



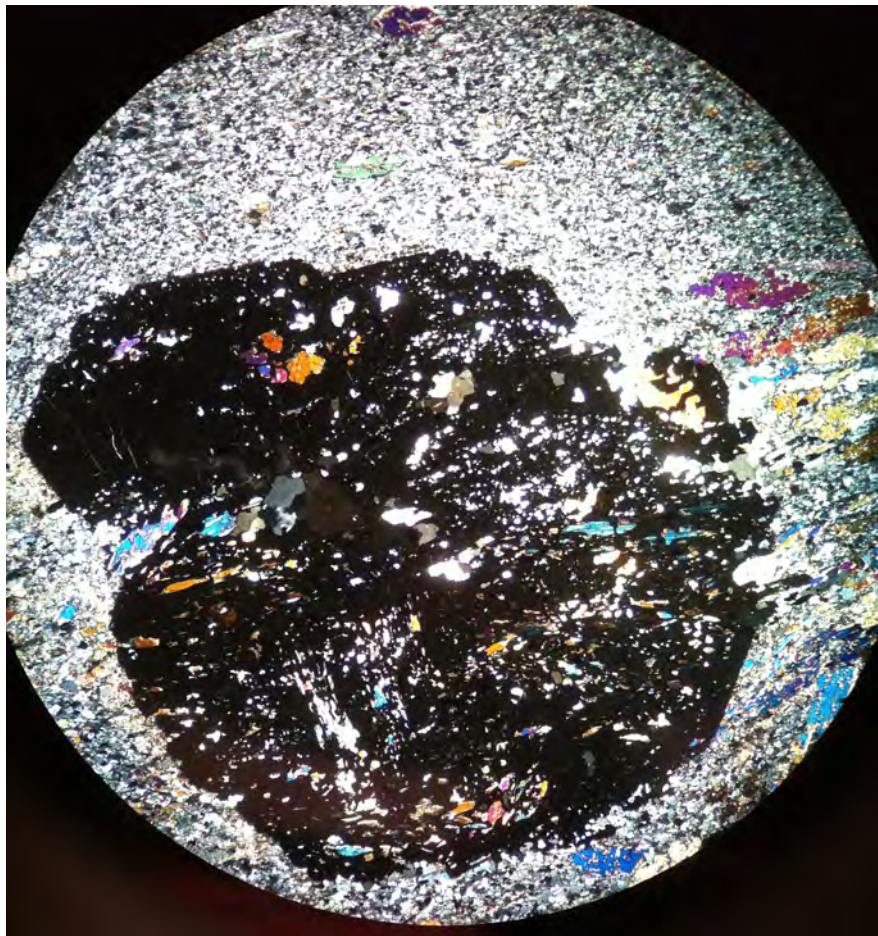
Stockholm
University

Bachelor Thesis

Degree Project in
Geology 15 hp

**Undersökning av de temperaturförhållanden
som rådde vid metamorfism av sedimenten på
nordöstra Utö, med hjälp av EMPA analys**

Johanna Bornsjö



Stockholm 2013

Department of Geological Sciences
Stockholm University
SE-106 91 Stockholm

Sammanfattning

Utö är beläget i Bergslagen i centrala Sverige och är en del av den svekofenniska provinsen. På Utö finns många av de bergarter som är karakteristiska för Bergslagens geologi samlade på en liten yta. Bergarterna på Utö utgörs främst av paleoproterozoiska sedimentära och vulkaniska bergarter som har blivit veckade och utsatts för metamorfos (Talbot, 2008).

Denna studie inleddes med kartering av den metamorfiserade sedimentära sekvensen som utgörs av äldre gråvackor längs den sydöstra kusten överlagda av lager med felsisk vulkanit och karbonatbergarter åt nordväst. Ett stort veck, en synform, finns på ön och i de mittersta delarna av detta finns järnmalm inbäddat (Talbot, 2008). Det område som karterades har utsatts för en lägre metamorfosgrad än bergarterna ca 500 m åt nordväst på Stora Persholmen där sillimanit har observerats av Barrientos (2011). En skjuvzon sträcker sig där emellan och avgränsar dessa områden som blivit omvandlade vid olika metamorfosgrad. Metapeliterna längs den sydöstra kusten av Utö har nått granat zonen och blandat med andalusitskiffrar finns biotitrika skiffrar innehållande granat, klorit och fältspat utöver kvarts. I prover från en sådan biotitskiffer i metagråvackan finns poikiloblastiska granater och eventuellt retrograd klorit. Vissa områden uppvisade tecken på den påverkan som genomströmmande fluider har haft på metasedimenten. En ådra visades innehålla amfibol och betydligt mindre mängd biotit än omgivande bergart. Ett annat prov, som togs i ett parti troligen påverkad av fluider, innehåller också amfibol. Vissa likheter i detta provs mineralogi och ådrans fanns. Elektronmikroprob-analys av amfibolinklusionerna i en stor poikiloblastisk granat, se framsida, visade att dessa består av cummingtonit-grunerit. Under antagandet att granaten bildades vid det tryck som uppskattades till 3.1 ± 1.3 kbar av Engström (2011), baserat på mätningar av en metagråvacka på Stora Persholmen, gjordes temperaturuppskattningar med hjälp av Powell och Hollands program AX_2 och THERMOCALC . Detta resulterade i temperaturer på $567 \pm 37^\circ$ C närmast granatens kärna och $586 \pm 36^\circ$ C närmare kanten.

Elektronmikrosond-analys av ett prov från biotitskiffern och en temperaturuppskattning med hjälp av Powell och Hollands program AX_2 och THERMOCALC gav, under antagandet att klorit befinner sig i jämvikt med övriga mineral, en temperatur på $565 \pm 15^\circ$ C vid 3.1 kbar, där tryckuppskattningen gjordes av Engström (2011). Det finns dock vissa tecken på att klorit kan vara retrograd.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Innehållsförteckning	2
Introduktion	3
Syfte	3
Geologisk bakgrund	3
Metod	6
Fältarbete och provtagning	6
Petrografisk analys	6
Elektronmikrosond-analys	6
Geotermobarometri	7
Resultat	8
Karta och bergartsbeskrivning	8
Beskrivning av prover	11
Petrografisk analys	12
Elektronmikrosond-analys	17
Uppskattning av temperaturförhållandena under metamorfos	18
Felkällor	20
Diskussion	21
Slutsats	21
Tillkännagivanden	22
Referenser	22
Appendix 1	23
Appendix 2	24

Introduktion

Syfte

Den här studien är en del av det SGU finansierade projektet Metamorphic Map of Sweden som genom en serie examensarbeten ämnar uppskatta den temperatur, fluidkomposition och det tryck, som rådde under metamorfos av berggrunden i olika delar av Sverige. Projektet är initierat och lett av professor Alasdair Skelton vid Stockholms Universitet.

Det här arbetet består i att kartera berggrunden inom ett 1 km² stort område på nordöstra Utö, provtagning av bergarter inom detta område samt identifiering av mineralogi och eventuella reaktionstexturer i dessa prov med hjälp av petrografisk analys. En kemisk analys av utvalda mineralkorn med elektronmikroskop samt uppskattning av tryck, temperatur eller det fluid förhållande som rådde under metamorfos följer därpå.

Geologisk bakgrund

Utö är beläget i den sydöstra delen av Bergslagen, i mellersta Sverige. Bergarterna i detta område tillhör den sydvästra delen av den Svekofenniska provinsen och gränsar mot det transskandinaviska magmatiska bältet i söder. Bergslagen har tolkats som en av de mikro-kontinenter som tillsammans med öbågar kolliderade med arkeisk jordskorpa i nordost och bildade den Svekofenniska provinsen under perioden 2.1-1.86 Ga enligt Andersson et al. (2006). Majoriteten av de svekofenniska bergarter som vi idag kan se bildades enligt Claesson et al. (1993) mellan ca 1.9 och 1.86 Ga.

Stephens et al. (2009) beskriver hur dessa paleoproterozoiska bergarter blev metamorfiserade under flera episoder och till stor del består av gråvackor, lersten och sandsten, felsiska vulkaniska lager omväxlande med karbonatbergarter och på flera ställen, bland annat på Utö, större malmförekomster. Där förekommer också skarn, ofta tillsammans med metavulkanit och malmförekomster. I de vulkaniska och sedimentära sekvenserna har magmatiska intrusioner brutit in, både innan, under och efter de tektoniska skeenden som ledde till deformation och regional metamorfos i Bergslagen.

Paleoproterozoiska bergarter på Utö

De äldsta bergarterna på Utö finns främst längs den sydöstra kusten och är metamorfiserade gråvackor som har blivit veckade och vinklade så att lagringen stupar brant (Talbot, 2008). Gavelin et al. (1976) beskrev hur metasedimentet består av mörkare mer skiffriga lager, ursprungligen mer lerrika lager, omväxlande med ljusare mer massiva lager, rikare i kvarts och fältspat. Graderad lagring och korssiktning har blivit identifierade och i mindre veckade områden visar de, enligt Stålhös (1982), Talbot (2008) och Gavelin et al. (1976) entydigt på att metasedimenten blir yngre åt nordväst.

Talbot (2008) visade på att sandiga lager som gradvis övergår i mer lerrika lager troligen avsattes som turbiditströmmar. Även kompletta Bouma poly-cykler identifierades av Talbot (2008), där konglomerat blir gradvis mer finkorniga uppåt och täcks av mer konglomerat som övergår i trågkorssiktning. Även på andra ställen i Bergslagen förekommer enligt Stephens et al. (2009)

turbiditer i metasediment som är äldre än metavulkaniten.

En övergång från äldre mer lerrika sediment, nu omvandlade till skifferar, åt sydost till yngre mer siltiga lerstenar och sandsten åt nordväst tyder på att avlagrings miljön blev grundare med tiden (Talbot, 2008; Allen et al., 1996 och Gavelin et al., 1976).

Över sekvensen med metagråvackor och de mer sandiga lagren ligger en metamorfiserad felsisk magmatisk bergart, ofta med porfyrisk textur, som har blivit daterad till 1904 ± 4 Ma av Lundström et al. (1998). De underliggande metagråvackorna anses av Stephens et al. (2009) ha blivit avlagrade strax innan den vulkaniska aktiviteten bröt ut i området. Detta eftersom att de yngsta detriuszirkonerna i kvartsit från bland annat Norberg, som också ligger under metavulkaniter, har gett åldrar kring 1.90 Ga.

