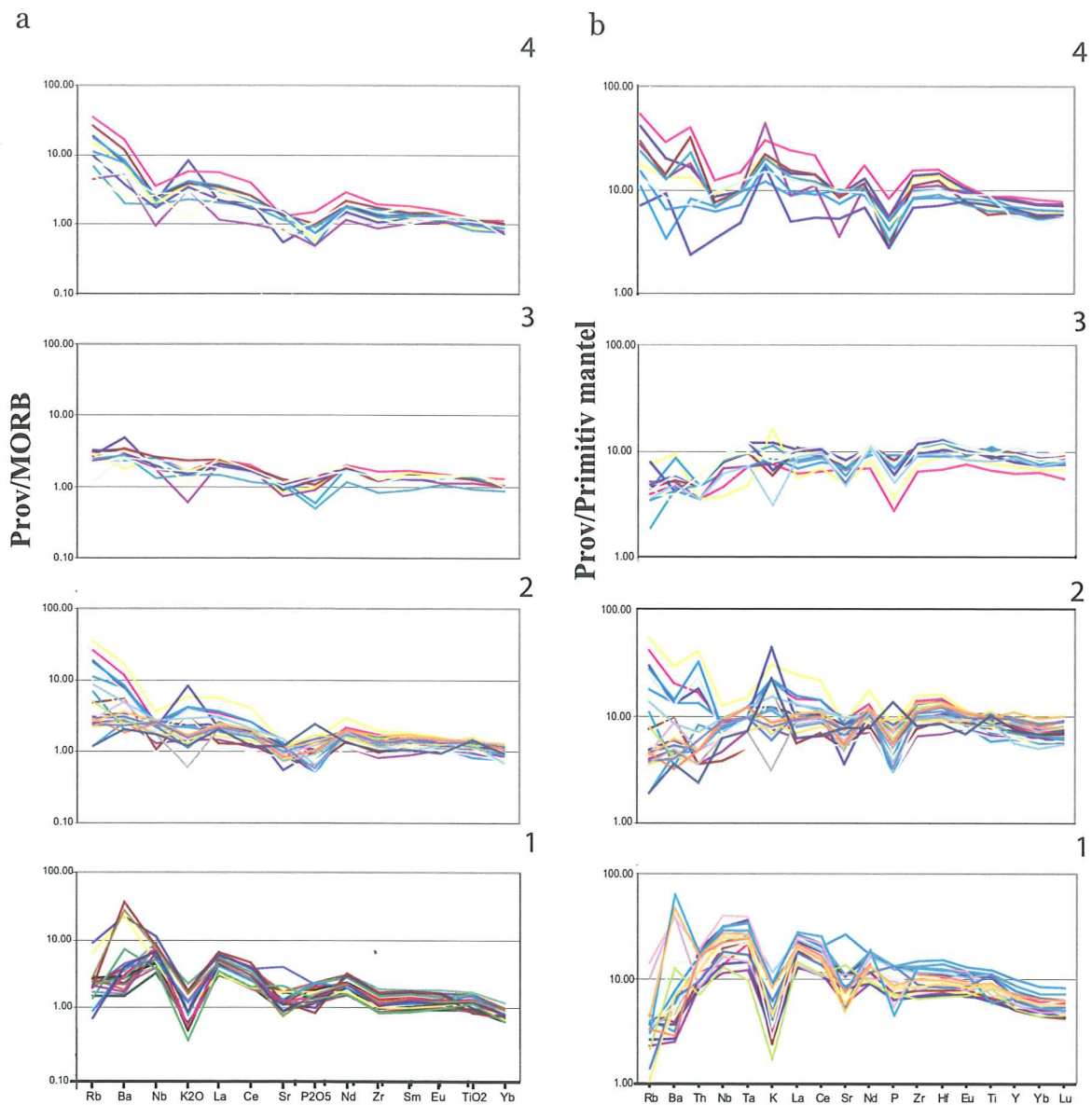
Figur 13. Triangeldiagram som skiljer mellan toleitiska och kalkalkalina basalter. Diagrammets skiljelinjer efter Irvine och Baragar (1971). Symboler som i figur 11.

AMF diagrammet (Fig. 13) är ett triangeldiagram, som vanligtvis används för att skilja mellan toleitiska och kalkalkalina differentieringstrender inom subalkalina magmaserier. Diagrammet innehåller Irvine och Baragars (1971) skiljelinjer. En toleitisk bergartsserie anrikas mer på järn under ett tidigt stadie av differentiationen. Kemiska analyser plottar därför längs en kurva ovanför gränslinjen, medan analyser av en kalk-alkalin bergartsserie plottar längs en kurva under linjen. De analyserade populationerna visar inga trender utan punktsvärmar, detta eftersom Sylarna och Kebnekaise endast representerar ett kort stadium av differentiationen. Enligt diagrammet skulle Kebnekaises basalter vara mer toleitiska än Sylarnas. Orsaken till att Sylarnas prover faller under linjen och i det kalk-alkalina fältet kan vara den höga natriumhalten som dock är sekundär (spilitisering).

Magmakälla

Den kemiska sammansättningen hos en bergart kan ge information om magmans ursprungliga bildningsmiljö, mantelkällan. Ett sätt att närma sig denna miljö är att undersöka spårelementens halter. Detta sker med hjälp av diagram (s.k. spiderdiagram), där normaliseringen sker mot ett standardvärde såsom MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt), primitiv mantel eller kondrit (Fig. 14, 15).

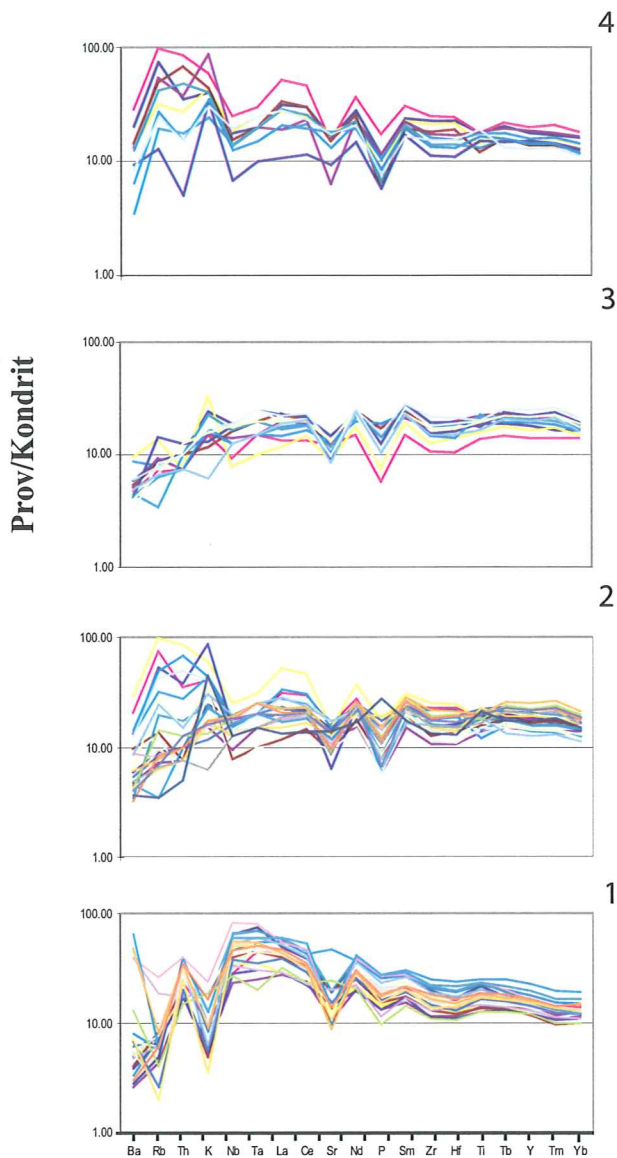
Normalisering mot MORB kan vara att föredra då man arbetar med basalter eftersom det är troligare att MORB är en basalts moderbergart än den primitiva manteln. Primitiv mantel refererar till mantelns sammansättning innan den kontinentala krustan bildades. Denna normalisering har fått en del kritik då den relaterar till uppskattade värden av den primära odifferentierade Jorden. Normalisering mot kondrit anses därför säkrare eftersom den bygger på analyserade kondritiska meteoriter, som utgör ofraktionerat prov av solsystemet. Elementinnehållet och ordningen av elementen varierar i de olika normaliseringsdiagrammen. I vissa diagram ingår K, P och Ti vilket innebär en omräkning från viktprocent till ppm.



Figur 14. a) Normalisering mot MORB: baserat på Pearces (1983) normaliseringsvärden, kompletterade med Beavins (1984). b) normalisering mot den primitiva manteln: baserat på McDonoughs (1992) normaliseringsvärden som kompletterades med Sun (1980). a1, b1) De två diagrammen innehåller alla analyserade prov från Sylarna. a2, b2) Alla analyserade prov från Kebnekaise med undantag av två serier (AP3, AP26) de avvek stort). Proven från Kebnekaise indelas i två grupper: en lik en normal MORB (a3, b3) den andra anrikad i förhållande till normal MORB (a4, b4) samt med tydliga tråg för Nb och Ta.

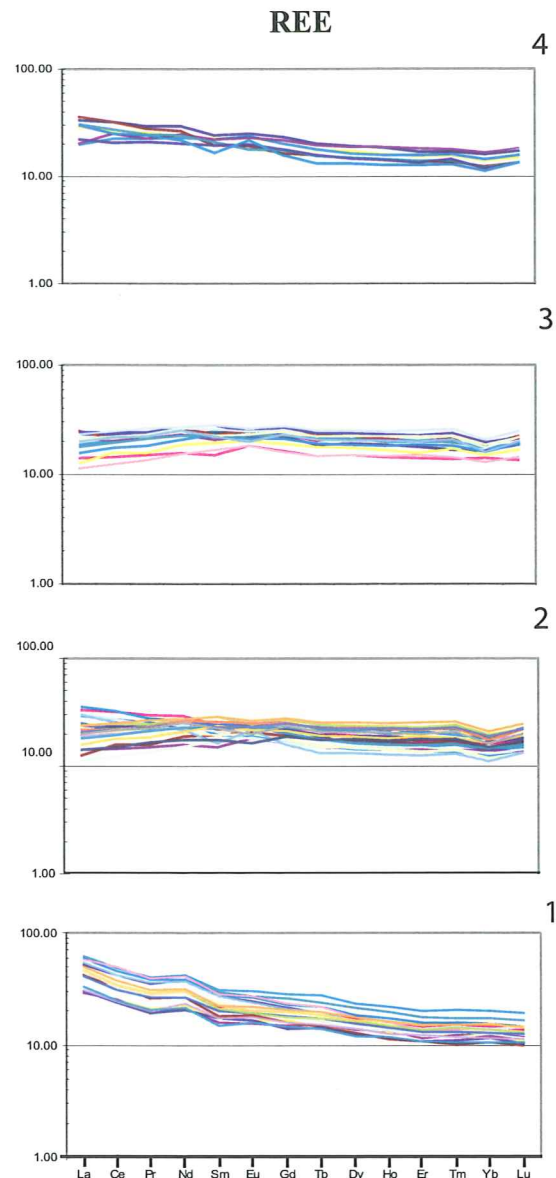
Sylarna visar relativt samlade trender i de tre normaliseringsdiagrammen (14:a1, b1; 15:1). Diagrammet som normaliseras mot MORB innehåller tydliga tråg för K och svaga tråg för Sr och P. Några serier har toppar för Ba. Normalisering mot den primitiva manteln ger tråg för K och Sr, vissa prover innehåller också tråg för P. Även vid denna normalisering finns några toppar för Ba, Nb-Ta visar markanta toppar. Kondritnormaliseringen ger tråg för Rb, K, Sr och P. Toppar syns för Th och Nb-Ta.

Innebörden av de observerade topparna/trågen för K, Rb, Ba, och Sr är osäker med hänsyn till att dessa element är mobila (Fig 9-10). Toppar för Nb-Ta är typiskt för oceanöbasalter. Öbågebasalter visar däremot tråg för Nb-Ta. I figur 16: a1, b1 jämförs Sylarnas basalter med normal och anrikad MORB samt med oceanöbasalter. Om man bortser från den spridning, som K, Rb, Ba och Sr ger upphov till, visar diagrammen att Sylarnabasalternas mantelkälla är tydligt mera anrikad än N-MORB.



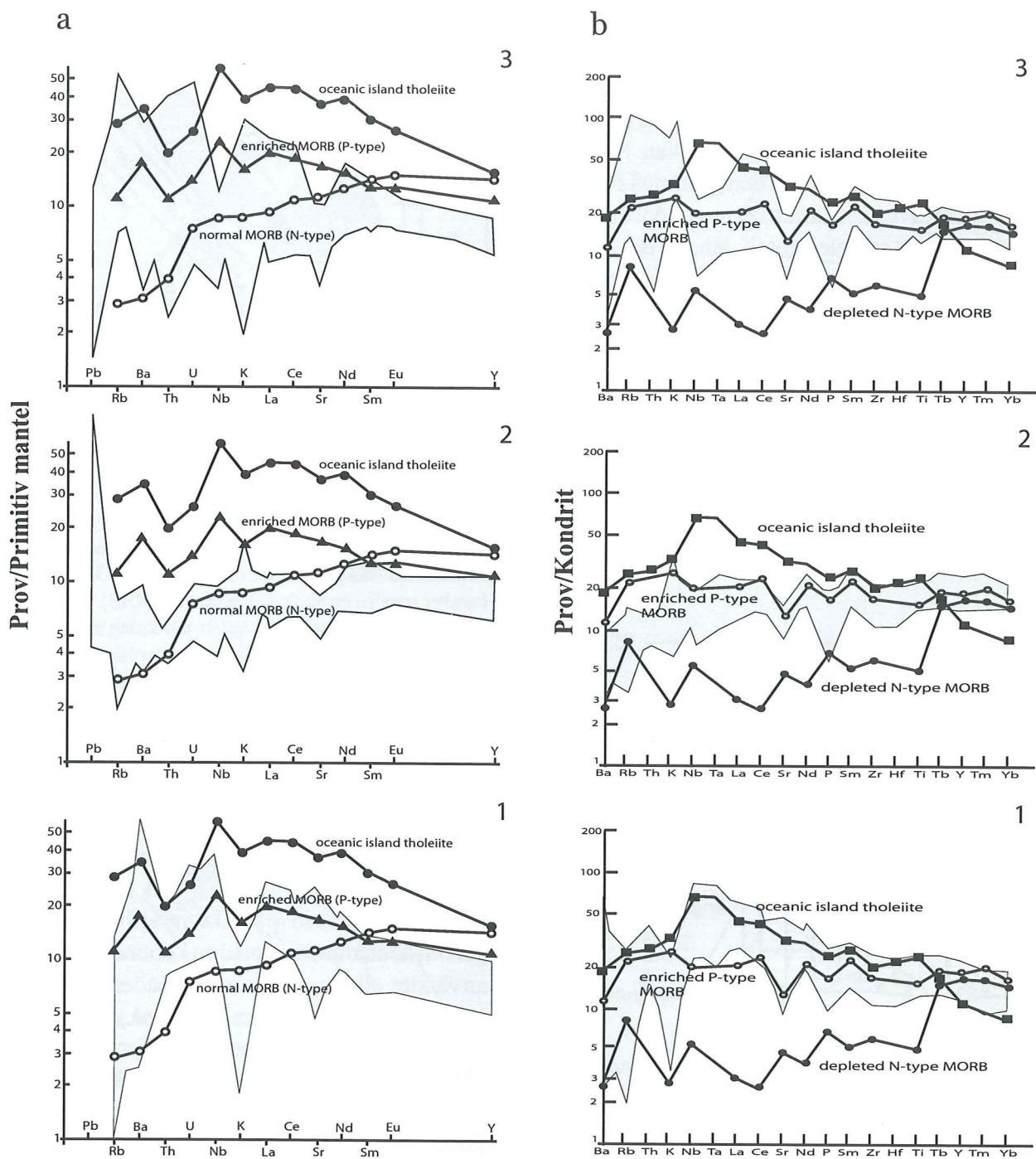
Figur 15. Normalisering mot kondrit: baserat på McDonoughs (1989) normaliseringsvärden, kompletterade med Sun (1989). 1) diagrammet innehåller alla analyserade prov från Sylarna. 2) Samtliga analyserade prov från Kebnekaise undantaget två. 3) Prov från Kebnekaise som är lik en normal MORB 4) Prov från Kebnekaise som är anrikad i förhållande till normal MORB.

Sällsynta jordartsmetallerna (REE) är en grupp av spårelement som har mycket lika kemiska och fysikaliska egenskaper. Elementen (La-Lu i periodiska systemet) är därför synnerligen lämpliga för studier inom sedimentär och metamorf petrologi. *Figur 17:1* innehåller de sällsynta jordartsmetallerna i proven från Sylarna. Proven



Figur 17:1, 2, 3, 4. Variationsdiagram för sällsynta jordartsmetallerna (REE). 1) Sylarna. 2) Samtliga analyserade prov från Kebnekaise undantaget två. 3-4) Två grupper med avseende på halten av lätta REE. Grupperna visar olika grad av anrikning av lätta REE i Kebnekaises amfibolit.

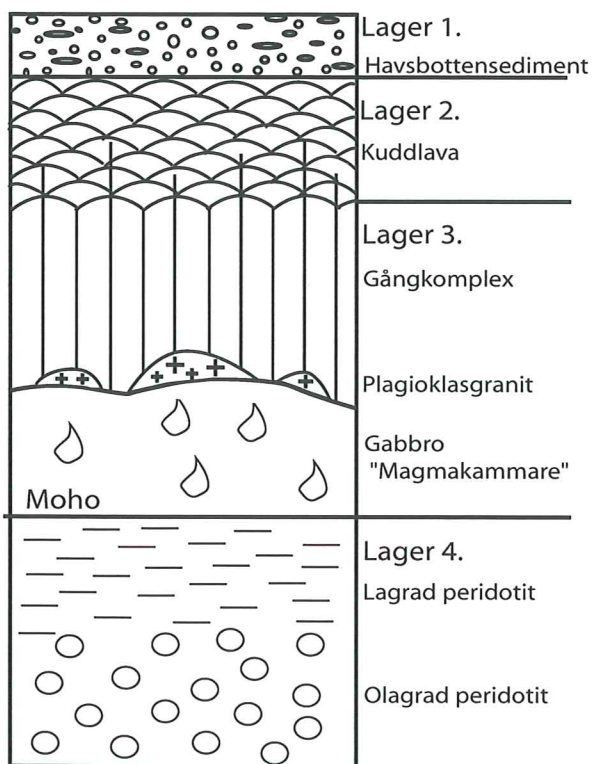
uppvisar en trend som är tydligt anrikad av de lätta elementen (de till vänster om Sm i diagrammet). Som ett mått på anrikningen brukar man ange kvoten La/Sm. För E-MORB är $La/Sm > 1.5-1.8$; för N-MORB $< c. 0.7$. För Sylarna (samtliga prover) är $La/Sm = 1.8-2.4$; medelvärde = 2.1.



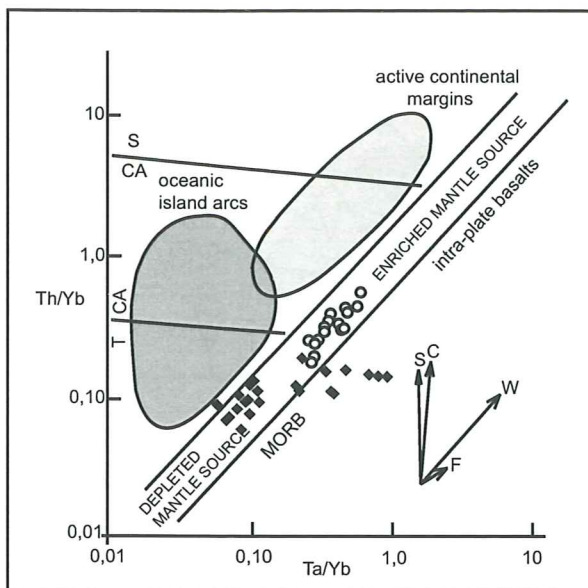
Figur 16. Spiderdiagram som visar skillnaden mellan en normal MORB (N-MORB) och en anrikad MORB (P-MORB) samt likheterna mellan en anrikad MORB (P-MORB) och en typisk öbågetoleit. Proven från Sylarna (A1-A22) och Kebnekaise (AP1-2, AP4-25) faller inom grått fält. Normaliseringsvärden se Fig. 14-15. Till diagrammet som normaliserats mot en primitiv mantel användes McDonoughs (1992) normaliseringsvärden som kompletterades med Sun (1980). Elementen är ordnade efter minskad inkompatibilitet från vänster till höger. Diagrammet hämtades från Wilson (1989). a1, b1) Sylarna a2, b2) Prov från Kebnekaise som är svagt anrikade i förhållande till normal MORB. a3, b3) Prov från Kebnekaise som är anrikade i förhållande till normal MORB. b) Spårelementdiagram som visar skillnad i sammansättning mellan normal (N-MORB) och anrikad MORB (E-MORB) samt en typisk öbågetoleit. Diagrammet normaliserat mot kondrit och bygger på McDonoughs (1989) normaliseringsvärden som kompletterades med Sun (1989). Diagrammet hämtades från Wilson (1989). 1) Sylarna 2) Prov från Kebnekaise som är svagt anrikade i förhållande till normal MORB. 3) Prov från Kebnekaise som är anrikade i förhållande till normal MORB.

Magmans väg

En magma som intruderar i Jordskorpan har på sin väg påverkats av olika processer och kan därför skilja sig markant i sammansättning från den ursprungliga magman vid mantelkällan. När den primära magman stiger kan den genomgå fraktionering men även kontamineras med sidoberget av inkompatibla* spårelement (K, Rb, Sr, Ba, Zr, Th, lätta REE) som anrikas i smältan. Vid jordytan kan bergarten som bildats ur magman utsättas för ytterligare förändringar i form av hydrotermal omvandling, metamorfos (låg till medium grad) och vittring mm. Hydrotermal omvandling sker ute på havsbotten då kallt och syrerikt havsvattnet cirkulerar ned i sprickor i den varma basalten och genererar tillväxt av klorit, serpentin, smektit, illit och amfibol. Kuddlava i lager 2 (Fig. 18) utarmas på alkalimetaller som avgår till havsvattnet.



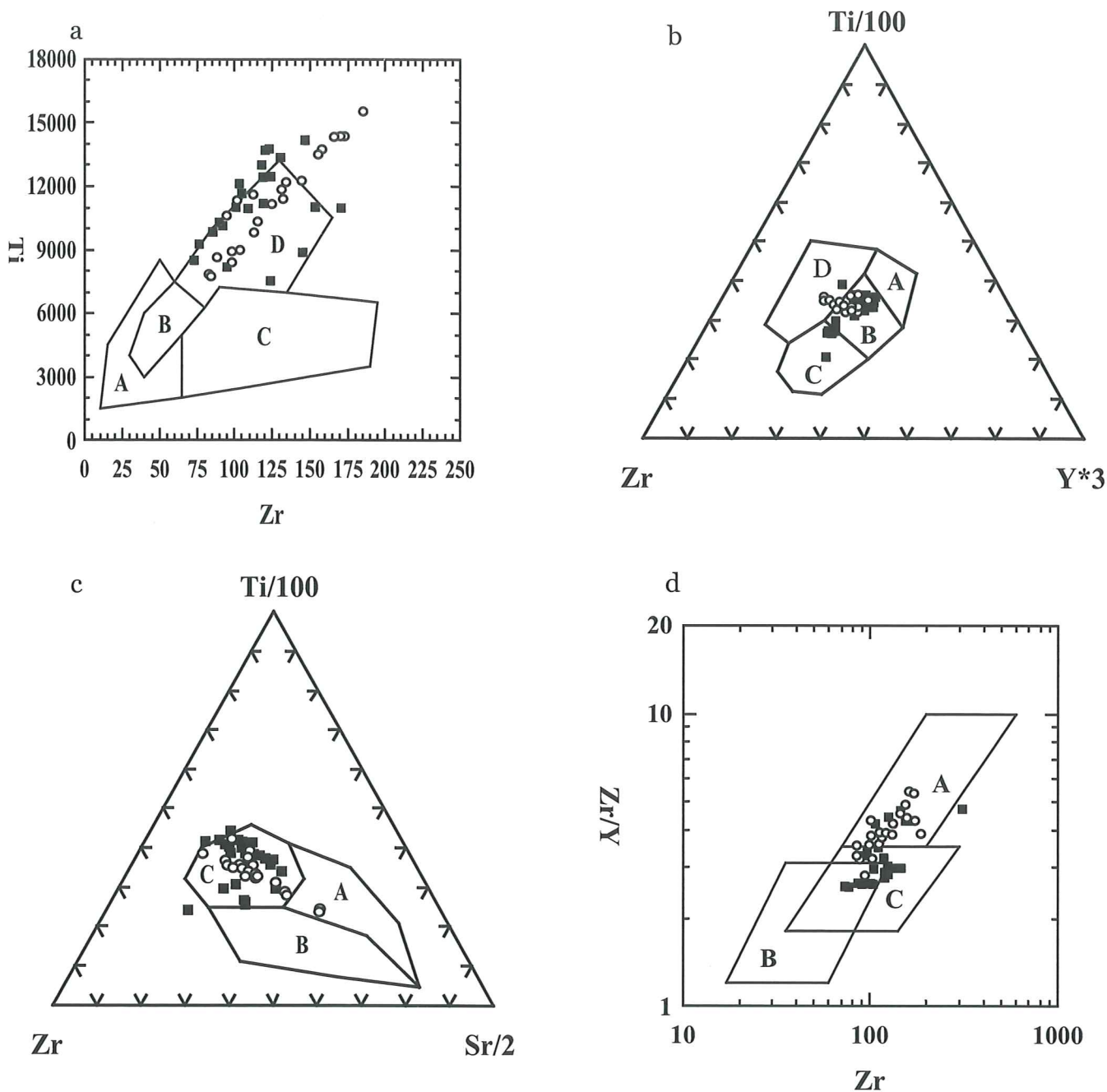
Figur 18. Tvärsnitt av en normal oceanisk skorpa.