Den felsiska porfyriska bergart som Lundström et al. (1998) daterade tillhör ett tidigt stadium av vulkanisk aktivitet. Det råder olika mening om bergartens ursprung. Medan Allen et al. (1996) och Lundström et al. (1998) menade att bergarten bildades som ett pyroklastiskt flöde ansåg bland annat Talbot (2008) och Gavelin et al. (1976) att belägg finns för att i alla fall delar av bergarten ursprungligen var intrusiv. Denna bergart är överlagd av en sekvens med omväxlande band av karbonater, felsisk vulkanit och skarn. Liknande sekvens med omväxlande lager finns på andra ställen i Bergslagen och har tolkats som ett avtagande skede i vulkanismen enligt Stephens et al. (2009).

Stephens et al. (2009) har sammanställt de dateringar som gjorts på vulkaniten i Bergslagen och kom fram till att vulkaniten bildades mellan ca 1909 och 1882 Ma. Enligt samma författare är vulkaniten dominerande ryolitisk i sammansättningen, men dacitiska vulkaniter förekommer i östra och södra delarna av Bergslagen och viss mafisk magmatism förekom i västra Bergslagen under den senare delen av perioden med vulkanisk aktivitet.

Allen et al. (1996) har gjort tolkningen att vulkaniterna bildades till största del på grunt vatten men även subarealt. Denna tolkning baseras bland annat på förekomsten av pisoliter som bildas subarealt men i vattenrika miljöer, frånvaron av stora mängder sammansvetsade vulkaniter som framför allt bildas subarealt, och förekomsten av stromatolit-liknande strukturer i karbonatlager på några platser i Bergslagen.

Enligt Allen et al. (1996) och Stephens et al. (2009) har hydrotermal cirkulation lett till förändringar i fördelningen av natrium och kalium i stora delar av Bergslagens vulkaniter och deras fältspater. En del av de mineraliseringar som förekommer i Bergslagen anses också ha bildats då vatten har cirkulerat i den vulkaniskt aktiva jordskorpan, enligt Allen et al. (1996). Även en ökad halt av magnesium i vissa områden har ansetts bero på en senare fas av hydrotermal cirkulation enligt Stephens et al. (2009). Samma författare beskriver hur skarn både har bildats genom metamorfos av karbonat och vulkanit sekvenser och då fluider från intrusioner har strömmat in i karbonat bergarter. Skarn kan också uppstå då ett ursprungligen kalkrikt fältspat och kvarts innehållande sediment har metamorfiserats så som Stålhös (1982) beskriver.

På flera ställen i Bergslagen finns yngre metamorfiserade klastiska sediment som ligger stratigrafiskt ovan metavulkaniten (Stephens et al., 2009). På Utö är det stratigrafiska förhållandet mellan metagråvackorna längs den sydöstra kusten och metasedimenten åt nordväst, på bland annat St. Persholmen, oklar eftersom att en skjuvzon sträcker sig däremellan vilket beskrivs av Allen et al. (1996). Gavelin et al. (1976) noterade att graderad lagring även i de nordvästra metasedimenten indikerar att sedimenten blir yngre åt nordväst. De menade därför att de nordvästra metasedimenten utgör en överliggande del i en kontinuerlig stratigrafi som har blivit veckad.

På Utö finns granitoider som enligt Talbot (2008) blev folierade under en första deformations fas. Enligt Stephens et al. (2009) kristalliserade intrusioner med granitoid, dioritoid och gabbroid sammansättning, dominerad av felsiska, kvarts rika typer, mellan 1.90 och 1.87 Ga i Bergslagen. En

mindre mängd liknande intrusioner med åldrar mellan 1.87-1.85 Ga finns i de sydvästra delarna av Bergslagen. Plutoner med granitoid, syenitoid, dioritoid och gabbroid sammansättning överlappar i tid med dessa intrusioner men det finns dateringar som indikerar att de fortfarande bildades vid 1.80 Ga (fig. 52, Sthepens et al., 2009). Enligt samma författare bildades granitiska pegmatiter bildades mellan 1.85 och 1.75 Ga i Bergslagen. Grafiska pegmatiter finns bland annat på Stora Persholmen på Utö och Talbot (2008) antyder att materia ifrån leukosom i migmatiterna kan ha bidragit till pegmatiternas tillväxt.

De paleoproterozoiska bergarterna på Utö har av Talbot (2008) ansetts bildats i närheten till en subduktionzon. De turbiditer som hittats i gråvackan och strukturer som indikerar instabilitet i mjukt sediment tyder på att avlagringen utgjorde en del av ett akkretionsprisma. Förändringen från mer pelitiska lager till överliggande siltiga lerstenar och sandsten åt nordväst tolkades som en övergång till en shelfmiljö och den överliggande magmatiska bergarten ansågs vara en del av ett magmatiskt bälte ovan subduktionszonen medan de yngre lagren av vulkanit och mineraliseringar anses ha bildats på större avstånd från ett sådant magmatiskt bälte.

Andersson et al. (2006) och Lundström et al. (1998) diskuterade hur de arkeiska detriuszirkoner som har hittats i metasediment ger belägg för att det fanns en kontinent i närheten då sedimenten avlagrades. Allen et al. (1996) gjorde tolkningen att bergarterna bildats i en kontinental riftmiljö bakom en aktiv konvergent zon. De vulkaniska lager och karbonatlager som har bildats under vatten togs som tecken på en sjunkande jordskorpa. Detta tillsammans med den dominerande ryolitiska sammansättningen på vulkaniten ger enligt dessa författare belägg för att bergarterna bildats i en kontinental riftmiljö.

Metamorfismens påverkan på Utös bergarter

Kyanit har inte påträffats i Bergslagens bergarter medan andalusit är vanligt förekommande och sillimanit är vanlig i vissa områden enligt Stephens et al. (2009) och Barrientos (2011) vilket indikerar att låga tryckförhållanden rådde under metamorfos. Stephens et al. (2009) beskriver hur metamorfosgraden skiljer sig i olika delar av Bergslagen. Bergarterna i de södra delarna samt de nordligaste delarna av Bergslagen karakteriseras av en hög metamorfosgrad, övre amfibolit- och lokalt granulitfacies, med migmatisering och förekomst av sillimanit som följd. Stephens et al. (2009) presenterar resultatet från 36 tryck och temperatur uppskattningar i södra Bergslagen, där tryck uppskattades till 4.8 ± 1.4 kbar och temperatur till 681 ± 92 °C. I östra Bergslagen finns ett mindre område där metamorfosgraden inte nådde över grönskifferfacies, medan de centrala delarna uppvisar bergarter omvandlade vid övre grönskiffer- till mittersta amfibolitfacies. I centrala Bergslagen har tryck uppskattats till 5.6 ± 2.5 kbar och temperatur till 591 ± 64 °C baserat på 14 mätningar enligt Stephens et al. (2009).

På nordvästra Utö finns en sydvästligt till nordöstligt strykande skjuvzon som avgränsar ådergnejsrar åt nordväst från intilliggande gråvackor åt sydöst på till exempel Stora Persholmen, vilket beskrivs av Talbot (2008). Nordväst om skjuvzonen uppvisar bergarterna en metamorfosgrad som överensstämmer med den i södra delen av Bergslagen medan bergarterna åt sydöst har en metamorfosgrad, mer karakteristisk för de centrala delarna av Bergslagen. Enligt Stålhös (1982) är kvarts och muskovit stabila tillsammans öster om Mysingefjärden vilken ligger väster om Utö. Väster om Mysingefjärden har muskovit brutits ned medan kalifältspat, sillimanit och fluider har bildats, något som indikerar en metamorfosgrad i övre amfibolitfacies enligt Stephens et al. (2009). Sillimanit finns

också på Stora Persholmen, nordvästra Utö, enligt Barrientos (2011).

Bergarterna i Bergslagen har utsatts för flera faser av plastisk deformation. Två större faser av metamorfos har urskiljts och flera platser har lokalt utsatts för kontaktmetamorfos. En uppskattning av den tid då metamorfism i övre amfibolit-facies rådde i södra delen av Bergslagen har gett åldrar i spannet 1.82-1.80 Ga enligt Andersson et al. (2006). Dessa författare presenterar också en datering som indikerar att ett tidigare skede av metamorfism ägde rum i centrala delen av Bergslagen vid ca 1.87 Ga.

Två generationer av cordierit och andalusit har noterats av Stålhös (1982) på Utö. Talbot (2008) nämner också zoner i andalusit, cordierit och granat porfyroblaster som tillsammans med de två generationerna av veckning på Utö ger belägg för att två deformations och metamorfos faser har påverkat de paleoproterozoiska bergarterna. Talbot (2008) menar att dessa faser kan motsvara två stadier av regional metamorfism i Bergslagen som daterats till 1.87 och 1.78 Ga.

Metod

Fältarbete och provtagning

Identifiering av bergarter gjordes med hjälp av lupp och genom att testa deras hårdhet med en hammare. Mätning av strykning och stupning av lagring gjordes med en Silva Ranger kompass. I veckade områden gjordes mätningar endast då en storskalig riktning eller veckning var synlig. Orientering gjordes med kompass och karta.

Prover togs med hammare och kil, dessa sågades och grovslipades med kiselkarbid och avjoniserat vatten på Stockholms Universitet innan de sändes till Vancouver Petrographics Ltd, Canada för tillverkning av tunnslip.

Petrografisk analys

Identifiering av mineral gjordes med mikroskop av typen Leica DMLSP. Mineral som var svåra att identifiera beskrivs under resultat. Beskrivningar av eventuella reaktionstexturer hittas också under resultat.

Elektronmikrosond-analys

Tunnslip från proven D2-1 och D2-2 togs till Uppsala Universitet för analys med elektronmikrosond. De täcktes av ett skikt kol som leder den ström av elektroner som produceras i instrumentet, så att provet inte blir elektriskt laddat, enligt Reed, kap. 9 (2005).