Figur 19. Diagrammet (Pearce 1983) visar skillnaden mellan subduktionsrelaterade basalter, basalter som härstammar från en utarmad magmakälla (MORB) och de basalter som har en anrikad magmakälla (OIB). Vektorena visar influenser av subduktion (S), anrikning inom plattor (W), kontaminering med kontinental jordskorpa (C) och fraktionering vid kristallisation (F). Linjerna visar gränserna mellan toleitisk (T), kalkalkalina (CA) och shoshonitiska (S) fält.

Om amfiboliten i Sylarna passerat genom en kontinental skorpa, kan den ha kontaminerats av denna. För att undersöka om magman är sekundärt anrikad på inkompatibla element genom kontaminering med en kontinental skorpa användes ett diagram som skapades av Pearce (1983). I figur 19 plottas Th/Yb på y-axeln och Ta/Yb på x-axeln. Diagrammet skiljer mellan fyra olika miljöer. Subduktionsrelaterade (S), anrikning inom en platta (W), kontaminering av en kontinental skorpa (C), samt fraktionerad kristallisation (F). Linjer skiljer mellan de tre magmaserierna; toleitisk (T), kalk-alkalin (Ca) och shoshonitic (S). Th och Ta har ett linjärt samband eftersom de ökar i samma takt vid normal anrikning av manteln. Th är mer inkompatibelt än Ta vilket innebär att Th koncentreras mest vid kontakten med sidoberget.

*När manteln smälter partiellt visar spårelementen en tendens att ingå i antingen den fasta eller den smälta fasen. De element som föredrar den fasta mineralfasen kallas kompatibla, de som hellre går in i en smälta kallas inkompatibla.



Figur 20. Diskrimineringsdiagram för basalter. 20a) Pearce och Cann (1973), diagrammet är linjärt och har fyra fält; A = öbågetoleiter, B = MORB, kalkalkalina basalter, öbågetoleiter, C = kalkalkalina basalter, D = MORB. 20b) Fyra fält; A innehåller öbågetoleiter, B består av MORB, öbågetoleiter och kalkalkalina basalter, C rymmer kalkalkalina basalter, D innehåller basalter inom plattor. Eftersom fält B representerar tre olika miljöer plottas proven som hamnar här på nytt i Ti-Zr-Sr-diagrammet. 20c) Ti-Zr-Sr-diagrammet innehåller tre fält; A = öbågetoleiter, B = kalkalkalina basalter och C = MORB. 20d) Diagrammet, som sammanställdes av Pearce och Norry (1979) diskriminerar mellan olika oceanbottenbasalter. Fält A = basalter inom oceanplattor, B = öbågebasalt, C = MORB.

Detta gör att kvoten Th/Yb ökar mer än Ta/Yb och proverna hamnar ovanför linjen för normal anrikning i diagrammet. Då proverna från Sylarna plottades i diagrammet hamnade de inom bandet för normalt anrikad MORB. Detta visar att

amfiboliten i Sylarna är något anrikad i inkompatibla spårelement (K, Rb, Sr, Ba, Zr, Th, lätta REE) jämfört med en normal MORB (N-MORB) men att detta inte beror på kontaminering med kontinental skorpa.

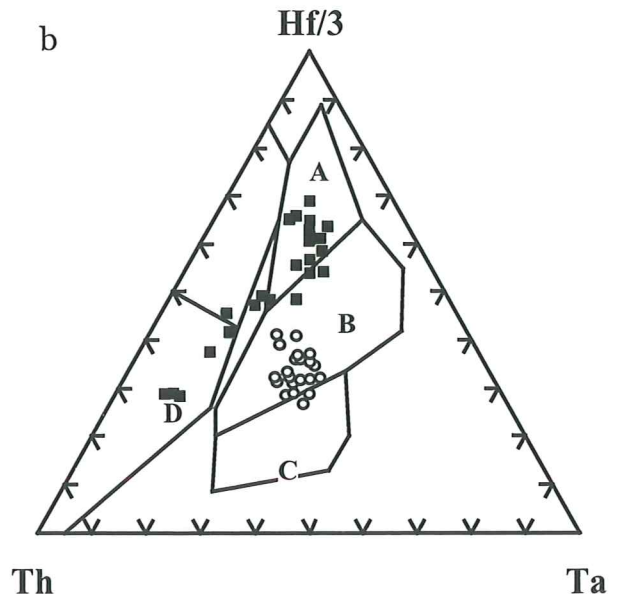
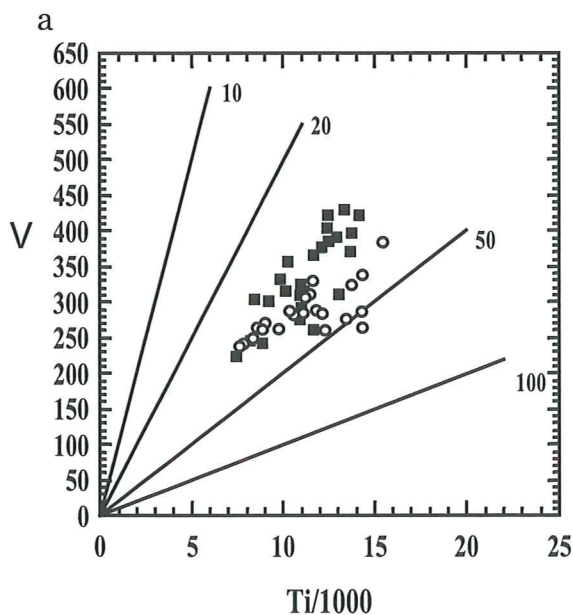
Magmatismens platttektoniska miljö

Sylarna har som konstaterats ovan en toleitisk sammansättning och likheter med anrikad MORB (E-MORB) eller OIB. För att ytterligare undersöka Sylarnaamfibolitens tektoniska bildningsmiljö användes s.k. *tektonomagmatiska diskrimineringsdiagram* (Wilsson 1989).

Pearce och Cann (1973) introducerade metoder för att särskilja toleitiska basalter (*figur 20a-d*), som bygger på elementen Ti, Zr, Y, och Sr. En metod (*Fig. 20a*) bygger på Ti-Zr och diskriminerar mellan tre platttektoniska miljöer. Proven från Sylarna plottar inom fältet för OFB (oceanbottenbasalt). *Figur 20b* använder Ti, Zr, Y och skiljer på fyra tektoniska miljöer. Alla proven hamnar inom fältet för OFB utom fem som hamnar strax inom fältet för "within-plate-basalts". OFB-fältet är speciellt då det utgör ett samlingsfält för tre typer av OFB. För att skilja dessa åt plottas proven på nytt i *figur 20c*. Detta bygger på Ti, Zr,

Sr och används med fördel på färskare prov av hänsyn till Sr men går ändå att använda på bergarter som utsatts för sekundära processer såsom Sylarna (hydrotermal omvandling). Proven från Sylarna plottar inom fältet för oceanbottenbasalt, proven sprider mot Sr och två prov faller inom fältet för öbågetoleit.

Oceanbottenbasalt är ett relativt vitt begrepp som innefattar olika miljöer. Pearce och Norry (1979) (*Fig. 20d*) sammanställde därför ett diagram baserat på förhållandet Zr/Y-Zr. Diagrammet diskriminerar mellan tre ocean-bottenmiljöer. Proven från Sylarna plottar till största delen inom fälten för within plate basalt och MORB, två prov faller på gränsen till fältet för öbåge basalt. För att undersöka om de två proven som plottar mot öbågar stämmer plottas proven på nytt i Shervais diagram (*Fig. 21a*) från 1982. Diagrammet skiljer på öbågetoleiter, OFB och alkalibasalter. Basalterna i en öbåg miljö innehåller mindre än 1% titan, diagrammet visar därför att det ej rör



Figur 21. a) Shervais (1982) diskrimineringsdiagram för oceanbottenbasalter. De olika fälten är indelade efter förhållandet mellan halterna Ti och V. Fält 10-20 = öbågetoleiter, 20-50 = MORB, 50-100 = oceanöar och alkalibasalt. 21b) Diskrimineringsdiagram efter Wood (1980), diagrammet används för att skilja mellan olika typer av MORB. Diagrammet innehåller fyra huvudfält; A = MORB (N-typ), B = MORB (E-typ) och toleitisk basalt inom plattor, C = alkalibasalt inom plattor, D = öbågebasalt.

sig om en öbågemiljö. Proverna från Sylarna hamnar inom intervallet 20-50=OFB. För att slutligen skilja mellan olika typer av MORB konstruerade Wood (1980) (*Fig. 21b*) ett diagram som bygger på de immobila och inkompatibla elementen Th, Ta samt Hf. Proverna från Sylarna ligger väl samlade inom fältet för anrikad MORB. Två prov faller dock inom fält C (within plate alkalibasalt).

Diskrimineringsmetoderna stöder alltså resultatet som erhöles med de normaliserade variationsdiagrammen dvs att basalterna i Sylarna motsvarar E-MORB eller OIB. Diagrammen ger inga belägg för att magmatismen var subduktionsrelaterad.

Sevekomplexet i Kebnekaisemassivet

För att ge läsaren en överblick av bergarterna i Sevens skollkomplex i norra Kebnekaise följer här en kort sammanfattning. För ytterliggare information hänvisas till tidigare examensarbeten: Paulsson (1996), Sandelin (1997), Boman (2001), Lundgren (2002) samt till Paulsson och Andréasson (2002). Enheterna i Sevens skollkomplex är: Kebne Gångkomplex, Storglaciärgnejs, Höktoppsmylonit, Boganjiramytoniten samt Mårmas magmatiska komplex.

Tektonostratigrafi

I norra Kebnekaise är olika skollor representerade (*Fig. 2 appendix*). Östra Mårmaområdet har skollor från Autokton (Dividal-gruppen), Lägre Alloktion (Leavasvagefyllit), Mellersta Alloktion (Abiskoskollan) samt Övre Alloktion (Sevens skollkomplex). I västra delen av Mårmaområdet påträffas den Mellersta och Övre Alloktionen (Sevens skollkomplex). Nallområdet består endast av skollor från den Övre Alloktionen, både Köli och Sevens skollkomplex finns representerade. Liksom i Sylarna dominerar de högsta topparna i Kebnekaisemassivet helt av amfibolit (*Kebne Gångkomplex*; Andréasson och Gee 1989). Kölins skollor överlagrar längs komplexets västra gräns (Page 1993). Komplexet underlagras av en enhet av starkt mylonitiserad sediment-

gnejs (Storglaciärgnejs, Höktoppsmylonit) som intruderats av gabbro och granit (Vistasgranit, Andréasson 1989, Nilsson 1992, Goerke 1993, Paulsson 1996, Sandelin 1997). Denna enhet, som saknar direkt motsvarighet i Sylarna-Helagsområdet, räknas norrut (Finnmark) till Mellersta Skollberggrunden. Den Lägre Skollberggrunden är i Kebnekaise tunn och består av deformerad granitisk (ögongnejs) och mafisk prekambrisk berggrund.

Övre Alloktionens bergarter

Kebne Gångkomplex. Se beskrivning nedan.

Storglaciärgnejsen: är en mylonitisk gnejs med en rosa till gråblå färg, gulvita band och linser av kvarts och fältspat.

Höktoppsmyloniten: är en mylonit som har en rosa färg. Bergarten innehåller små rosa granater och ögon av plagioklas och kvarts. Enheten är starkt deformerad och har boudiner av diabas (ett par meter i diameter) och kalksilikat (några decimeter i diameter).

Boginjiramytoniten: är en protomylonit bildad ur Vistasgraniten (se nedan). Bergarten är finkornig till tät och har en gråblå färg och karaktäristiska euhedrala ögon av kalifältspat som är orienterade i foliationsriktningen.

Mårmas magmatiska komplex: Komplexet är uppbyggt av granit (Vistasgraniten) vilken har intruderat samtidigt med gabbro. Graniten är biotitrik och innehåller rosa granater och stora ögon av plagioklas. Komplexet genomsätts av diabas. Komplexets har ett linslikt uppträdande vilket ger en stor variation på mäktigheten (0 till flera hundra meter).

Kebnekaise amfibolitkomplex

Bergarterna

I Kebne Gångkomplex uppträder två typer av *amfibolit*, en finkornig och en grövre. Man kan ofta se en tydlig kontakt mellan de två typerna (*Plansch 2E, 2F*). Den finkorniga amfiboliten har en kornstorlek på 0,5-2 mm och är mörkt grå till svart i färgen. Den grövre amfiboliten är svartvitspräcklig och har en kornstorlek mellan 5-10 mm. Foliationen är stark. I sällsynta fall finns ursprungsbergarterna bevarade som massiv metagabbro intruderad av metadiabas.

Även i Kebnekaises amfibolitkomplex förekommer gångar av finkornig granit. Efter en deformerad variant vid basen av komplexet har denna granit kallats *Nallognejs* i tidigare arbeten. Dess mineralogiska och kemiska sammansättning motsvarar en plagioklasgranit (Boman 2001, Lundgren, 2002).

Ultramafiska bergarter förekommer mycket sparsamt; den största kropp som hittills påträffats mäter 50x30 m och består av massiv pyroxenit. (Andréasson, opublicerat material).

I Kebnekaise amfibolitkomplex förekommer mycket lokalt tunna (<0,5 m) band av *marmor* konkordant med foliationen i amfiboliten.

Geokemi

De analyserade proven från Kebne Gångkomplex hämtades från centrala nordvästra och nordöstra delarna av Kebnekaisemassivet (Fig. 2, appendix). Den provtagna amfiboliten uppvisar variation i kornstorlek och mineral, några stuffer innehåller granater. 25 prov analyserades på huvud- och spårelement hos Amce Analytical Laboratories Ltd. in Vancouver, Kanada. Resultaten visas i Appendix tabell 3-4. Provnnummer tio analyserades två gånger för att kontrollera analysutrustningens precision och resultatet är därför ett medelvärde av de två analyserna.

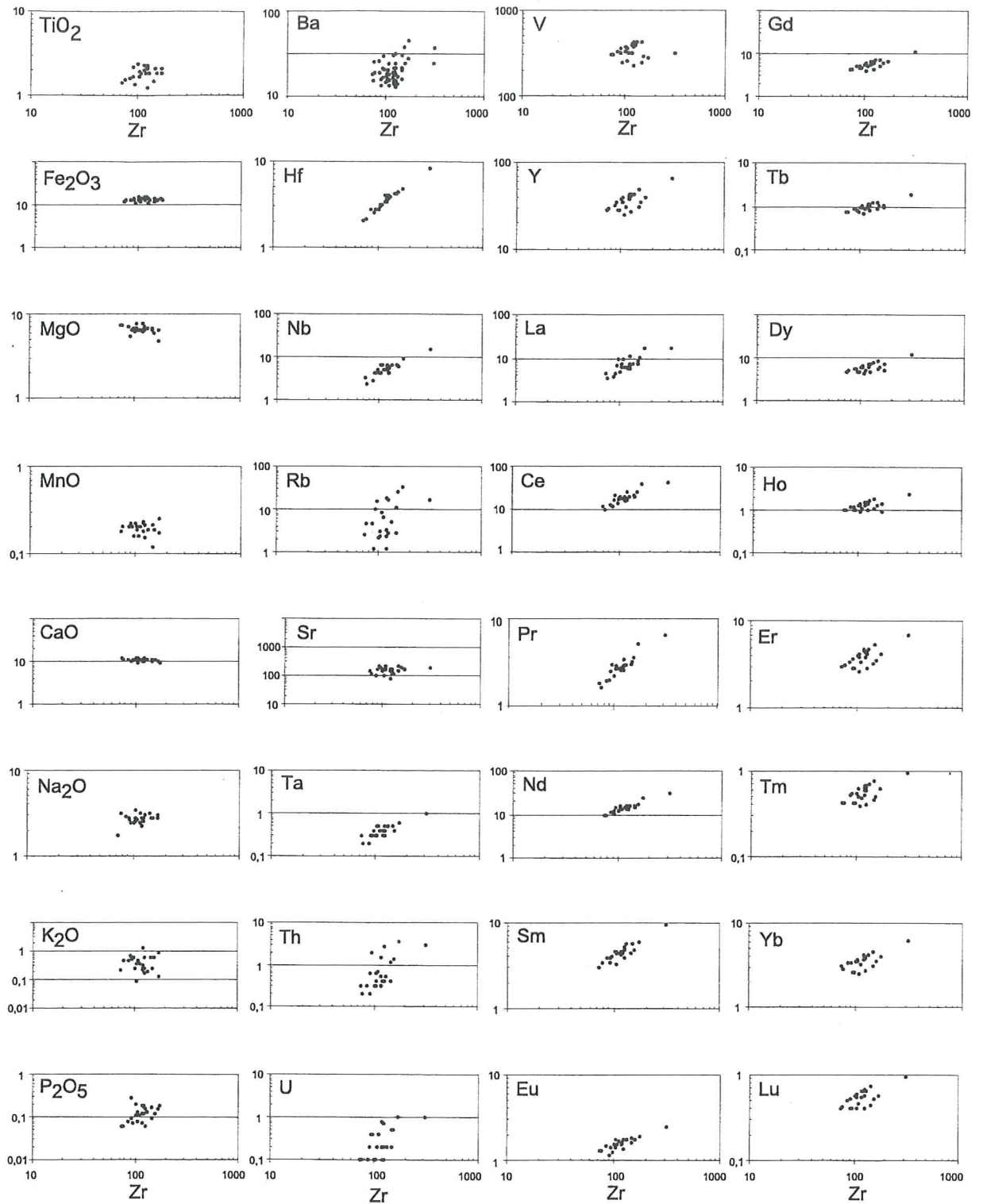
Tolkning av analysresultaten

Halterna av Na_2O , CaO och Al_2O_3 tyder ej på att de analyserade proverna har utsatts för hydrotermal omvandling. Generellt uppvisar variationsdiagrammen mot Zr (Fig. 22) dock inte lika tydliga trender som proven från Sylarna. Diagrammen för K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO visar större spridning och en antydning till två trender. Detta återspeglar att två grupper existerar, se nedan. Spårelementdiagrammen visar också svag trend med positiv lutning undantaget diagrammen för Ba, Rb, Th, U, Er, Tm, Yb, Lu.

Klassificering och magmakälla

Halterna av K_2O och TiO_2 i Tabell 2 (appendix) tyder på två grupper: AP1-13 samt AP15-25. I klassificeringsdiagram av Floyd och Winchester (1975, -76) (Fig. 11) samt Pearce och Cann (1973) (Fig. 12) visas att huvuddelen av amfiboliten i Kebnekaise har en toleitisk sammansättning.

Även normaliseringsdiagrammen (Fig. 14, 15, 16, 17) visar att proven från Kebne Gångkomplex består av två grupper. Den ena är anrikad på inkompatibla spårelement i förhållande till en normal MORB, den andra är endast svagt anrikad samt fraktionerad. Två prover (3, 26) avviker så kraftigt från övriga prover att de uteslutes ur alla diagram undantaget diskrimineringsdiagrammen. Det MORB-normaliserade diagrammet (14: a4) innehåller tråg för Nb samt svaga tråg för Sr och P. Tydliga toppar syns för Ba och delvis för K. Diagram 3 visar tråg för P och svaga tråg för K och Sr men tydliga toppar för Ba. Diagram 4 i figur 14b normaliseras mot primitiv mantel och innehåller tråg för Nb, Ta, Sr och P samt toppar för Th och K. Diagram 3 i figur 14b innehåller endast tydliga tråg för; Th, Sr, P och delvis K. Figur 15 visar normalisering mot kondrit. Diagram 4 innehåller tråg för Th, Sr och P samt en tendens till tråg för Nb-Ta. Toppar för Rb och K. Diagram 3 har tråg för Sr och P men toppar för K.



Figur 22. Kebnekaises huvudelement (22a) och spårelement (22b-d) plottade mot Zr. Några element (Ba, Rb, Th) visar stor spridning.

I figur 16: (a2; 3 b2, 3) jämförs Kebnekaises basalter med normal och anrikad MORB samt med oceanöbasalter. Diagram 16: a2, b2 visar den grupp som är svagt anrikad i förhållande till N-MORB. 16: a3, b3 innehåller den grupp som är anrikad i förhållande till N-MORB.

I fråga om de sällsynta jordartsmetallerna (figur 17:2-4) visar huvuddelen av Kebnekaises prover flackt variation och parallellt mönster.

Pearce variationsdiagram som bygger på förhållandena Th/Yb och Ta/Yb (Fig. 19) uppdelar Kebnekaises prover i två distinkta grupper. Den ena gruppen hamnar inom området för en normalt anrikad MORB, den andra faller under linjen för normal mantelanrikning vilket tyder på att fraktionering skett. Diagrammet visar att inte heller proven från Kebnekaise har blivit utsatt för kontaminering av kontinental skorpa.

Magmatismens plattetektoniska miljö

I Pearce och Cann (1973) Ti-Zr-diagram (Fig. 20a) plottar proven från Kebnekaise liksom Sylarna till huvuddelen inom fält D (MORB). Kebnekaiseproven uppdelas dock i två distinkta grupper. Den ena gruppen har ett relativt högt Ti-innehåll och ligger därför i den övre vänstra kanten av fält D, den andra gruppen har ett lågt Ti-innehåll och plottar i den högra delen av fält D.

I Ti-Zr-Y-diagramet (Fig. 20b) faller proven från Kebne Gångkomplex till största delen inom samma fält som Sylarna (B=MORB, öbågetoleiter och kalkalkalina basalter) men några prov faller inom fältet för kalkalkalina basalter och ett prov plottar inom fältet för within-plate basalter. 3 prov (AP4, 10, 13) visar starkare anrikning och 3 prov svagare (AP5, 6, 25) I Ti-Zr-Sr-diagrammet (Fig. 20c) hamnar proven i samma fält som Sylarnas oceanbottenbasalter, men Kebnekaises prover har en högre Ti-halt och faller därför åtskilda från Sylarnas. Proven från Kebnekaise faller inom fältet för within plate basalt och MORB, några prov faller i fältet för öbågebasalter.

I Shervais (1982) diagram (Fig. 21a) faller proven från Kebnekaise inom samma Ti/V-intervall som

Sylarna (20-50), dvs. N-MORB. Diskrimineringsdiagrammet som bygger på de immobila elementen Th, Hf, Ta (Wood 1980) (Fig. 21b) visar ett spritt resultat av analysen från Kebnekaise. Proven plottar i ett utdraget band från fält A (MORB N-typ) till D (öbåge basalt). Huvuddelen av proven finns dock inom fält A.

Diskussion

Sammanfattande jämförelse av analysresultat från amfiboliten i Sylarna och Kebnekaise

Det generella analysresultatet från Sylarna och Kebnekaise visar på oceanbottenbasalter och MORB. Sylarnaamfiboliten har en toleitisk sammansättning och är anrikad på inkompatibla spårelement (lätta REE) jämfört med en normalt anrikad MORB. Kebnekaises prover har en toleitisk sammansättning och är svagt anrikad på inkompatibla spårelement jämfört med en normal MORB. Vissa av proven visar tecken på fraktionering. Sylarnaamfiboliten innehåller tydliga spår av spilitisering, exempel på detta är ett högt natriuminnehåll som följs av låga värden för kalcium och aluminium. Proven från Kebnekaise innehåller endast svaga tecken på spilitisering.

Enligt diskrimineringsdiagrammen för plattetektoniska miljöer härrör Sylarnaamfiboliten från E-MORB eller oceanömiljö. Några av Kebnekaiseproverna visar en något anrikad MORB-miljö men huvuddelen avviker markant från Sylarnaproverna genom trågen för Nb-Ta. Detta tecken på en subduktionsmiljö för Kebnekaisemagman är svårtolkat med hänsyn till att det inte lär ha funnits några öbågar i närheten av Baltica när kontinenten sprack upp och det första havet öppnades.

Klassifikationsdiagrammen visar att proverna från Sylarna och Kebnekaise skiljer sig åt i halterna av Th, Nb och Zr (Figur 11-12, 19). Dessa element uppträder inkompatibelt vid partiell uppsmältning i manteln. Partiell uppsmältning av mantelns övre del har med tiden utarmat denna på dessa

inkompatibla element och de har därför lägre halter i MORB jämfört med de djupare mantelkällorna, som t.ex. oceanbottenbasalterna (OIB) kommer från. Att Sylarnas basalter är mer anrikade på Th, Nb och Zr skulle kunna bero på kontaminering på vägen upp genom den kontinentala jordskorpan men testen enligt figur 19 och ett Th/Nb-värde på 0.02 visar att så inte är fallet. Sylarnaamfiboliten härstammar från en djupare och något anrikad mantelkälla. Kebnekaises prover visar på en grundare källa under en normalt utarmad MORB. För att mer säkert påvisa detta krävs isotopkemisk analys.

Sylarnas amfibolitkomplex provtogs av Solyom et al. (1979) i Ekorrdörren och Templet (Fig. 8), sydöstliga delen av massivet. Amfiboliten är här finkornig vilket avspeglas i analysens homogena och tydliga trender. Under fältarbetet konstaterades att Sylarnamassivet är uppbyggt av tre typer av amfibolit; finkornig, porfyrisk och homogen. En provtagning av alla amfibolityperna hade kanske givit större variation på proven.

Skollornas ursprungsmiljö

Strömberg (1969; se även Solyom et al. 1979) föreslog ett ursprungligt stratigrafiskt samband mellan Sylarnas amfibolit och svärmarna av diabasgångar i den underlagrande Mellersta Alloktionen, där diabasgångarna skulle ha utgjort matargångar till den vulkanism som Sylarnas amfibolitkomplex ansågs representera. Eftersom denna studie visar, att en skolla av kalkbiotitfyllit (Ekorrdörrenskollan) kommer närmast under Sylarnaamfiboliten, är ett direkt stratigrafiska samband med diabasgångarna mindre tydligt. De gångar av diabas som genomslår kalkbiotitfylliten kan dock motsvara gångarna i Mellersta Alloktion.