En Jeol JXA-8530F Field emission Electron Probe microanalyser vid Uppsala Universitet användes. Då en mätning gjordes koncentrerades en stråle av elektroner på en cirkelformad area med diametern 1-3 μm , där storleken beror på mineralets hårdhet. Reed, kap. 2, (2005) beskriver hur en del av de elektroner som träffar provytan kommer att slå ut elektroner från atomernas inre orbitaler så att atomerna blir joniserade. Då en elektron från yttre orbitaler faller in för att ersätta den utslagna elektronen

kommer energi att frigöras i form av röntgenstrålning. Eftersom att energinivåerna mellan olika orbitaler skiljer sig mellan olika grundämnen kan den röntgenstrålning som utsänds från en atom i provet användas för att kvalitativt bestämma vilket grundämne som finns i provet. Registrering av röntgenstrålning gjordes med WDS där syntetiska kristaller används för att bryta strålningen och fokusera en specifik våglängd som motsvarar en energi utsänd från ett grundämne. För att uppskatta andelen av ett grundämne i en mätpunkt gjordes en jämförelse med mätningar på standarder, se appendix 1.

Ett viktigt moment för att få bra mätningar var att ställa in optiskt fokus för att få en plan yta att mäta på. Detta gjordes manuellt.

Geotermobarometri

De mätningar av mineralens sammansättning som görs med elektronmikroskop kan användas för att uppskatta den temperatur och/eller det tryck som rådde under metamorfos. Detta eftersom att fördelningen av specifika grundämnen mellan olika mineral enligt termodynamisk teori kan relateras till ett specifikt tryck- och temperaturförhållande förutsatt att jämvikt mellan mineralen har uppnåtts och bevarats från en specifik fas av metamorfosen (Winter, 2010). Enligt samma författare kan utbytet av olika grundämnen mellan mineral formuleras som en reaktion och då jämvikt råder beskriver en jämviktskonstant förhållandet mellan reaktanternas och produkternas aktiviteter. Aktivitet kan betraktas som en termodynamiskt tillgänglig slags koncentration och uppskattas med hjälp av olika modeller och i de enklaste modellerna är enligt Winter (2010) aktiviteten lika med molfraktionen av en komponent upphöjt till antal platser i mineralet där utbyte mellan grundämnen, t.ex. Fe och Mg, kan ske. När förhållandet mellan aktivitet och molfraktionen av komponenterna i mineralen har fastställts med hjälp av någon sådan modell kan jämviktskonstantens värde uppskattas utifrån den data som fås från elektronmikroskop-analysen. Denna jämviktskonstant är i sin tur beroende av den entalpiförändring, entropiförändring och volymförändring som är förknippad med reaktionen samt det tryck och den temperatur som sökes (Winter, 2010).

Experiment har utförts där man har låtit olika minerals ändkomponenter ställa in sig i jämvikt med varandra vid kontrollerade tryck och temperaturer. Winter (2010) beskriver hur värden på parametrar som entalpi och entropiförändringar har härletts från sådana experiment och jämviktskonstanten för dessa specifika reaktioner har därefter kunnat beskrivas som en funktion av endast temperatur och tryck. Dessa experimentellt framtagna förhållanden är mest tillförlitliga för det temperatur- och tryckspann som experimentet utfördes över.

I stället för att använda sig av ett eller ett fåtal jämvikts förhållanden mellan mineral har Powell och Holland utvecklat programmet THERMOCALC och en metod, avPT beskriven av Powell och Holland (1994), som kombinerar flera oberoende reaktioner mellan mineralen för att hitta den bästa uppskattningen på tryck och temperatur. Programmet använder sig av en slags databas med termodynamisk data där experimentellt härledda värden från olika laboratorier har korrigerats så att endast ett värde baserat på flera experiment finns representerat (Winter, 2010).

I denna studie har Powell och Hollands program AX_2 och THERMOCALC 3.33 använts. AX_2 uppskattar de olika mineralens ändkomponenters aktiviteter vid 6 kbar och 550°C. Enligt den dokumentation som finns på hemsidan för THERMOCALC används olika modeller för att uppskatta aktivitet för olika mineral och hänsyn tas till om grundämnena är fördelade på samma sätt i de möjliga positionerna i mineralets struktur eller om ett av grundämnena är mer benäget att uppta en specifik

position i mineralet. Modellerna följer också antingen antagandet om ideell, symmetrisk eller asymmetrisk interaktion mellan de olika ändkomponenterna.

I input filerna till AX_2 för prov D2-1 användes värdena från mätpunkt B1-mu, som redovisas under resultat, för muskovit istället för A3-mu. I input filen till AX_2 för prov D2-2 användes värdena från mätpunkt A1-fsp för fältspat. Mätningarna A1-ser och A2-ser gav inte förväntade värden för vit glimmer och användes inte i beräkningen.

Endast en körning av AX 2 gjordes och en körning av THERMOCALC. Den temperaturuppskattning och det tryck, 3.1 kbar (Engström, 2011), som uppskattningen gjordes vid användes inte igen som indata till AX 2 och THERMOCALC i en upprepande process tills ett stabilt värde nåtts.

Resultat

I det här avsnittet kommer resultat från fältarbetet på Utö att presenteras tillsammans med en beskrivning av prover, både så som de sågs i fält och i form av tunnslip. Resultatet från elektronmikrosond-analys av två prover presenteras också samt de temperaturuppskattningar som gjorts utifrån denna kemiska data.

Karta och bergartsbeskrivning

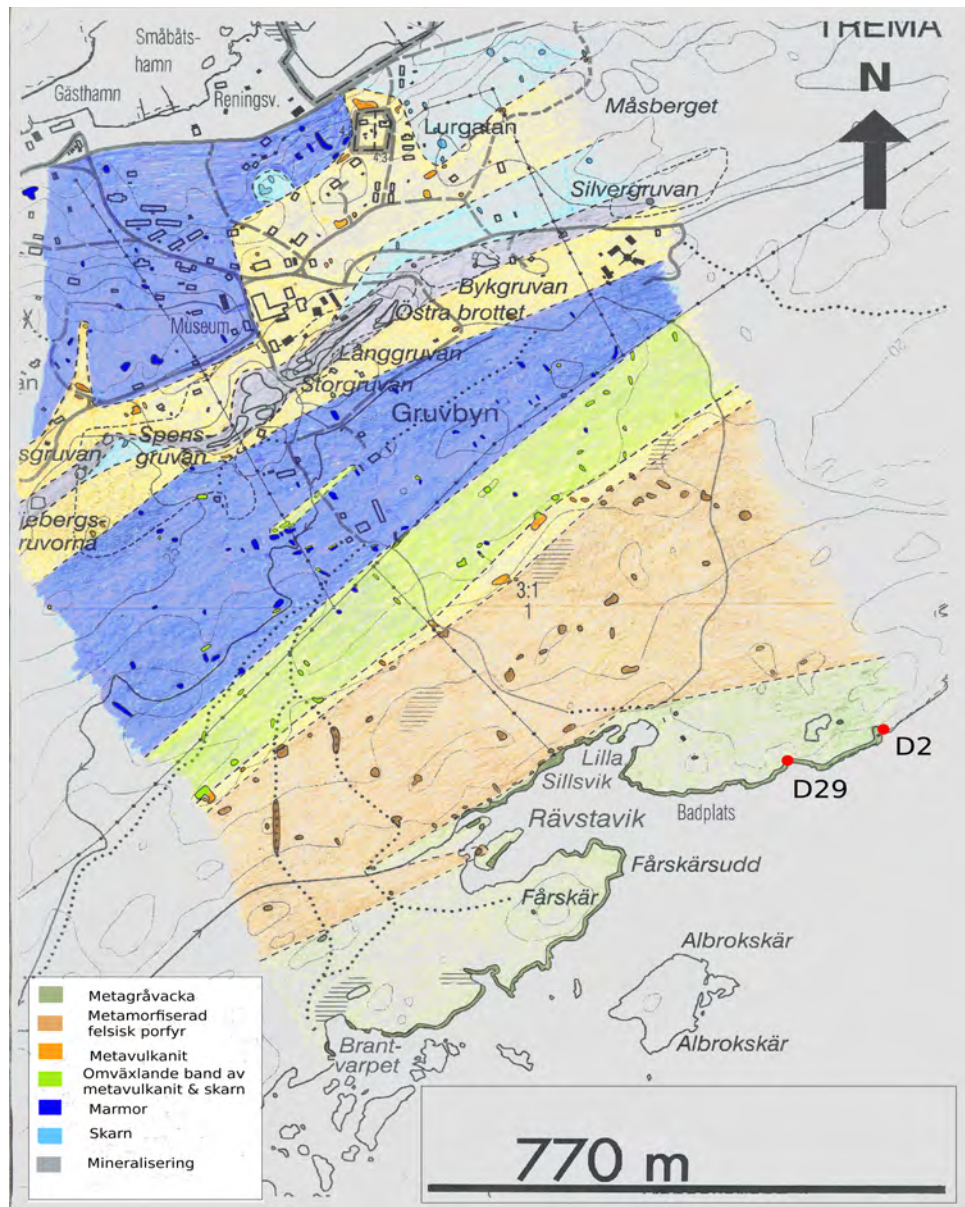
I det här avsnittet presenteras resultatet av det fältarbe och den identifiering av bergarter som gjorts inom ett 1 km² stora område, beläget på nordöstra Utö. Den karta och tolkning av bergarternas utbredning som är resultatet av detta arbete visas i figur 1. En karta där mätningar av foliationens och lagringens strykning och stupning är utsatt kan ses i figur 2. En beskrivning av bergarterna så som de har setts i fält kommer också att presenteras.

Metagråvacka

Bergarten består av skiffriga, mörka lager omväxlande med ljusa mer massiva kvartsrika lager, på vissa platser avbrutna av partier med konglomerat. Veckning av dessa lager är synlig vid flera platser längs med kusten SE om Rävstavik.

De skiffriga mörka lagren består till stor del av biotit, vitt glimmer samt kvarts. I många av dessa lager finns ca 0.2 - 1 cm långa andalusit porfyroblaster. På några platser finns ljusa partier, några mm tjocka, som omsluter kluster av andalusit kristaller. Dessa ljusa zoner är vita till gul rostiga på vittringsytan och ser ut att bland annat innehålla fina kvartskorn. I vissa av de skiffriga lagren kan granat porfyroblaster ses i stället för andalusit, men granat finns mer frekvent i de kvartsrikare massiva lagren och varierade i storlek mellan någon millimeter till max 1 cm.