Vidare tolkar denna studie Sylarnakomplexet som en gabbro genomsatt av gångar samt med plagioklasgranit och ultramafiska bergarter, dvs. som ett fragment av oceanbotten. I diabasgångarna i Mellersta Alloktion förekommer alluviala och grundmarina sandstenar, d.v.s. helt inom kontinentkanten. Diabasgångarna och amfibolitkomplex kan ju likväl tillhöra samma riftmagmatiska händelse.

Undersökningsområdets *metasandsten* utgjorde från början sediment som avsatts nära kusten i drunknande landområden och riftbassänger. Detta innebär att delar av Blåhammarfjällets-kollan, Helagsfjällets-kollan, Snasahögarnaskollan och Ekorrdörrenskollan härstammar från samma område. Snasahögarnaskollans gnejs har som konstaterats ovan sitt ursprung i den passiva kontinentkanten och amfiboliten i Blåhammarfjällets-kollan representerar Ægirhavets krusta. I undersökningsområdet överlagras dock Snasahögarnaskollan Blåhammarfjällets-kollan, hur är detta möjligt? Gnejsen i Snasahögarnaskollan har en betydligt högre metamorf grad än den underliggande Blåhammarfjällets-kollan. Om gnejsen i Snasahögarnaskollan slets loss i ett mycket sent skede av över-skjutningen kan den ha överskjutits efter Blåhammarfjällets-kollan och således hamnat ovanpå. Den andra förklaringen är en s.k. *out-of-sequence thrusting*, vilket innebär att den kontinentala gnejsen följer en förkastning genom Blåhammarfjällets-kollans bergarter och hamnar ovanpå dem. Helagsfjällets-kollan har en mycket högre metamorf grad än Ekorrdörrenskollan och kontakten mellan skollorna är mycket skarp (Fig. 23). Det mest troliga är därför att gnejsen transporterats som en egen skolla enligt ovan.



Figur 23. Kontakten mellan Helagsfjällets kollans gnejser och den underlagrande kalkbiotitfylliten i Ekorrdörrenskollan, Helagsfjällets sydöstra hörn. Gnejserna stupar här 20° mot väst. Vid kontakten uppträder granater i gnejsen, de är dock mycket små. Gnejsens kvartsådror och neosom har dragits ut i överskjutningsriktningen.

Revision av tidigare kartor

Ett mål med fältarbetet var att reda ut förhållandet mellan amfiboliten i Sylarna och Blåhammarfjällets kollan. Amfiboliten i båda områdena har likartat utseende och i anslutning till dem uppträder gångar och linser av plagioklasgranit, sulfidmineraliseringar samt sliror av epidot. Synlig tektonisk kontakt saknas och amfiboliten i Sylarna antas därför ingå i Blåhammarfjällets kollan.

Blåhammarfjällets kollans bergarter är bort-eroderade i Ekorrdörren sydost om Sylarna, vilket medför att Ekorrdörren avskiljs från resten av Blåhammarfjällets kollan och underlagrande kalkbiotitfyllit blottas. I Ekorrdörren förekommer flera bevis för att amfiboliten i Sylarna och därmed Blåhammarfjällets kollan tektonostratigrafiskt överlagrar kalkbiotitfylliten. Längs Sylarnamassivets sydsida finns en kontakt mellan de två skollorna som präglas av fyllonit, cs-cleavage och tillväxt av aktinolit. Foliationen i den östra delen av Ekorrdörren har roterats in mot den basala överskjutningen, detta är ett vanligt fenomen vid sulan av en skolla. Av dessa anledningar definieras den underlagrande kalk-

biotitfylliten som en egen skolla, *Ekorrdörrenskollan*. Dalen öster om Ekorrdörren innehåller mäktiga avlagringar av kvartärt material. Terrängen består av kalkbiotitfyllitblock och ett fåtal fasta hällar av kalkbiotitfyllit. Ett undantag utgör området sydost om Ekorrdörren som istället domineras av amfibolitblock. Dessa block kan vara rasmaterial från Ekorrdörren eller resterna av en vägg.

Lokalt i Sylarnaområdet uppträder Blåhammarfjällets kollans amfibolit tektoniskt varvad med kalkbiotitfyllit eller plagioklasgranit. Den tektoniska varvningen med kalkbiotitfyllit stupar flackt och markerar skollans basala överskjutning, det finns dock ett undantag i Ekorrdörren där lager veckats upp i Blåhammarfjällets kollan och därmed fått en brantare stupning (30° åt öst). Kalkbiotitfylliten genomslås av gångar av diabas, dessa intruderade antagligen i de bassänger som uppkom vid riftningen som föregick Iapetushavets öppning. Den tektoniska varvningen bildades vid överskjutningen av Blåhammarfjällets kollan då flak av amfibolit skjövades in i Ekorrdörrenskollans

översta del. I enheten ingår klorit och små nålar av aktinolit. Aktinolit har vuxit efter det att deformationsrörelsen avstannat. Detta medför att kornen tillväxer åt alla möjliga håll. Plagioklasgraniten har transporterats med Blåhammarfjällets kollan under överskjutningen och varvats tektoniskt med denna.

Fältarbetet innebar en revision av SGU:s länskarta i undersökningsområdet. Den Mellersta Alloktonen har för stor utbredning på kartan. Skarvarnakomplexets bergarter har däremot för liten utbredning. Sylarnas kontakt mot den Mellersta Alloktonen markeras ej av en mylonitrand. Sylarna ligger inte heller tektonostratigrafiskt under Blåhammarfjällets kollan och metasandstenen. Sylarnaamfibolit har en för stor utbredning öster om Ekorrhörren. På länskartan är Seveskollans basala kontakt felaktigt markerad mellan Sylarna och Blåhammarfjället.

Sylarnaamfiboliten utgör enligt länskartan en egen skolla inom Sevens skollkomplex och en kontakt mot Blåhammarfjällets kollan skall finnas i Sylälven norr om Sylarna i höjd med sjön Långtjärn. Under fältarbetet uppmättes den generella stupningen i kontaktområdet till cirka 20° åt nordost. Älven utgör inte en kontakt mellan två skollorna utan skär igenom Blåhammarfjällets kollans bergarter och blottar den underlagrande kalkbiotitfylliten.

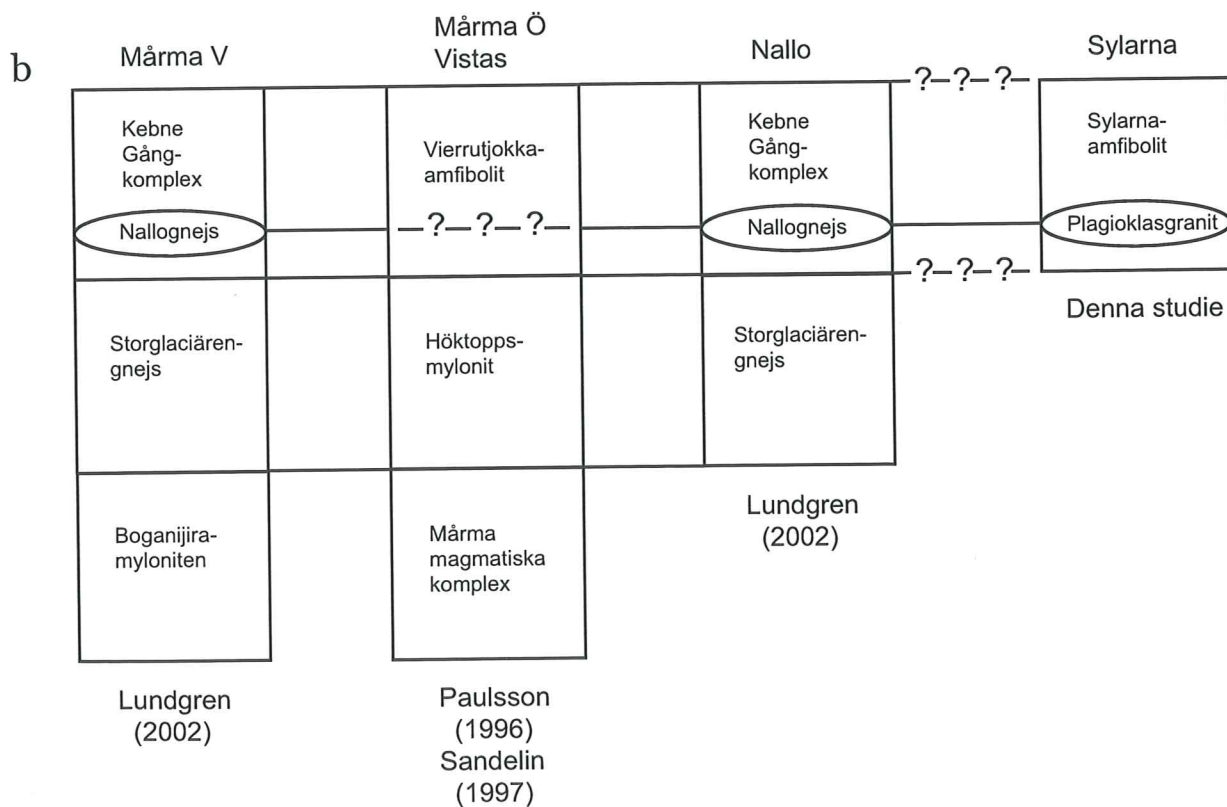
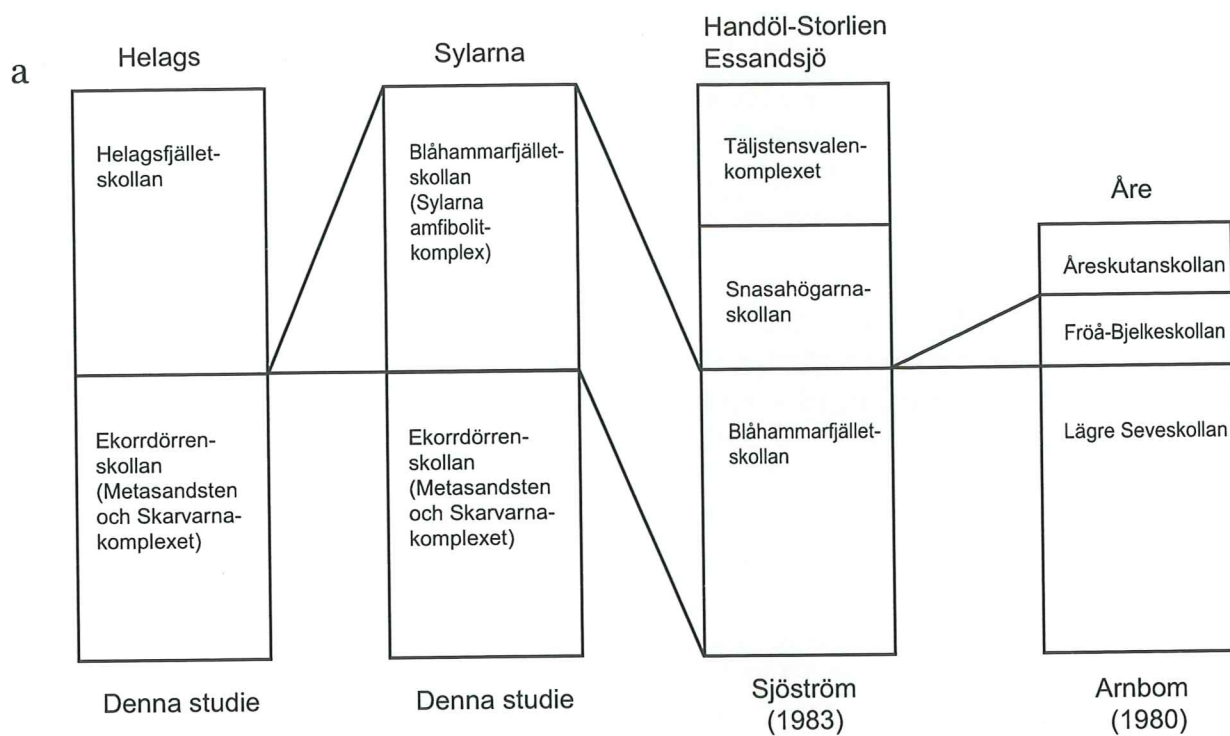
Tektonostratigrafisk korrelation med angränsande områden och Kebnekaise (Fig. 24a, b)

Söderut kan amfiboliten i Sylarna korreleras med Ramundbergets amfibolit (Hill 1980). Denna amfibolit är mer påverkad av sekundära processer och starkt spilitiserad. Ramundberget innehåller även en betydande mineralisering och större kroppar av ren epidotit.