De massiva ljusa lagren består till största del av kvarts och innehåller ofta en del glimmer, främst biotit. Kornstorleken är vanligtvis fin, ca ≤ 0.25 mm, men kornen är synliga med blotta ögat.



Figur 1: Tolkning av bergarternas utbredning på nordöstra Utö. Hällar är markerade med en svart kontur runt omkring. Provtagningsplats D2 och D29 är också markerade.

Bland dessa skiffriga och mer massiva lager finns också några mindre partier som har gropig vittringsyta och en matt vit färsk yta, vilket indikerar att dessa kan innehålla karbonatmineral. Där finns även centimetertjocka kvartsådror och på ett par ställen metertjocka kvartsgångar. Urvittrade fickor som har en rostig till oljig färg, ofta med matta gula fläckar i, och vanligtvis är några dm till en halvmeter stora förekommer också.

Metamorfoserad felsisk porfyr

En ljus färgad bergart som övervägande består av kvarts och vit fältspat. Bergarten har en

osammanhängande foliering som ofta är kurvig och definierad av biotitrika stråk. På vissa platser förekommer även vitt glimmer. På många platser innehåller bergarten ca 1-2 mm stora kvarts och/eller vita fältspatkorn i ett finare matrix. På andra ställen har bergarten en mer homogen kornstorlek, som ibland är grövre ca 1mm och ibland finare ca 0.25 mm. Vissa av dessa partier är mer massiva och foliationen är inte så tydligt utvecklad.

Skarn

Bergarten är ofta grön med en vittringsyta som är skrovlig och inte lika gropig som marmorns vittringsyta. Jämfört med marmorns vittringsyta är bergarten också svårare att repa med hammare.

Bergarten består av karbonatmineral och avlånga rektangulära prismor som ofta är blekt gröna och ibland färglösa eller har en starkare grön färg. Dessa mineral har två spaltningsplan och är troligen amfiboler. Där finns även små svarta mineral på vissa ställen i denna bergart.

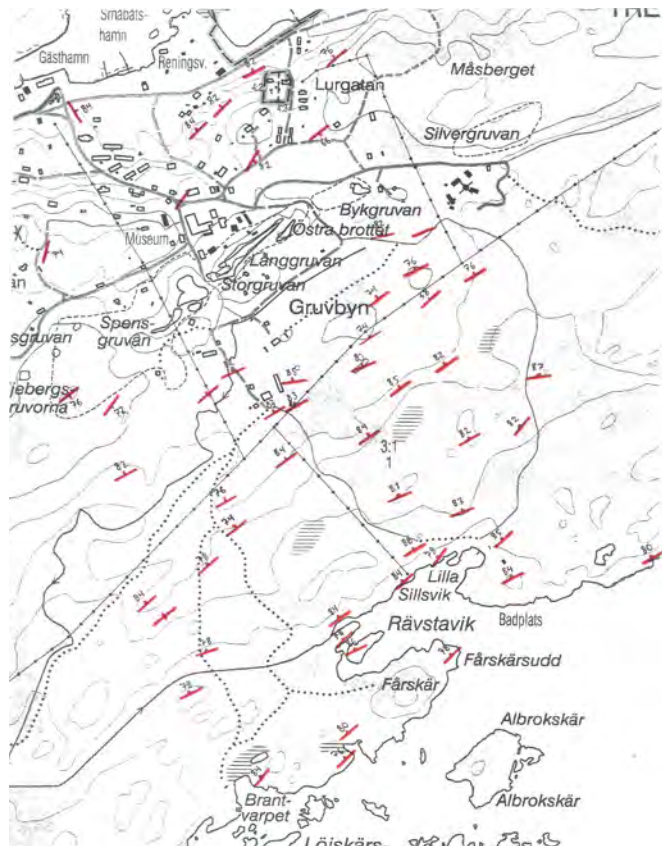
Det förekommer en del band av metavulkanit och mer rena karbonat lager i denna bergart, men hållar klassificerade som skarn består av ca >70% skarn.

Metavulkanit

Bergarten har en slät vittringsyta med skarpa kanter. Dess färg varierar och kan vara ljust beige, rosa, grå eller svart. Bergarten ger ofta ett massivt intryck men i vissa fall är tunna linjer, parallella med lagringen, synliga däri. I vissa lager finns ovala ljusare former, ca 2-3 mm stora, ofta med en mörkare prick i mitten. Dessa ellipser är riktade med långsidan parallellt med lagringen.

Bergarten är mycket finkornig och har ofta en brottyta som påminner om flinta. Enstaka korn går inte att se varesig med blotta ögat eller med lupp.

Bergarten som är klassificerad som metavulkanit kan innehålla band eller linser av skarn, men består av ca >70% metavulkanit. Övergången mellan den metamorfiserade porfyren och metavulkaniten tycks vara skarp medan övergången mellan metavulkanit och omväxlande band av skarn och vulkanit är gradvis.



Figur 2: Strykning och stupning uppmätt på foliation och lagring.

Omväxlande band av skarn och metavulkanit

Denna enhet karakteriseras av centimeter- till decimetertjocka band av metavulkanit och skarn. Andelen skarn uppskattades vara ungefär densamma som andelen vulkanit men någon av de två kan dominera. Det förekommer metertjocka lager av marmor mellan de ovan beskrivna partierna men dessa tycks utgöra en mindre del av bergarterna i området.

Marmor

Bergarten är ofta massiv med en otydlig eller icke synlig foliation. Vittringsytan är gropig, beige till svart och korn kan lätt skrapas loss från denna yta som ser smulig ut. Den färskare ytan är vit och kristallin. Bergarten innehåller främst karbonatmineral och vanligtvis blekt gröna men ibland färglösa amfibol kristaller.

Söder om gruvorna består enheten av tjockare partier marmor som genomskärs av upp till ca 5 meter tjocka lager av partier med omväxlande band av skarn och felsisk vulkanit. Marmor är dock den dominerande bergarten i området.

Norr om gruvorna finns flera hållar som domineras av en beige, svart gropig vittringsyta som liknar marmorns, genomskuren av cm tunna uppstickande lager av metavulkanit och skarn. Dessa hållar har tolkats som marmor innehållande upp till 50 % skarn och metavulkanit band.

Mineralisering

En svart tung bergart, som innehåller mörka glittrande mineral. Vittringsytan är rostigt färgad. Kompassen blir påverkad av bergarten, vilket tyder på förekomst av magnetit. I denna svarta bergart finns också millimetertunna vita band. Dessa bergarter har observerats vid änden av Bykgruvan, Spensgruvan samt vid Liljebergsgruvorna. Vid Bykgruvan och Liljebergsgruvorna kan skarn ses vid sidan av mineraliseringen men sidorna på Storgruvan samt ett gruvhål vid Liljebergsgruvorna ser ut att ha skarpa kanter och relativt slät yta vilket indikerar att metavulkanit finns i kontakt med mineraliseringen.

Granitoida gångbergarter

Dessa bergarter förekommer i mindre utsträckning och är därför inte utsatt på kartan. De är kristallina bergarter utan synlig foliation som ofta är finkorniga, med en kornstorlek på ca 1-4 mm. Gångbergarten närmare reningsverket har dock en större kornstorlek med centimeterstora kristaller. Bergarterna har alla en ljus vit färg och verkar bestå mestadels av vit fältspat och kvarts. Rosa fältspat förekommer på några platser. I den gångbergart som påträffats nära vägen väster ut från muséet finns rosa prismatiska mineral, turkosa mineral samt mörkare blå mineral medan gulgröna fläckar med ett finkornigt gult mineral kunde ses i den annars vita fältspatrika bergarten sydöst om reningsverket.

Beskrivning av prover

I det här avsnittet kommer de provtagningsplatser i metagråvackan på Utös sydöstra kust, se figur 1,

samt provernas mineralogi att beskrivas.

Provtagningsplats D2

Proverna D2-1 och D2-2 togs vid punkt D2, utsatt i figur 1. Någon dm ovan platsen där prov D2-1 togs fanns en matt, vit och gropig vittringsyta. Provet har också partier som är matt vita till färgen medan andra ytor har en något rostig färg och den färska ytan är något grönaktig. En svag foliation kan ses i provet. Där finns 3-10 mm stora rosabruna granater, ett vitt till grått finkornigt mineral som repas av kniv, ett ljust gröngult mineral, samt ett mörkt glasigt prismatiskt mineral med vad som ser ut som två spaltningar i hög vinkel, ca 1-2 mm långa och skulle kunna vara amfibol eller pyroxen. Där finns även stråk med metallisk lyster.

Prov D2-2 är en folierad, mörkt färgad bergart med rostig vittringsyta. Vissa av foliationsytorna är glimliga och ser ut att bestå av främst biotit. Bergarten innehåller även ett något mattare, mörkt mineral som är finkornigt samt ca 0.5- 2 mm synliga rosa granater och matta vita finkorniga mineral.

Prov D2-1 och D2-2 togs eftersom att de mattare mörka mineralen i prov D2-2 skulle kunna vara hornblände och de vita matta mineralen är eventuellt plagioklas. Eftersom att bergarten såg ut att bestå mest av dessa mineral ansågs det troligt att prov D2-2 var en metabasalt. Prov D2-1 som togs någon meter därifrån i ett parti som såg ut att innehålla karbonatmineral och skulle kunna vara en metabasalt som blivit omvandlade av koldioxidrika fluider.

Provtagningsplats D29

Prov D29-1 och D29-2 togs vid punkt D29 utsatt på kartan i figur 1. Prov D29 -1 togs i ett område där ca 1-7 cm breda och ca 2 cm till 0.5 m långa ovalt, linsformade ljusa områden som följer ådror sträckte sig in i ett ganska massivt kvarts och biotitrikt lager i metagråvackan. Dessa linsformade områden har en matt gulvit färg på vittringsytan. Prov D29-1 består av ett sådant linsformat område samt en bit av omgivande bergart. Omgivande bergart ser ut att innehålla biotit, kvarts och ca 1-2 mm stora granater. I centrum av det linsformade området i prov D29-1 finns biotit samt rikligt med nålformade ca 1 mm långa glasiga, färglösa till något gulbruna mineral som har en tydlig spaltning och en antydning till en ytterligare spaltning i hög vinkel till den första. Kornstorleken i centrum av linsen är större överlag än i den omgivande bergarten. Där finns också områden som består av finkornigt gråvita mineral som inte går att repa med kniv, troligen mycket finkornigt kvarts.