Fältarbetsområdet innehåller två betydande gnejskomplex: Helagsfjällets kollan och Snasahögarnaskollan. *Helagsfjällets kollans* gnejs vittnar främst om ett sedimentärt ursprung. Gnejsen är kraftigt metamorfoserad och innehåller, linser av kalksilikatgnejs, kalkbankar samt biotitliror. I närheten av den basala överskjut-

ningen förekommer lokalt migmatisering och kvartsutsvettningar. *Snasahögarnaskollan* gnejs är kompakt, i enheten ingår intrusioner av granitiskt material. *Åreskutan* innehåller två typer av gnejs som är knutna till den övre respektive nedre delen av berget. Enheten har en hög metamorf grad som avspeglas i förekomsten av grövre migmatiter. I länskartan korrelerades Helagsfjället med den övre delen av Åreskutan. Denna slutsats dras dock inte i detta arbete. Gnejsen i den övre delen av Åreskutan är underst delvis lik Helagsfjällets kollan men Åreskutan har en betydligt högre metamorfa grad. Gnejsen i den undre delen av Åreskutan påminner om gnejsen i Blåhammarfjällets kollan. Det är troligt att gnejserna har ett likartat ursprung men den metamorfa graden och gnejsernas utseende tyder på olik händelse-förlopp.

Även om amfibolitkomplexen i Sylarna och Kebnekaise har stora likheter i fråga om litologi och vissa likheter i fråga om geokemi, så blir en tektonostratigrafisk korrelation mellan områdena mycket osäker, med hänsyn till det stora avståndet (600 km). Dessutom är de enheter som förekommer närmast under respektive över amfibolitkomplexen i de två områdena påtagligt olika (figur 23). I Kebnekaise underlagras amfiboliten av en gnejs, som utsatts för kaledonisk högtrycksmetamorfos. I Sylarnaområdet underlagras en lågmetamorf fyllit. I Kebnekaise förekommer amfibolitkomplexet på hög nivå i Sevekomplexet och endast en tunn skolla skiljer det från Kölikomplexet. I Jämtland förekommer mäktiga linser av gnejs (Helagsfjällets kollan, Snasahögarnaskollan) mellan amfibolitkomplexet och Kölin.



Figur 24. Korrelation mellan amfibolitkomplexen i Sylarna, Kebnekaise och angränsande områden. a) Korrelationen inom undersökningsområdet. b) Korrelation mellan Sylarna och Kebnekaise.

Slutsatser

1. Sylarnas amfibolitkomplex tillhör Blåhammarfjällets kollan.
2. Enheten med kalkbiotitfyllit och Skarvarnakomplexet urskiljes som en självständig skolla, Ekorrdörrenskollan, som underlagrar Blåhammarfjällets kollan. Tidigare tolkning att diabasgångarna i Mellersta Alloktion är matargångar till Sylarnakomplexet stöds inte av detta arbete.
3. Sylarnas och Kebnekaises amfibolitkomplex har följande litologiska likheter:
 - De består av en grövre grå och en finkornig svart amfibolit med skarpa gränser (ibland uppträder en porfyrisk variant); troligen ursprungligen en gabbro intruderad av diabasgångar.
 - Plagioklasgraniter
 - Ultramafiter
 - Hydrotermal omvandling (sulfid-mineralisering; epidotisering)
4. Geokemiska likheter och olikheter
 - Varken Sylarna eller Kebnekaise tycks vara kontaminerade av kontinental jordskorpa.
 - Sylarnaamfiboliten är toleitisk i sin sammansättning och starkt anrikad på inkompatibla spårelement och lätta sällsynta jordartsmetaller i förhållande till en normal MORB.
 - Kebnekaises prover är toleitiska och svagt anrikade på inkompatibla spårelement i förhållande till en normal MORB. Proverna fördelar sig i två grupper. En del prov visar tråg för Nb-Ta.

Tack

Jag vill främst tacka mina handledare: Per-Gunnar Andréasson för all hjälp under en trevlig men intensiv tid och Zoltan Solyom, som gett mig konstruktiv kritik och en större förståelse för geokemin och dess analysmetoder. Tack Juliusz Sandecki för din hjälp med malmgeologin. Oskar Paulsson, stort tack för allmänna synpunkter på mitt arbete och ditt tålamod med programmet minpet. Anders Lindh tack för att du alltid är närvarande med en hjälpande hand. Tack Gert Pettersson för att du gjort datorns komplicerade värld nästintill begriplig. Jag vill också nämna Bo Oscarsson som informerade mig om gruvdriften i undersökningsområdet. En puss till Daniel.

Referenser

- Andréasson, P.G. and Gee, D.G., 1989. Bedrock geology and morphology of the Tarfala area, Kebnekaise Mts. *Geografiska Annaler*, **71A**, 235-239.
- Bakke, I., 1977 *STUGUSJØ, BERGGRUNNS-GEOLOGISK KART 1720 i - 1:50 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Bergman, S., 1993. *Caledonian Evolution of Köli and Seve Rocks in the Handöl Area, West Central Sweden*. Unpubl. doctoral dissertation, Uppsala University.
- Bergman, S. and Sjöström, H., 1997. Accretion and lateral extension in an orogenic wedge: evidence from a segment of the Seve-Köli terrane boundary, central Scandinavian Caledonides. *Journal of Structural Geology*, **19**, 1073-1091.
- Boman, D., 2001. *Tektonostratigrafi och deformationsrelaterad metamorfos i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna*. Examensarbeten vid Lunds universitet Nr 147.
- Floyd, P. A. and Winchester, J. A., 1975. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth and Planetary Science Letters* **27**, 211-218.
- Goerke, U., 1993. *Geologische Untersuchungen im südlichen Kebnekaise-Gebiet, Tarfala, in den Skandinavischen Kaledoniden, Nord-Schweden*. Diploma Arbeit, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg.

- Hill, T., 1980. Geochemistry of the Greenschists in Relation to the Cu-Fe Deposit in the Ramundberget Area, Central Swedish Caledonides. *Norges Geologiske Undersøkelse* **360**, 195-210.
- Irvine, T.N. and Baragar, R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, **8**, 523-548.
- Lundgren, A., 2002. *Seveskollorna i nordöstra Kebnekaise, Kaledoniderna: metabasiter, graniter, ögongnejser*. Examensarbeten vid Lunds universitet Nr 152.
- Lundqvist, T. et al., 1996. *Bedrock map of Central Fennoscandia. Scale 1:1 000 000*. Geological Surveys of Finland (Espoo), Norway (Trondheim) and Sweden (Uppsala).
- Nilsen, O. Wolff, F.C., 1989 *Geologisk kart over Norge, berggrunnskart RØROS & SVEG - 1: 250 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Nilsson, P., 1992. *Caledonian geology of the Ladstjovaggi valley, Kebnekaise Area, northern Swedish Caledonides*. Examensarbeten vid Lunds universitet Nr 43.
- Oscarsson, B., 1994. *Åre kommun och fritidsguide*, 20-21.
- Page, L.M., 1993. Tectonostratigraphy and Caledonian structure of the Singis-Tjuoltajaure area, central Norrbotten Caledonides, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* **115**, 165-180.
- Paulsson, O., 1996. *Sevekomplexets utbredning i norra Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna*. Examensarbeten vid Lunds universitet Nr 80.
- Paulsson, O. and Andréasson, P.G., 2002. Attempted break-up of Rodinia at 850 Ma: geochronological evidence from the Seve-Kalak Superterrane, Scandinavian Caledonides. *Journal of the Geological Society of London*, **159**, 751-761.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, **19**, 290-300.
- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **69**, 33-47.
- Sandelin, S., 1997. *Tektonostratigrafi och protoliter i Mårma-Vistasområdet, Kebnekaise, Skandinaviska Kaledoniderna*. Examensarbeten vid Lunds universitet Nr 81.
- Shervais, J.W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, **57**, 101-118.
- Sjöstrand T., 1999. Berggrundskartan 19C Storlien SO, skala 1:50 000. *Sveriges Geologiska Undersökning Ai* **109**.
- Sjöström, H., 1983. The Seve-Köli Nappe Complex of the Handöl-Storlien-Essandsjøen area, Scandinavian Caledonides. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* **105**, 1-26.
- Solyom, Z., Andréasson, P.G. and Johansson, I., 1979. Geochemistry of amphibolites from Mt. Sylarna, Central Scandinavian Caledonides. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, **101**, 17-27.
- Solyom, Z., Andréasson, P.G. and Johansson, I., 1984. Petrochemistry of Late Proterozoic rift volcanism in Scandinavia. 1: The Blekinge-Dalarna Dolerites (BDD) -volcanism in a failed arm of Iapetus? *Lund Publications in Geology* **23**, pp 56.
- Stephens, M. B., 1986. Metallogeny of Stratabound Sulphide Deposits in the Central Scandinavian Caledonides. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca* **60**, 5-17.
- Strömberg, A.G.B., Karis, L., Zachrisson, E., Sjöstrand, T. and Skoglund, R., 1984. Karta över berggrunden i Jämtlands län utom förutvarande Fjällsjö socken (skala 1:200 000). *Sveriges Geologiska Undersökning Ser Ca*, **53**.
- Strömberg, A. G. B., 1969. Initial Caledonian magmatism in Jämtland Area, Sweden. In: *North Atlantic - geology and continental drift*. American Association of Petroleum Geologists Memoir **12**, 375-387.
- Sun, S. S., 1980. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* **297**, 409-445.
- McDonough, W. F., Sun, S. S., Ringwood, A. E., Jagoutz, E and Hofmann, A. W., 1992. Potassium, rubidium, and cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica and Cosmochimica Acta* **56**, 1001-1012.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and

processes. In: *Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes* (A.D. Saunders and M.J. Norry ed.), pp. 313-345. Geological Society of London Special Publications, pp. 313-345.

Sveriges Nationalatlas. Bra Böcker, Höganäs, 1994.

Winchester, J. A. and Floyd, J. A., 1976. Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth and Planetary Science letters* **17**, 1740-1745.

Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Chapman & Hall, London, 466 pp.

Wood, D.A., Joron, J.L. and Treuil, M., 1979. A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science letters*, **45**, 326-336.

Zachrisson, E., 1980. Aspects of stratabound base metal mineralization in the Swedish Caledonides. *Geological Survey of Ireland Special Paper*, **5**, 47-61.

Zachrisson, E., 1986. Scandinavian Caledonides: Stratabound sulphide deposits (map). *Sveriges Geologiska Undersökning Ba 42*, Uppsala.

Appendix

Geokemiskt analysarbete

Provberedning

Samtliga prov förbereddes för kemisk analys i Lund. Vid preparering av bergartspulvret användes en stentugg och en skivsvängkvarn med speciellt malfat. Materialet i malfatet består av hårdmetall, volframkarbid (WC). Malfatet innehåller förutom volfram (W) och kol (C) även små mängder kobolt (Co), bergartspulvret kontamineras därför av dessa grundämnen under malningen. Därför bör man inte använda volfram och kobolt vid tolkning av geokemiska processer.

Tidigare analyser

Huvudelementen i de 22 proverna från Sylarna (Solyom et al. 1979) bestämdes med röntgenfluorescens, atomabsorption, spektrofotometri och gravimetri. Spårelementen Rb, Y, Sr, Zr och Nb analyserades med röntgenfluorescens. En kort beskrivning av dessa metoder samt bedömning av kvaliteten hos analysarbetet på laboratoriet återfinns i appendix 2 i Solyom et al. 1984.

Nya analyser

Det befintliga analysmaterialet från Sylarna kompletterades med ytterligare spårelement som även inkluderar hela gruppen av REE. Analyserna på dessa 22 prov och 25 från Kebnekaise utfördes i Kanada.

ICP-OES

Laboratoriet i Kanada tillämpar flera metoder vid analys av geologiskt material. Huvud- och spårelementen Cr, Ni, Ba och Sc analyseras med ICP-OES. LOI bestämdes gravimetriskt medan kol (C) och svavel (S) mätes med en Leco-analysator. Totalt analyseras 17 komponenter och dessa kan beställas som Group 4A.

4A kompletteras med 13 andra komponenter genom Group 1DX analys. I denna rutin använder man kungsvatten för urlakning av metaller ur det geologiska provet. Lösningen analyseras sedan med ICP-OES. Av dessa 13 komponenter är det egentligen bara Cu, Pb, Zn och Ni som är av

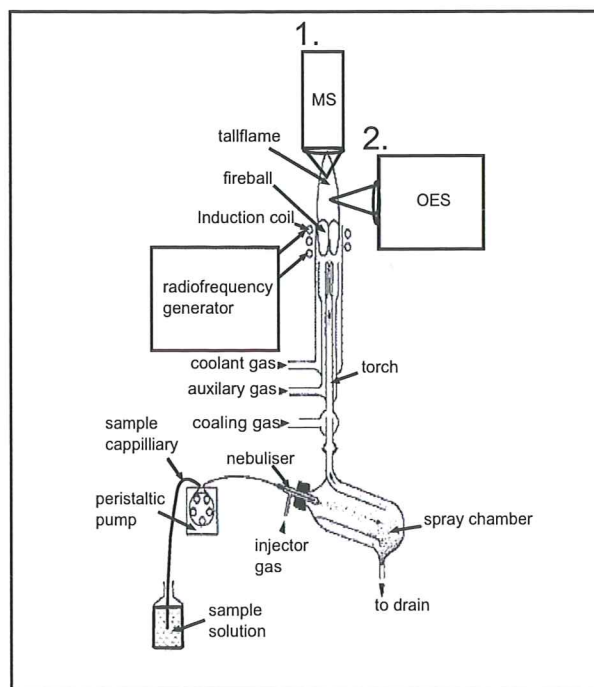
geologiskt intresse för vidare utvärdering. Man bör dock absolut hålla i minnet att silikaterna inte löses upp vid urlakningsproceduren av denna anledning bör man vara försiktig vid tolkningen dessa analysdata. Group 1DX är egentligen avsedd för analys av prov i samband med prospektering.

ICP-MS

Majoriteten av spårelementen analyseras med ICP-MS. Rutinen refereras som Group 4B hos Acme och omfattar 29 komponenter.

Preparering för instrumentell körning. - För både ICP-OES och ICP-MS uppsluter man bergartspulvret med hjälp av ett flussmedel. I denna procedur blandas pulvret med litiummetaborat och smältes vid 1100 °C grader i en grafitdegel varvid alla mineral uppslutes kvantitativt. Glaspärlan löses sedan i utspädd salpetersyra och lösningen spädes till lämplig volym för analys med respektive metod.

Grundprincip för ICP-tekniken.



Figur 1. Principskiss över den utrustning som används vid ICP-analys.

1 utrustning som används för ICP-MS.

2 utrustning som används för ICP-OES.

1. Induktivt-Kopplad-Plasma med (Quadropol) Mass-Spektrometri förkortat som ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).

2. Induktivt-Kopplad-Plasma med Optisk-Emission-Spektrometri förkortat som ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry).

Båda ICP-metoderna är mycket effektiva multielementmetoder ty de har förmågan att kunna analysera många komponenter på kort tid. ICP-OES används företrädesvis för analys av huvud- och makrospårelement medan ICP-MS är nästan uteslutande för mikrospårelement och då inte minst för analys av REE. Detta på grund av ICP-MS-teknikens mycket höga känslighet och låga detekteringsgränser. Nedan redogörs kortfattat principerna för dessa två analysmetoder.

1. I ett radiofrekvensfält "brinner" en strömmande argongas som utgör "plasman" och når en temperatur upp till 10000 °C. Plasman besitter således hög värmeenergi. Provlösningen pumpas in och blandas med argongas i en "spray chamber" och finfördelas där till en aerosol. Aerosolen införs sedan i den heta plasman varvid i provet ingående grundämnena både exciteras och joniseras.

2. När atomerna återgår till grundtillståndet avger dessa olika karakteristiska våglängder. I den optiska spektrometern separeras ("delas upp") det inkommande polykromatiska ljuset av ett gitter som reflekterar det karakteristiska monokromatiska ljuset mot en detektor som mäter ljusets intensitet. Våglängdens intensitet är beroende av halten och används för kvantifiering av komponenten. Tekniken kallas för ICP-OES, alternativ 2 i figur 1.

3. Ett grundämne består av en eller flera isotoper där massan av isotoper varierar. Exempelvis består grundämnet Rb med atomnummer 37 av två isotoper med olika masstal. Ett med 85 (37 protoner + 48 neutroner) och ett med 87 (38 protoner + 50 neutroner). Den procentuella fördelningen mellan 85Rb och 87Rb är 72.15 till 27.85.

I ICP-MS utnyttjas den delen av atomerna som har joniserats av plasmans energi dvs de positivt laddade. Således föreligger en del av Rb i plasman som positiva joner 85Rb+ respektive 87Rb+. Jonerna leds via ett interface in i masspektrometer - tjänar som ett "massfilter" - där man varierar ett magnet eller/och elektriskt fält som gör att isotoperna sorteras efter deras förhållande massa/laddning (m/z), alternativ 1 i figur 1.

Analysresultatens tillförlitlighet.

Tabell 5 erbjuder möjlighet till bedömning av kvaliteten hos analysdata för serierna A1-A22 (Sylarna) respektive AP1-AP26 (Kebnekaise). I båda analysserierna ingick hemmastandarden SB - en basalt från Rallaté - som okänt prov (A23 och AP14) för kvalitetskontroll.

Precisionen dvs hur bra hela analysproceduren - uppslutning + preparering för instrumentell körning + analys med ICP-OES respektive ICP-MS - förmår att upprepa, reproducera mätningarna på samma objekt under en längre tidsperiod återspeglas i spalterna **SB (alla acme) ±1s**. Här representerar ±1s spridningen av data kring medelvärdet \bar{x} för komponenter som har analyserats på SB hos Acme. Man kan också uttrycka precisionen i procent och då som variationskoefficient CV ($s^*/100/\bar{x}$). Acme testar precisionen under hela analyssekvensen genom RE-analys av prov i bestämda intervall (se RE-A10 och RE-AP10 i tabellerna 2 och 3). Det är värt att påpeka att statistiken i spalterna SB (alla acme) i tabell 5 grundar sig på analyser utförda under en tidsperiod på ca 3 år.

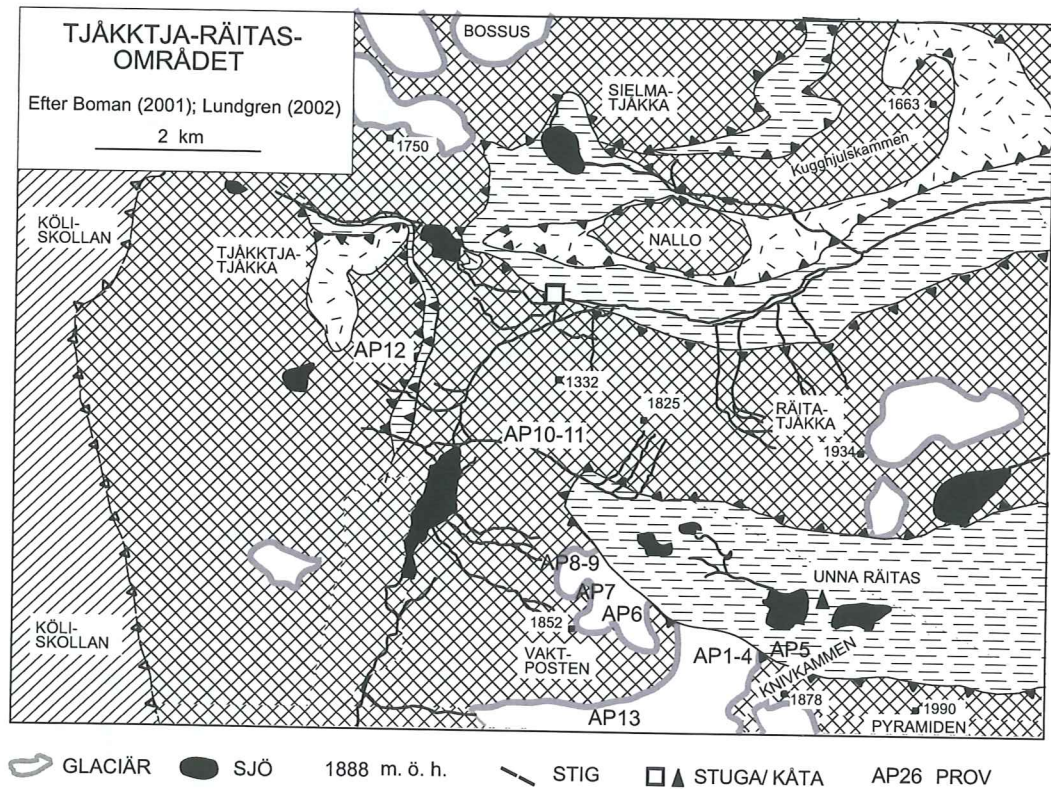
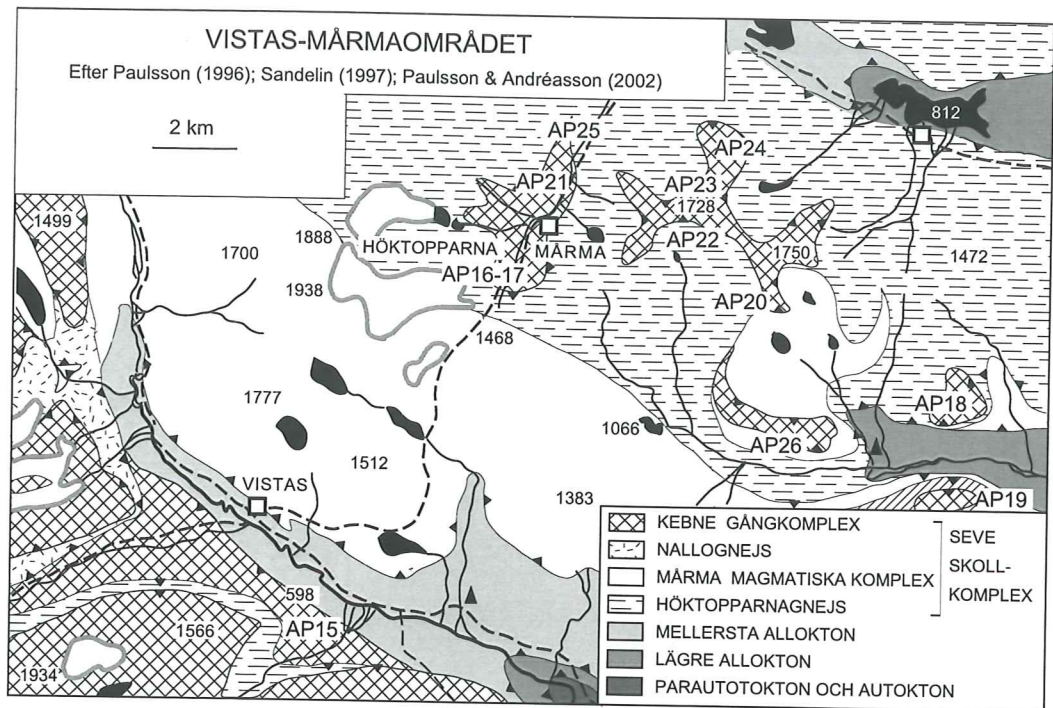
Märk väl att en liten spridning (hög precision) för en komponent betyder inte att analysen är korrekt och användbar. Det gäller också att det erhållna resultatet ligger så nära det "sanna, riktiga" värdet som möjligt. Med andra ord, mätvärdet får inte vara behäftat med ett systematiskt fel.

Spalterna för **SB (olika laboratorier)** visar statistiken över alla tillgängliga data erhållna i det egna och i andra laboratorier där man har tillämpat olika analysmetoder vid analysen. \bar{x} representerar medelvärdet av halten för komponenten och ±1s är spridningen kring detta medelvärde. Eftersom antalet analyser för varje komponent är relativt stort

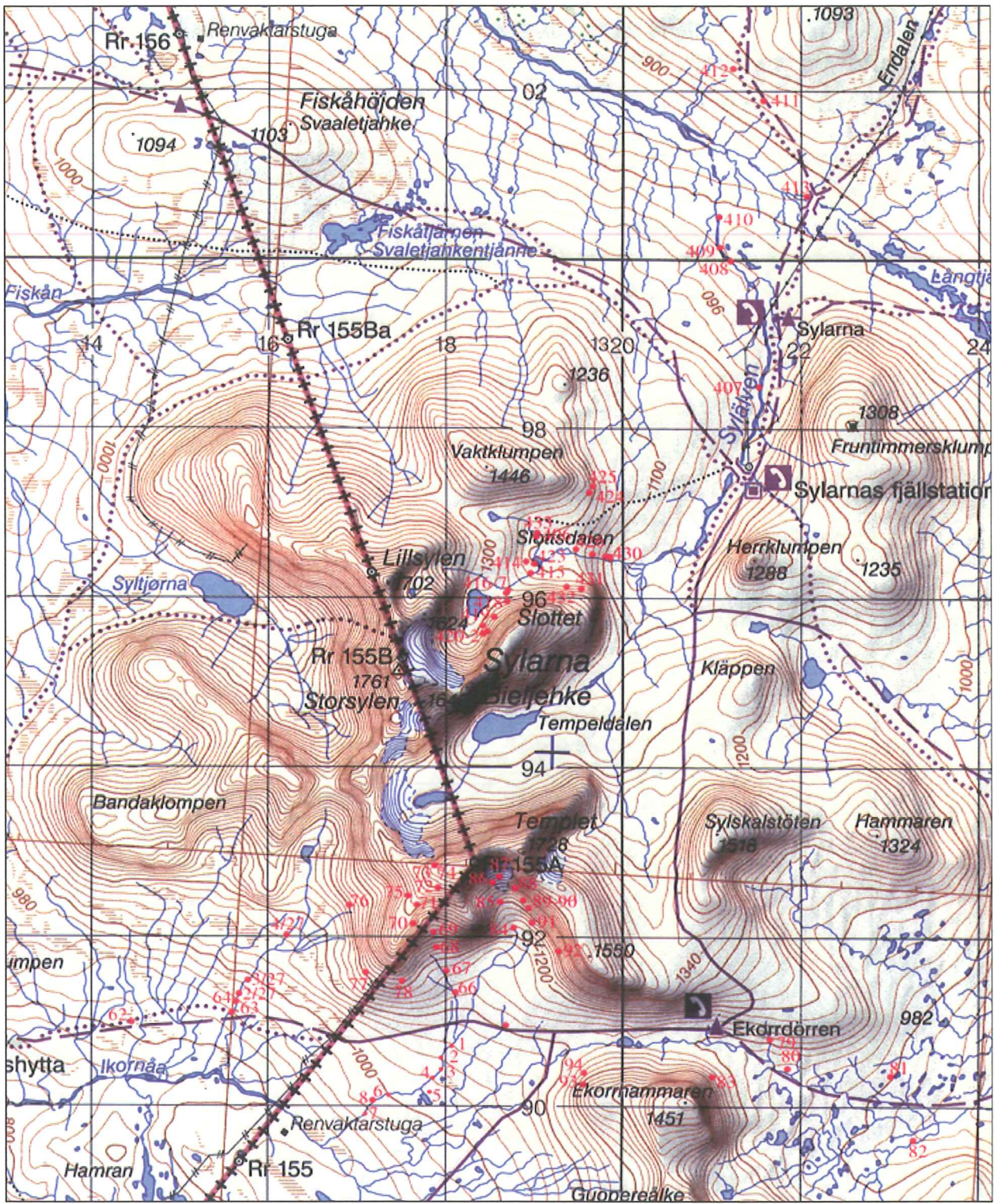
kan man anta att halterna i intervallet $x \pm 1s$ ligger ganska nära det "riktiga, sanna" värdet. Ett sådant värde kan "rekommenderas" för test av en methods träffsäkerhet, noggrannhet.