Prov D29 - 2 togs i ett skiffrikt lager som på vissa ställen var rostigt färgad och på andra ställen hade en något gropig yta. Provet har en rostigt färgad vittringsyta och innehåller rikligt med finkornigt, ca 0.25-0.5 mm, biotit samt finkorniga kvartskorn och ca 1-2 mm stora rosa granater. Där finns också tunna stråk som har en metallisk lyster.

Petrografisk analys

I det här avsnittet kommer tunnslipsbeskrivningar för de fyra proverna att presenteras. En uppskattning av den modala sammansättningen och beskrivningar av svåridentifierade mineral samt texturer kommer att ges.

Prov D2-2

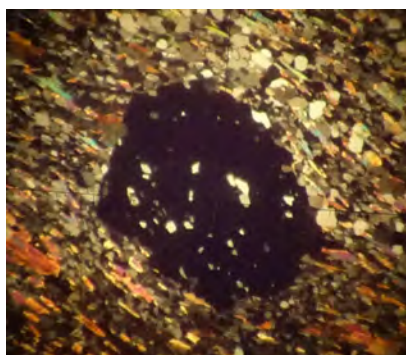
Ungefärlig modal sammansättning					
Kvarts	Biotit	Granat	Fältspat	Klorit	Accesoriska mineral
~70%	~20%	~1%	~3%	~1%	~5%

Tunnslipet domineras finkorniga kvartskorn, ca 0.03-0.05 mm stora, varav många är avlånga i foliationens riktning. Provet innehåller också en stor andel biotit som definierar en relativt kontinuerlig foliation. Ett fåtal stråk innehåller fler och större biotitflak. Där finns också icke-kontinuerliga band eller linser som ligger i foliationens riktning och består främst av större kvartskorn, ca 0.2-0.5 mm stora. Dessa kvartskorn möts med oregelbundna yttre kanter och tillsammans med dem finns också sericitomvandlade anhedrala fältspatkorn, varav några har parallella tvillinglameller och troligen är plagioklas. Mindre fältspatkorn förekommer också tillsammans med den finkorniga kvartsen. Längs med kanterna på många av kvarts kornen kan fina stråk som är gulbruna i PPL och har höga interferens färger i XPL. Dessa stråk skulle kunna utgöras av biotit men på grund av att de är mycket finkorniga är det svårt att avgöra, de ser till exempel inte så pleokroiska ut.

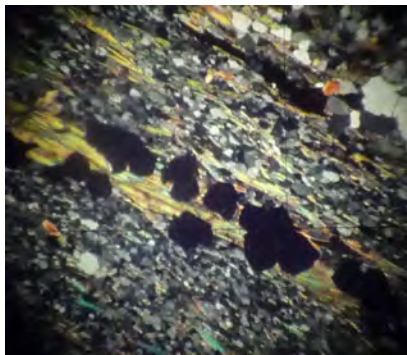
I tunnslipet finns det ett ca 0.6 mm tjockt stråk som är kraftigt berikat i små, ca 0.005-0.02 mm stora, nålformade till mer knubbigt avlånga korn med hög relief jämfört med kvarts och biotit. De har en något mintgrön nyans i PPL och i XPL ser de transparenta ut så att underliggande kvarts färger slår igenom.

Där tycks finnas två slags olika opaka mineral. Det ena bildar avlånga stråk med oregelbundna kanter och lyser gult i reflekterat planpolariserat ljus. Längs kanterna och längs sprickor finns ofta en tjock böljande linje. Detta mineral är svart i reflekterat korspolariserat ljus. Det andra slags opaka mineralet har ofta rundade kanter och är mer jämnstort i olika riktningar även om där finns knubbigt avlånga exemplar. Detta mineral är ljusgrått i reflekterat planpolariserat ljus och de flesta är svarta i reflekterat korspolariserat ljus, men ett blågrönt skimmer kan ses i några.

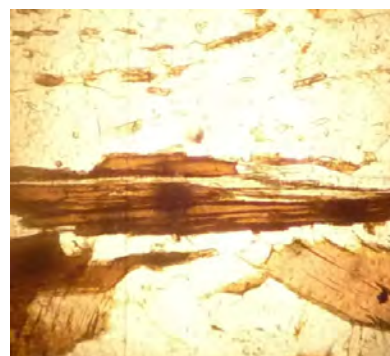
De granater som syns i tunnslipet är ca 0.3-1.5 mm stora poikilblastiska med inklusioner av kvarts och opaka mineral, se figur 3. Förutom dessa finns 0.1-0.2 mm stora subhedrala till euhedrala granater som har vuxit på ett stråk av biotit, se figur 4. Dessa granater innehåller mycket färre inklusioner än granaterna i övriga delen av tunnslipet. Biotit syns längs med några av granaterna och en bit in i dem. Men inga ansamlingar av biotit ses runt omkring granaterna.



Figur 3: Poikilblastisk granat i prov D2-2. XPL, 2.5x förstoring.



Figur 4: Granater på biotitstråk. Den svarta strimman i övre kanten är ett opakt mineral. XPL, 2.5x förstoring.



Figur 5: Biotit med pleokroisk halo, med ett kloritstråk ser ut att bryta igenom denna. PPL, 10x förstoring.

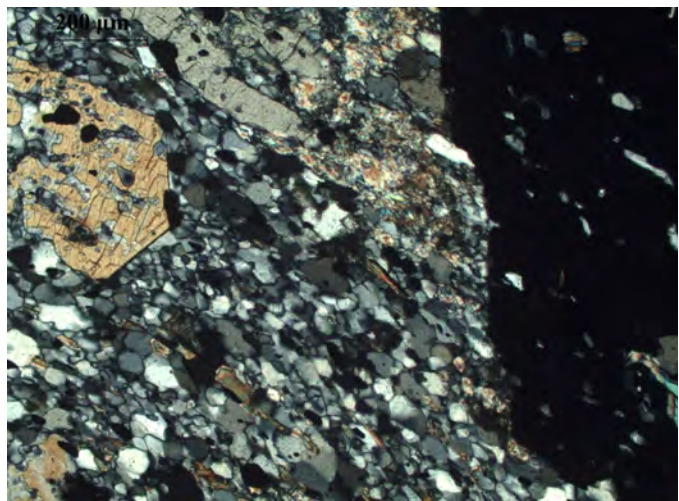
Klorit och biotit syns tillsammans i tunnslipet. Klorit kan på flera ställen ses bryta igenom pleokroiska halos i biotitflak, figur 5, vilket troligen indikerar att klorit är retrograd och håller på att ersätta biotiten. Förhållandet mellan klorit och biotit är oklart på en del ställen, bland annat där ett kloritflak ligger över det biotitstråk med granater på beskrivet ovan.

Prov D2-1

Ungefärlig modal sammansättning							
Kvarts	Biotit	Fältspat	Muskovit	Amfibol	Granat	Opaka	övrigt
~60%	~5%	~3%	~5%	~10%	~4%	~10%	~3%

Tunnslipet består till stor del av kvarts med en kornstorlek på ca 0.02-0.1 mm. Även de plagioklaskorn som finns har en sådan kornstorlek.

De amfiboler som finns i tunnslipet har interferens färger som slår igenom i PPL och är 1:a orderns grå och ljust gul till 2:a orderns blå och gröngul i XPL. De har en utsläckning som inte är parallell med kristallernas långsida. De flesta av amfibolerna ligger med långsidan i samma riktning som biotit och avlånga kvartskorn i en foliation som svänger av något kring den stora poikiloblastiska granaten som finns i tunnslipet, se framsida. Denna granat är översållad med inklusioner av främst kvarts och amfibol. Där finns även inklusioner av opaka mineral som har rundade kanter och är ljustgrå i planpolariserat reflekterat ljus. Där finns också en liten inklusion av ett mineral med ganska rundade kanter, hög relief, ingen pleokroism och som ser lite smutsigt brun ut i PPL. I XPL däremot, lyser vissa punkter upp i detta mineral med vad som ser ut som ganska höga interferensfärger i en annars grå massa. Liknande mineral finns också utanför granaten i matrixet.



Figur 6 Mellan det gula amfibolkornet till vänster och den isotropiska granaten till höger syns kvarts och i den övre delen av bilden även vitt glimmer. XPL.

På sidorna om granaten i foliationens riktning finns en mängd fläckar av vit glimmer, visade i figur 6. Dessa oregelbundna finkorniga fläckar av vitt glimmer återfinns förutom i ena riktningen ut från granaten, längs med sprickor på andra ställen i tunnslipet och även på sidorna kring några amfiboler.

Där finns också en mängd mörkgrå fläckar i PPL som består av mycket finkornig materia. Dessa ser något suddiga ut och har vissa partier som är bläckblå i XPL.

Klorit förekommer i sprickor. Ett kloritflak observerades dock i kontakt med ett amfibolkorn som är halvt inneslutet i granaten.

Två typer av opaka mineral liknande de i tunnslip D2-2 finns. Den ena typen är ofta avlånga och har oregelbundna yttre kanter samt en gul ton i reflekterat planpolariserat ljus. Längs med ytterkanterna och sprickor följer ofta en tjock böljande linje. Den andra typen är ofta mindre och består av mer

jämnstora korn som är ljusgråa i reflekterat planpolariserat ljus, ofta med rundade kanter. Den sista sortens opaka mineral återfinns också som inklusioner i granaten.

Där finns ett stråk innehållande en mängd små mintgröna korn med hög relief som ser transparenta ut i XPL och liknar de korn som finns i tunnslip D2-2.

Prov D 29- 1

Tunnslipet där ådran i prov D29-1 samt en bit av omgivande bergart är synlig kan delas in i en yttre, en inre och en mellanzon.