Om man nu jämför de erhållna, nya analysvärdena för SB(A23) och SB(AP14) med de nyss föreslagna "riktiga, sanna" medelvärdena kan man få en uppfattning om hur träffsäkert (noggrannt) analysproceduren har fungerat när man körde serierna A och AP. En onoggrannhet på $\pm 10-15\%$ vid analys av låga halter är normalt och acceptabelt. Som tabell 5 visar ligger värdena för de allra flesta elementen inom detta intervall. Noggrannheten kontrollerar Acme genom upprepad analys av ett eller flera standardprov under hela analyssekvensen.

Detta tillägg har sammanställts av Zoltan Solyom och Ann Petersson.



Figur 2. Geologisk karta med provnummer, Kebnekaisas amfibolitkomplex. Prov nummer 14 saknas eftersom det utgörs av en basalt från Skåne som används för att kontrollera analysens precision.



Figur 3. Topografisk karta med GPS-waypoints i Sylarnaområdet. Lantmäteriverket, Gävle 1999, Z6 Storlien - Ljungdalen Fjällkartan 1:100 000.

Sylarna

Kebnekaise

Sylarna				Kebnekaise	
A	B	C	D	E	F
Z83	SD94	A1	1-8	01-1	AP1
Z84	SD95	A2	2/27	01-2	AP2
Z85	SD96	A3	3/27	01-3	AP3
Z86	SD97	A4	4/27	01-3b	AP4
Z87	SD98	A5	62-64	01-4	AP5
Z88	SD99	A6	66-94	01-5	AP6
Z89	SD100	A7	406-433	01-6	AP7
Z90	SD101	A8		01-7	AP8
Z91	SD102	A9		01-8	AP9
Z92	SD103	A10		01-9	AP10
Z93	SD104	A11		01-10	AP11
Z94	SD105	A12		01-11	AP12
Z95	SD106	A13		01-12	AP13
Z96	SD107	A14		SM91a	AP15
Z97	SD108	A15		SM10	AP16
Z98	SD109	A16		SM10b	AP17
Z99	SD110	A17		PGA6	AP18
Z100	SD111	A18		PGA9	AP19
Z101	SD112	A19		PG20	AP20
Z103	SD113	A20		OM007	AP21
Z104	SD114	A21		OM24	AP22
Z105	SD115	A22		OM25	AP23
				OM26	AP24
				OM34	AP25
				OM46	AP26

Tabell 1 Provnnummer. A) Sylarnaprovens originalnummer. B) Provens beteckning i Solyom et al., (1979). C) Denna uppsats beteckning på proven från Solyom et al. (1979). D) De prov som togs under fältarbetet till denna uppsats. E) Kebnekaises originalnummer. F) Denna uppsats beteckning på originalnummer från Kebnekaise.

	Sylarna		Kebnekaise	
	x	±1s	x	±1s
SiO2	49.75	0.72	48.88	1.57
TiO2	1.88	0.39	1.88	0.31
Al2O3	14.43	0.82	14.17	0.56
Fe2O3	12.88	1.24	13.38	1.19
MnO	0.21	0.09	0.20	0.03
MgO	6.97	0.82	6.61	0.61
CaO	9.21	0.95	10.76	0.80
Na2O	3.81	0.55	2.74	0.34
K2O	0.16	0.08	0.41	0.26
P2O5	0.21	0.06	0.13	0.05
LOI	1.38	0.24	0.8	0.29
Summa		0.16	99.94	0.11
Ba	93.37	120.35	62.12	44.32
Cr			190.28	43.42
Co	54.15	5.09	58.42	12.92
Cs	0.11	0.03		
Cu	36.95	36.17	51.80	27.47
Ga	18.42	1.74	19.08	1.55
Hf	3.13	0.69	3.62	1.24
Mo	0.25	0.14	0.28	0.14
Nb	16.07	5.35	5.70	2.36
Ni	9.59	2.70	20.38	6.67
Rb	2.60	1.85	8.32	8.58
Sc			44.20	4.24
Sn	1.64	0.58	2.24	0.83
Sr	193.50	93.24	154.27	37.92
Ta	0.99	0.32	0.41	0.16
Th	1.12	0.33	0.89	0.93
Tl	0.12	0.09		
U	0.36	0.16		
V	285.27	34.80	334.44	59.80
W	49.95	20.20	111.0	21.49
Zn	16.64	7.13	25.84	8.44
Zr	113.91	26.92	122.84	45.51
Y	30.27	5.19	37.59	8.71
La	14.46	3.36	7.64	3.47
Ce	29.70	7.60	19.81	7.76
Pr	3.69	0.90	2.90	1.00
Nd	18.80	4.35	14.99	4.54
Sm	4.43	0.96	4.63	1.23
Eu	1.59	0.30	1.60	0.27
Gd	5.08	0.98	5.80	1.41
Tb	0.87	0.16	0.99	0.24
Dy	5.20	0.88	6.31	1.55
Ho	1.08	0.18	1.33	0.31
Er	2.86	0.48	3.93	0.93
Tm	0.44	0.08	0.57	0.14
Yb	2.83	0.47	3.61	0.77
Lu	0.41	0.07	0.56	0.13

Tabell 4. Medelvärden och standardavvikelse för kemiska analyser av amfibolit från Sylarna och Kebnekaise.

KVALITET AV ANALYSDATA FÖR SYLARNÄ OC KEBNEKAISE.														
	SB (alla acme)				SB (olika laboratorier)				SB		SB		Noggrannhet	
	x	±1s	CV	n	x	±1s	CV	n	A23	AP14	A23	AP14		
SiO2	42.67	0.67	1.57	6	42.66	0.40	0.94	38		42.35			-0.7	
TiO2	2.38	0.13	5.35	6	2.35	0.05	2.31	38		2.34			-0.4	
Al2O3	13.97	0.44	3.13	6	13.82	0.57	4.09	38		14.21			2.8	
Fe2O3t	11.67	0.17	1.49	6	11.87	0.20	1.71	37		11.68			-1.6	
MnO	0.17	0.03	17.03	6	0.19	0.02	8.46	50		0.17			-9.8	
MgO	9.05	0.25	2.80	6	9.05	0.41	4.49	58		8.91			-1.6	
CaO	10.99	0.41	3.74	6	11.30	0.39	3.43	38		11.51			1.8	
Na2O	3.51	0.08	2.41	6	3.57	0.11	3.19	56		3.44			-3.7	
K2O	1.35	0.11	7.78	6	1.42	0.08	5.44	38		1.21			-14.6	
P2O5	0.79	0.06	7.63	6	0.77	0.05	6.39	45		0.74			-3.3	
LOI	3.05	0.29	9.45	6	2.95	0.07	2.37	18		3.0			1.7	
Σ	99.59				99.94					99.56			-0.4	
Ba	1157	41	3.5	13	1159	76	6.6	40	1210	1157	4.4		-0.2	
Cr	276	36	13.1	5	287	13	4.7	25		239			-16.8	
Co	53.8	3.0	5.6	12	51.4	2.5	4.8	32	58.2	49.3	13.2		-4.1	
Cs	0.96	0.07	7.0	12	0.94	0.03	2.75	30	1.0	0.9	6.9		-3.8	
Cu	77.8	9.5	12.2	8	76.9	9.5	12.3	29	76.0	61.0	-1.2		-20.7	
Ga	17.9	1.0	5.7	11	17.6	0.4	2.30	36	18.1	16.9	2.9		-3.9	
Hf	4.4	0.36	8.2	11	4.5	0.19	4.29	29	4.0	4.1	-11.6		-9.4	
Nb	94	3.8	4.0	11	93.0	6.8	7.3	38	97	89	4.1		-4.1	
Ni	159	16.2	10.2	8	166	3.8	2.3	26	144	131	-13.0		-20.7	
Rb	72.7	3.7	5.2	12	72.5	2.1	2.8	38	69	65	-5.2		-10.2	
Sc	21.2	2.2	10.2	5	22.8	2.0	8.82	24		24			5.2	
Sr	1162	70	6.0	12	1159	37	3.18	39	1205	1074	4.0		-7.3	
Ta	5.5	0.56	10.27	12	5.4	0.25	4.60	30	5.0	4.9	-6.9		-8.8	
Th	7.23	0.27	3.74	12	7.27	0.05	0.65	28	7.4	6.9	1.8		-5.0	
U	1.84	0.10	5.41	12	1.78	0.06	3.37	30	2.0	1.8	12.6		1.4	
V	185	13.8	7.4	12	185	5.8	3.16	43	189	178	2.1		-3.9	
W	71	5.5	7.8	12	70	0.9	1.31	14	62	73	-11.6		3.7	
Zn	88	7.7	8.8	8	97	8.2	8.46	30	82	80	-15.2		-17.3	
Zr	180	10.6	5.9	12	187	10.7	5.69	38	186	170	-0.5		-9.0	
Y	28.5	1.4	5.0	13	29.5	1.9	6.50	41	30.9	26.8	4.7		-9.2	
La	75.6	2.8	3.73	12	73.4	1.7	2.27	32	81	70	10.7		-4.3	
Ce	127.3	2.8	2.18	12	126.7	1.2	0.92	33	128	121	0.9		-4.2	
Pr	13.7	0.5	3.37	12	13.7	0.4	2.56	15	13.5	12.7	-1.0		-7.3	
Nd	52.1	4.0	7.64	12	51.5	0.6	1.11	32	57.9	49.1	12.5		-4.6	
Sm	9.0	0.5	5.96	11	9.2	0.2	2.63	31	8.9	9.1	-3.1		-0.9	
Eu	2.81	0.24	8.62	12	2.81	0.09	3.32	32	3.03	2.55	8.0		-9.1	
Gd	7.56	0.72	9.51	12	7.84	0.23	2.91	21	7.86	6.71	0.2		-14.5	
Tb	1.06	0.07	6.23	11	1.08	0.07	6.67	30	1.14	0.92	5.6		-14.7	
Dy	5.78	0.42	7.28	11	5.70	0.09	1.49	15	6.17	5.04	8.3		-11.5	
Ho	1.06	0.06	5.86	12	1.04	0.04	4.21	15	1.06	0.94	1.9		-9.6	
Er	2.70	0.22	8.24	12	2.61	0.15	5.91	16	2.59	2.41	-0.7		-7.6	
Tm	0.33	0.03	8.51	12	0.34	0.01	2.35	15	0.36	0.31	5.5		-9.2	
Yb	2.16	0.10	4.67	12	2.14	0.07	3.32	32	2.30	2.07	7.3		-3.4	
Lu	0.32	0.02	5.33	12	0.32	0.01	4.43	32	0.32	0.29	0.1		-9.3	

Tabell 5. Kvalitet hos analysdata.

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

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 sandersediment, 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 (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 stromboli-karaktär i Skåne.
110. Jensen, Sigfinn J., 1999: En silurisk transgressiv karbonatlagarföljd vid S:t Olofsholms stenbrott, Gotland.
111. Lund, Mats G., 1999: En strukturgeologisk modell för berggrunden i Sarvesvage - 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 granat-amfibolit. 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 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. Kjällerström, Anders, 2000: En geokemisk studie av bergartsvariationen på Bullberget i västra Dalarna.
126. Cinthio, Kajsa, 2000: Senglacial och tidig-holocen 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 djupvitrad sprickdal på Romeleåsen, Skåne.
 138. Karlsson, Christine, 2001: Diagenetic and petro-physical 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. Malmberg, 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 Myrdalsjökull 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 textuell 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 Tirtaña, övre Mogánformationen, Gran Canaria.
 164. Näsström, Helena, 2003: Klottedioriten vid Slättemossa, centrala Småland – mineral kemi 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.
 169. Pettersson, Ann, 2003: Jämförande litologisk och geokemisk studie av Sevens amfibolitkomplex i Sylarna och Kebnekaise.