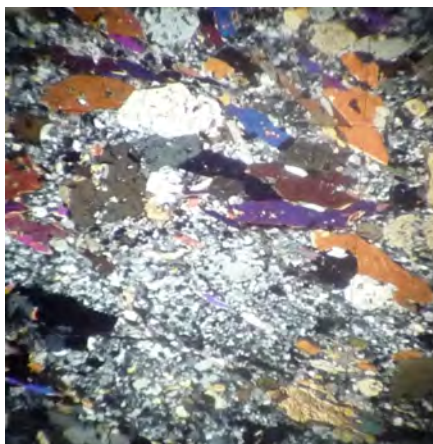
Ungefärlig modal sammansättning					
	Kvarts	Biotit	Amfibol	fältspat	Accesoriska mineral
Inre zon	~45	~10	~40	~1	~4
Mellanzon	~93	~5	-	~1	~1
Yttre zon	~66	~20	~10	~3	~1

Amfibolerna i tunnslipet är anhedrala och innehåller inklusioner av kvarts biotit och opaka mineral. De har tvillingplan och interferensfärger som slår i genom i PPL och varierar mellan 1:a orderns grå till 2:a orderns blå och grön. De opaka mineral som förekommer i tunnslipet har oregelbundna yttre kanter och är ljust grå i reflekterat planpolariserat ljus. Där finns ett fåtal mindre korn som har gul färg i reflekterat PPL ljus. Runt om kring amfibolerna ligger finkornig kvarts samt en del biotitflak.

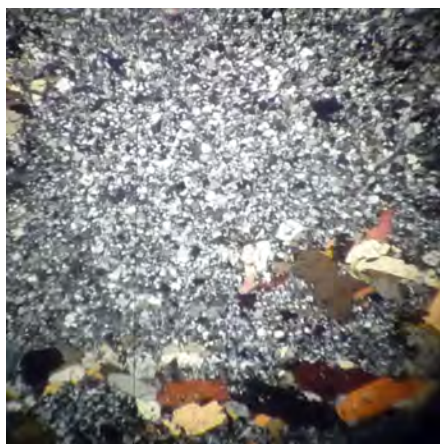
Den yttre zonen består till stor del av kvarts med en kornstorlek på ca 0.01-0.1 mm och biotit, se figur 9. Det finns ett mörkare område i denna zon som ligger närmre den mellersta zonen än kanten på tunnslipet. Detta område består av avlånga ca 0.2 mm, söndriga och inklusionsfyllda fältspatkorn som ser ganska instabila ut. Där finns också kvarts, biotit, klorit, opaka mineral och fullt av rundade korn med hög relief som är något mintgröna. De ser något transparenta ut i XPL och är koncentrerade till den mörkare fläcken. De liknar de korn som finns koncentrerade i band i prov D2-2 och D2-1.

Den mellersta zonen, se figur 8, består dominerande av mycket finkornig kvarts, ca 0.01-0.1 mm stora korn. Små biotitkorn förekommer och i mindre mängd även större kvartskorn, anhedrala amfiboler och opaka mineral i kluster.

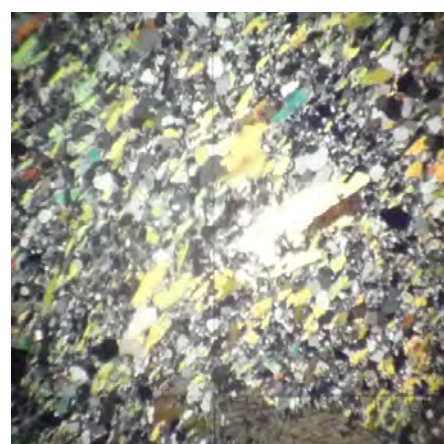
Den inre zonen har en generellt större kornstorlek än de andra zonerna på grund av de många amfibolerna även om kvarts matrixet har samma fina kornstorlek som i övriga delar av tunnslipet, se figur 7. Amfibolerna i den inre zonen har liknande optiska egenskaper som i den yttre zonen. En mycket mindre andel biotit förekommer här än i den yttre zonen.



Figur 7: Den inre zonen i prov D29-1. Större amfibolkorn samt ett opakt mineral i en finkornig matrix av kvarts. XPL, 2.5x förstoring.



Figur 8: Den mellersta zonen i prov D29-1 domineras av finkornig kvarts. I den nedre kanten kan övergången mot den inre zonen ses. XPL, 2.5x förstoring.



Figur 9: Den yttre zonen i prov D29-1 består mestadels av kvarts och biotit. XPL, 2.5x förstoring.

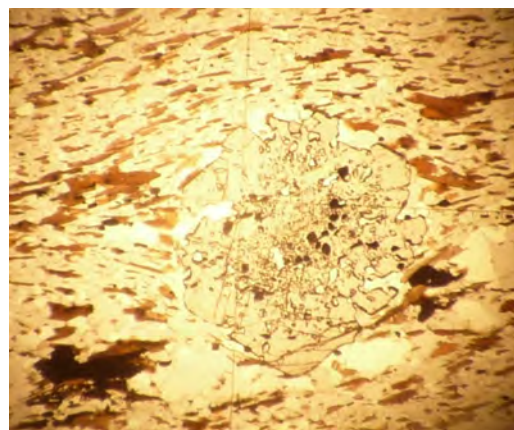
Prov D 29- 2

Ungefärlig modal sammansättning					
Kvarts	Biotit	Fältspat, delvis sericit omvandlad	Granat	Klorit	Accesoriska mineral
~70%	~20%	~ 5%	~2%	< 1%	~ 3 %

Tunnslipet består dominerande av kvarts och innehåller rikligt med biotit. Där finns också poikilblastiska granater, ca 0.8 -1.6 mm stora, ofta med trasiga yttre kanter, se figur 10. Biotit definierar en kontinuerlig foliation som böjs av något kring granaterna. I större delen av slipet har kvarts en kornstorlek på ca 0.03 - 0.1 mm men där förekommer också större korn och många är något avlånga i foliationens riktning. Vissa band utgörs dock av kvarts med större kornstorlek, ca 0.1-0.6 mm. Kvartskornen i dessa möts ofta med oregelbundna yttre kanter men en del korn möts med en 120° vinkel. Där finns också fältspat som har en något smutsig yta i PPL, antagligen på grund av sericitomvandling.

Inklusioner i granaterna utgörs av kvarts, opaka mineral som är jämnstora i alla riktningar och har rundade kanter samt ett mineral med hög relief och smutsig brunsvart färg i PPL med interferensfärger som slår igenom. I XPL har den sistnämnda typen av inklusioner i alla fall 2:a orderns interferensfärger och de är fläckiga med olika färger, där vissa partier är brunsvarta. De ger ett något suddigt intryck och är svåra att fokusera på. I reflekterat planpolariserat ljus lyser dessa mineral upp och är vita. Dessa mineral finns också ute i matrixen.

I en av granaterna finns en spricka och däri sitter nålformade mineral som ser ut att ha växt ut ifrån granatens



Figur 10: Poikilblastisk granat, PPL, 2.5x förstoring

sida. I PPL ser de färglösa ut, utan pleokroism och de har lägre relief än granaten men ändå en viss relief jämfört med omgivande massa i sprickan. I XPL ser nålarna ut att ha interferensfärger upp till 2:a orderns blå, om inte något mer. Runt omkring finns en massa som är mörkt grå till svart med 1:a orderns färger i XPL. I en annan mindre spricka finns eventuellt klorit.

Flera av de små biotitflak som är i kontakt med granaterna fortsätter och ligger in bit in, över granatens yttre kant något, men ingen direkt ansamling av biotit kan ses omkring granaterna.

Kloritstråk finns omväxlande med biotit. Kloritstråken kan ses skära igenom pleochroiska halos på flera ställen vilket tolkas som att klorit ersätter biotit och är retrograd.

Elektronmikrosond-analys

Kemisk analys av mineral i prov D2-1 och D2-2 gjordes. Den poikiloblastiska granaten i prov D2-1 innehåller som beskrivits ovan en mängd amfibolinklusioner. Mätningar på dessa inklusioner samt den intilliggande granatens sammansättning gjordes. Resultatet från mätningarna presenteras i tabell 1. Inklusionerna av amfibol i granaten är cummingtonit-grunerit medan granaten huvudsakligen utgörs av ändkomponenten almandin.

I prov D2-2 gjordes mätningar på en granat sittande på ett stråk av biotit, se figur 4. Mätningar på klorit och fältspat gjordes även. Mindre korn som tolkades som sericit fanns i närheten av fältspaten. Försök till att mäta kemin på denna sericit gjordes, men tycks inte ha lyckats, och presenteras tillsammans med övriga resultat i tabell 2. Mät punkt A1-ser är troligen en mätning på fältspat och inte sericit.

mät punkt	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	MnO	K ₂ O	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	Summa
x1-amf	0.0459	0.7654	51.55	13.18	0.3555	0.8519	0	0.0541	0.0148	31.06	97.8776
x1-grt	0	21.25	37.15	1.81	4.81	4.07	0.0106	0.0805	0.0105	32.54	101.7315
x2-amf	0.1055	0.7561	51.93	13.06	0.2689	0.8093	0.0112	0.0076	0.0254	31.4	98.3741
x2-grt	0	21.21	36.93	1.68	4.37	4.28	0.0014	0.0531	0.0589	32.8	101.3834
x3-amf	0.0276	0.69	51.48	13.05	0.3348	0.5898	0.0012	0.0054	0.0147	31.82	98.0136
x3-grt	0	21.15	36.76	1.71	4.12	3.74	0.0111	0.0375	0.021	33.77	101.3195
x4-amf	0.0308	1.0824	51.6	13.42	0.4062	0.5134	0.0002	0.0451	0.0191	30.74	97.8572
x4-grt	0.0083	21.29	37.12	2.18	2.62	2.69	0	0	0.0562	35.63	101.5944

Tabell 1: Resultatet från kemisk analys av mineral i prov D2-1. Alla värden ges som vikt %. Amf- amfibol, grt- granat, bi- biotit, klo- klorit, mu- muskovit, fsp- fältspat.

mät punkt	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	MgO	CaO	MnO	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	FeO	Summa
A1-bi	0.0666	17.33	35.17	10.05	0.106	0.0728	8.59	1.6092	0.4131	21.32	94.7277
A2-fsp	0.6458	35.31	44.2	0.0168	19.49	0.0117	0.005	0.0077	0	0.0527	99.7398
A3-mu	0.3228	35.49	47.21	0.21	0.1385	0	10.62	0.0521	0.0359	0.9443	95.0236
C1-amf	0.0992	1.0141	51.79	13.29	0.3274	0.39	0.0057	0.0635	0.0359	30.81	97.8258
C1-grt	0	21.08	36.73	2.04	2.42	2.36	0.0118	0.0096	0.0602	36.1	100.8115
C2-klo	0	22.17	24.14	12.9	0.0773	0.0553	0.0184	0.0997	0.1509	28.44	88.0517
x5-amf	0.0029	0.6841	51.94	12.85	0.434	0.6853	0.0011	0.0297	0.0316	31.37	98.0288
x5-grt	0.0381	21.13	36.99	1.66	4.04	3.93	0	0.0294	0.0607	33.47	101.3482
y1-amf	0.0525	1.0135	51.75	13.06	0.4369	0.5586	0.0114	0.02	0.0401	31.25	98.193
y1-grt	0.025	21.66	37.07	2.03	4.07	3.44	0	0	0.0419	34.04	102.3768
B1-mu	0.0693	35.89	46.13	0.1344	0.0237	0.0553	10.85	0.0361	0	1.73	94.9189

Tabell 1 fortsättning: Resultatet från kemisk analys av mineral i prov D2-1. Alla värden ges som vikt %. Amf- amfibol, grt- granat, bi- biotit, klo- klorit, mu- muskovit, fsp- fältspat.

mät punkt	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	MgO	CaO	MnO	K_2O	TiO_2	Cr_2O_3	FeO	Summa
B1-grt-c	0.2012	21.71	37.12	2.62	2.09	1.1315	0.0235	0	0	36.95	101.8461
B1-grt-r	0.0397	21.51	36.75	2.29	2.24	0.9949	0.0464	0	0.0062	37.34	101.2171
B1-bi	0.0599	17.28	35.25	10.63	0.0554	0.0221	8.77	1.2726	0.0507	21.7	95.0908
B2-klo	0.1105	21.73	25.29	14.57	0.0356	0.044	0.0956	0.1825	0	26.74	88.7982
A1-fsp	6.55	26.34	57.17	0.0147	8.74	0	0.0332	0.0212	0	0.0851	98.9543
A1-ser	6.53	27.11	56.79	0.0049	9.15	0	0.0544	0.0323	0.0072	0.033	99.7119
A2-ser	0.6763	19.13	62.89	0.0078	0.5128	0.0364	14.47	0	0.0071	0.0932	97.8237
A2-fsp	5.72	28.4	55.76	0.0136	10.41	0.0329	0.0549	0.0235	0	0.1467	100.5615

Tabell 2: Resultat från mätningar på prov D2-2. Alla värden ges som vikt %. grt-c: granatens kärna, grt-r: granatens kant, bi: biotit, klo: klorit, ser: sericit, fsp: fältspat.

Uppskattning av temperaturförhållandena under metamorfos

Eftersom att inga tillförlitliga geobarometrar kunde tillämpas på mineralogin i prov D2-1 och D2-2 gjordes temperaturuppskattningar vid det tryck som uppskattades till 3.1 ± 1.3 kbar av Engström (2011)

i en icke migmatiserad gråvacka från Stora Persholmen.

Eftersom att tecken på att klorit är retrograd finns på några ställen i tunnslipet D2-2 gjordes en uppskattning där klorit togs bort i input filen till AX_2 och temperaturen uppskattades i THERMOCALC utan klorits ändkomponenters aktiviteter. Uppskattningen av temperatur för granatens kärna blev då $486 \pm 71^\circ \text{C}$ vid 3.1 kbar medan temperaturen för granatens kant uppskattades till $444 \pm 68^\circ \text{C}$ vid samma tryck. Detta resultat kan jämföras med de högre temperaturerna och mindre skillnader mellan kärna och kant som blev resultatet av att klorit medtogs i beräkningen, se tabell 3. De filer som genererades av THERMOCALC för mätningen på granatens kant återfinns i appendix 2.

	T ($^\circ \text{C}$), granatens kärna	σ_{fit}	T ($^\circ \text{C}$), granatens kant	σ_{fit}	σ_{fit} bör understiga
D2-2, klorit borttagen från inputfil	$486 \pm 71^\circ \text{C}$	0.6	$444 \pm 68^\circ \text{C}$	0.5	1.96
D2-2, klorit medtagen i inputfil	$567 \pm 13^\circ \text{C}$	1.2	$565 \pm 15^\circ \text{C}$	1.3	1.54

Tabell 3. Uppskattning av temperatur för prov D2-2 vid trycket 3.1 kbar

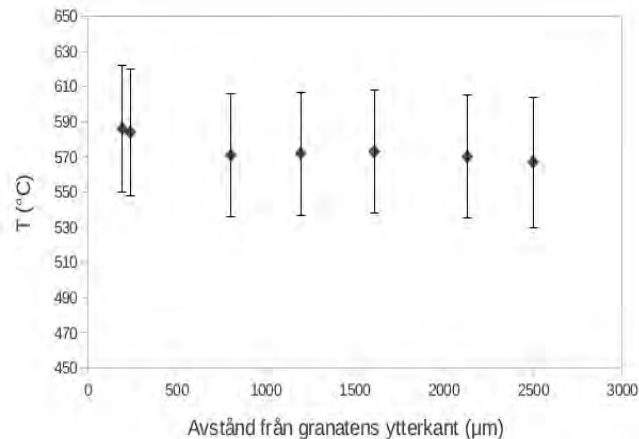
Mätpunkt	μm från granatens kant	Tryck (kbar)	T ($^\circ \text{C}$)	σ_{fit}
x1	2500	3.1	567 ± 37	4.4
x2	2100	3.1	570 ± 35	4.2
x3	1200	3.1	572 ± 35	4.2
x4	240	3.1	584 ± 36	4.1
x5	1600	3.1	573 ± 35	4.1
y1	800	3.1	571 ± 35	4.1
c1	200	3.1	586 ± 36	4.2

Tabell 4: resultat för uppskattning av temperatur baserat på mätningar av amfibolinklusioner i granaten i prov D2-1.

De temperaturuppskattningar som gjordes på inklusioner i den poikilblastiska granaten i prov D2-1 presenteras i tabell 4 och figur 11 och återföljs av stora σ_{fit} värden, större än 1.35 vilket är det maxvärde som rekommenderas. Enligt Powell och Holland (1994) visar detta att det finns en stor spridning i skillnaden mellan observerade och beräknade värden på entalpi och aktiviteter, normaliserade till sina osäkerheter. Detta kan enligt författarna bero på avvikande värden för en ändkomponent i ett mineral eller på en allmän spridning på grund av att mineralen inte befinner sig i jämvikt med varandra. Ytterligare parametrar som ger information om osäkerheten i uppskattningen

kan ses i den fil som genererades av THERMOCALC för mätpunkt x1, se appendix 2. Parametern e^* visar på avvikelser mellan den uppmätta aktiviteten för en ändkomponent och den aktivitet som behövs för att alla jämviktsförhållanden mellan mineralen ska sammanfalla vid den optimala uppskattningen av temperatur och tryck (Powell & Holland, 1994). Flera ändkomponenter har högre e^* värden än de som rekommenderas och det tycks inte röra sig om en enda avvikande ändkomponent.

Temperaturuppskattningarna i prov D2-1 visar inte någon markant skillnad i temperaturförhållanden från granatens kant till dess inre regioner, se figur 11.



Figur 11, uppskattad temperatur från mätningar på amfibolinklusioner och intilliggande granat i prov D2-1.

Felkällor

Identifiering av bergarter har gjorts av en enda person vilket medför en viss osäkerhet i resultatet. Men genom av vägledning från handledare och diskussioner med mina kurskamrater som gjort liknande arbeten på andra delar av Utö kunde en bättre identifiering göras.

Inställningen av optiskt fokus under elektronmikrosond-analysen gjordes manuellt vilket bidrar till osäkerhet i resultaten.

Det är inte säkert att klorit i prov D29-2 och D2-2 är retrograd. Det kloritkorn som jag gjorde en mätning på i D2-2 uppvisade inte tydliga sådana tecken. Guidotti et al. (1991) diskuterar svårigheterna i att avgöra om klorit befinner sig i jämvikt med övriga mineral i metapeliter och menar att den bästa metoden för att göra detta är genom att studera mineralens kemiska sammansättning. Dessa författare poängterar också att även om jämvikt inte uppnåtts textuellt kan kemisk jämvikt ha uppnåtts.

Temperaturuppskattningar från mätningar på den poikiloblastiska granaten med cummingtonit-grunerit inklusioner som finns i prov D2-1 är ca 100 grader högre än den temperaturuppskattning från D2-2 då klorit exkluderades från beräkningarna. Proverna är tagna med någon meters avstånd mellan och en så stor temperaturskillnad verkar osannolik. Eftersom att det finns en oklarhet i om klorit verkligen är retrograd och att den uppskattning som fås då klorit medtages i

beräkningen är mer förenlig med uppskattningen från prov D2-1 och de temperaturuppskattningar på 591 ± 64 °C som gjorts i övriga centrala Bergslagen och presenteras av Stephen et al. (2009) anses temperaturuppskattningen på 565 ± 15 °C vara rimligare.

Den temperaturuppskattning som har gjorts på D2-1 följs av stora σ_{fit} värden vilket, liksom diskuteras ovan, kan möjligen bero på att mineralen i provet inte representerar ett jämviktsförhållande.

Diskussion

Prov D2-2 visade sig vara en biotitskiffer och inte en metabasalt. I detta prov finns dels granater som är poikiloblastiska och stora i jämförelse med de mindre och mer euhedraala granaterna på biotitstråket som mätningar gjordes på. Dessa två typer av granater skulle eventuellt kunna motsvara två generationer som har växt till under de två faserna av metamorfos som nämns av Talbot (2008) och Stålhös (1982).

Mineralogin i prov D2-1 skiljer sig från den i prov D2-2 och proven skulle antingen kunna ha haft olika ursprunglig sammansättning eller ha haft en liknande ursprunglig sammansättning varefter prov D2-1 har blivit omvandlad av fluider. Något som talar för det senare alternativet är att det i prov D29-1, i ådrans inre zon, förekommer amfiboler med liknande optiska egenskaper som de amfiboler som finns i prov D2-1. Även om det finns skillnader mellan den inre zonen i D29-1 och prov D2-2 finns där ytterligare en likhet. Prov D2-1 innehåller en betydligt mindre andel biotit än prov D2-2 vilket den inre zonen i D29-1 också gör jämfört med den yttre zonen.

Den temperaturuppskattning på 565 ± 15 °C som har antagits vara den mer rimliga för prov D2-2, se diskussion ovan, överlappar med uppskattningen som gjorts för prov D2-1. Dessa uppskattningar indikerar att bergarterna blivit utsatta för amfibolitfacies metamorfism och överrensstämmer med temperaturuppskattningar gjorda i andra delar av centrala Bergslagen (Stephens et al., 2009). De temperaturuppskattningar som presenteras här ligger också i närheten av de uppskattningar på 538 ± 36 °C (Engström, 2011) samt 681 ± 94 °C och 519 ± 13 °C (Barrientos, 2011) som gjorts i den icke migmatiserade gråvackan på sydöstra delen av Stora Persholmen. De metamorfa temperaturförhållandena vid den sydöstra kusten skulle dock förväntas vara lägre än de på Stora Persholmen. Även i den icke migmatiserade gråvackan på sydöstra delen av Stora Persholmen har sillimanit observerats av Barrientos (2011), vilket indikerar en högre metamorfosgrad än den som har påverkat metagråvackorna längs den sydöstra kusten. Området med icke migmatiserade gråvackor på Stora Persholmen befinner sig dock sydöst om den mylonitzon som enligt Talbot (2008) markerar gränsen till mer migmatiserade bergarter som har omvandlats under betydligt högre temperaturer, 756 ± 133 enligt en uppskattning gjord av Engström (2011).

Slutsats

Då granaterna i prov D2-2 antogs befinna sig i jämvikt med biotit, fältspat och klorit uppskattades den temperatur som rådde under metamorfos till 565 ± 15 °C vid det tryck på 3.1 kbar som uppskattats av

Engström (2011). Denna temperaturuppskattning överrensstämmer med de temperaturuppskattningar som baseras på mätningar gjorda i den poikiloblastiska granaten i prov D2-1, vilka resulterade i temperaturer på $567 \pm 37^\circ \text{C}$ närmast granatens kärna och $586 \pm 36^\circ \text{C}$ närmare kanten vid samma tryck.

Tillkännagivanden

Främst vill jag tacka mina handledare Alasdair Skelton och Joakim Mansfeld för att jag har fått möjligheten att genomföra det här projektet och för den hjälp och de förslag på förbättringar av det här arbetet som ni har gett mig.

Jag vill tacka Dan Zetterberg för den hjälp vi har fått med bland annat sågning och förberedelser av prover. Jag vill tacka Curt Broman för hjälpen med fotografering av tunnslip. Jag vill också tacka Jaroslaw Majka för den hjälp vi fick under elektronmikrosond-analysen.

Till sist vill jag tacka mina kurskamrater för att det har känts lätt att fråga om och diskutera saker tillsammans med er och för det stöd som jag har känt från er. Jag vill också tacka Måns Daniel för det foto som han har tagit av granaten i prov D2-1 och som används som bild på framsidan av detta arbete.

Referenser

Allen, R. L., Lundström, I., Ripa, M., Simeonov, A. & Christofferson, H., 1996. *Facies analysis of a 1.9 Ga, continental margin, back-arc, felsic caldera province with diverse Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulfide and Fe oxide deposits, Bergslagen region, Sweden*, Economic Geology 91, 979-1008.

Andersson, U. B., Högdahl, K., Sjöström, H. & Bergman, S., 2006, *Multistage growth and reworking of the Palaeoproterozoic crust in the Bergslagen area, southern Sweden: evidence from U-Pb geochronology*, Geol. Mag. 143 (5), pp. 679-697

Cambridge University Press

doi:10.1017/S0016756806002494

Barrientos, N., 2011, *Determination of metamorphic conditions in metapelites on Stora Persholmen, NE Utö, with EMPA analysis*.

Claesson, S., Huhma, H., Kinny, P. D. & Williams, I. S., 1993, *Svecofennian detrital zircon ages implications for the Precambrian evolution of the Baltic Shield*, Precambrian Research, 64, 109-130 ,

Engström, A. , 2011, *Investigation of the metamorphic environment conditions of Persholmen, NE Utö, with SEM generated data.*, Bachelor Thesis Stockholm University

Gavelin, S., Lundström, I. och Norström, S., 1976, *Svecofennian stratigraphy on Utö, Stockholm*

archipelago Correlations with Finland and Sweden, Sveriges Geologiska Undersökning, Serie C nr 719.

Guidotti, C. V., Teichmann, F. & Henry, D. J., 1991, *Chlorite-bearing polymetamorphic metapelites in the Rangeley area, Maine: Evidence for equilibrium assemblages*, American Mineralogist, Vol. 76, 867-879

Lundström, I., Allen, R. L., Persson, P-O. & Ripa, M., 1998, *Stratigraphies and depositional ages of Svecofennian, Palaeoproterozoic metavolcanic rocks in E. Svealand and Bergslagen, south central Sweden*, GGF, 120:3, 315-320.

Powell, R. & Holland, T. J. B., 1994, *Optimal geothermometry and geobarometry*, American Mineralogist, Vol. 79, 120-133

Reed, S. J. B., 2005, *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, Cambridge University Press, Online ISBN: 9780511610561

Stephens, M. B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009, *Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden*, Sveriges geologiska undersökning, ISSN 0373-2657 , ISBN 978-91-7158-883-8

Stålhös, G., 1982, *Beskrivning till berggrundskartan Nynäshamn NO/SO : Utö med omgivande skärgård*, Sveriges geologiska undersökning

Talbot, C. J., 2008, *Paleoproterozoic crustal building in NE Utö, southern Svecofennides, Sweden*, GFF, 130:2, 49-70.

Winter, J. D., 2010, *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*, Second Edition, Pearson Education, Inc, kap 27.

Hemsidor:

<http://www.metamorph.geo.uni-mainz.de/thermocalc/documentation/axmodels/index.html>

Appendix 1

Standarder och kristaller använda vid mikroprob analys

Measurement	Condition	Current	Voltage							
		10nA	15kV							
WDS elem										
Element	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos. (nm)		BG_L	BG_U	(mm)	
1 Na	Ka	TAP		1	15	129.683	1.19101	3.756	1.7	
2 Al	Ka	TAP		1	15	90.743	0.83393	5.75	3	
3 Si	Ka	TAP		2	15	77.425	0.71254	6.15	2.2	
4 Mg	Ka	TAP		2	15	107.6	0.989	5.164	2.636	
5 Ca	Ka	PETJ		3	15	107.373	0.33584	1.4	0.9	
6 Mn	Ka	PETJ		3	15	66.809	0.21018	2.3	1.3	
7 K	Ka	PETH		4	15	119.836	0.37414	1.934	1.417	
8 Ti	Ka	PETH		4	15	87.983	0.27485	2	2	
9 Cr	Ka	LIFH		5	15	159.403	0.22897	2	2	
10 Fe	Ka	LIFH		5	15	134.792	0.1936	4.7	4.8	

Standard Data

Element	Standard	Mass(%)
1 Na2O	Albi	11.4848
2 Al2O3	Al2O3	100.0138
3 SiO2	Woll	51.7257
4 MgO	MgO	98.7935
5 CaO	Woll	48.3004
6 MnO	MnTiO3	47.0265
7 K2O	Orhtoclase	15.696
8 TiO2	MnTiO3	52.9775
9 Cr2O3	Cr2O3	99.9985
10 FeO	Fe	128.6417

Standard Intensity of WDS

Element	Curr.(A)	Net(cps)	Bg-(cps)	Bg+(cps)	S.D.(%)
1 Na	1.00E-08	547.3	9.9	8.5	0.46
2 Al	1.01E-08	11547.4	36.9	26	0.1
3 Si	1.01E-08	6288.8	27.5	27.8	0.13
4 Mg	1.01E-08	10598.2	12.7	22.9	0.1
5 Ca	1.01E-08	3259.5	16.2	18.5	0.19
6 Mn	1.00E-08	3168	57.9	54.5	0.19
7 K	1.00E-08	3849.3	28.4	30.6	0.17
8 Ti	1.00E-08	10885.1	94.9	93.2	0.1
9 Cr	1.00E-08	4752.5	17.6	19.4	0.15
10 Fe	1.00E-08	8159.1	31.2	27.1	0.12

Appendix 2

Thermocalc output fil för D2-2, mätning på granatens kant, klorit är inkluderad:

calcs use:

an independent set of reactions has been calculated

Activities and their uncertainties

```

py gr alm phl ann east clin
a 0.00147 0.000380 0.480 0.0390 0.0410 0.0460 0.0230
sd(a)/a 0.70697 0.77434 0.15000 0.38642 0.38633 0.37023 0.43181

```

```

daph ames an q H2O

```

```
a      0.0260 0.0298 0.680 1.00 1.00
sd(a)/a 0.44574 0.41073 0.05000 0
```

Independent set of reactions

- 1) clin + ames + 4q = 3py + 8H2O
- 2) 3gr + 5ames + 11q = 4clin + 9an + 4H2O
- 3) 5py + 3daph = 5alm + 3clin
- 4) east + 2clin + 4q = 3py + phl + 8H2O
- 5) py + ann = alm + phl

Calculations for the independent set of reactions

at P = 3.2 kbar (for x(H2O) = 1.0)

	T(P)	sd(T)	a	sd(a)	b	c	ln_K	sd(ln_K)
1	562	25	521.61	0.98	-0.52420	0.525	-12.282	2.203
2	472	34	270.80	2.94	-0.63060	18.109	22.632	3.578
3	569	1013	-221.21	5.51	0.02473	0.172	28.575	4.065
4	571	28	518.60	1.06	-0.51372	0.180	-12.188	2.352
5	471	388	-45.19	0.92	0.01425	-0.286	5.739	0.906

Average temperatures (for x(H2O) = 1.0)

corresponding average T

	avT	sd	fit
lsq	567	14	1.20

diagnostics on this average T

for 95% confidence, fit (= sd(fit) = sqrt(MSWD)) < 1.54 (but larger may be OK)

column:

1-3: result of doubling the uncertainty on ln a.

4: e* = ln a residuals normalised to sd(ln a) : |e*| > 2.5 suspect?

5: hat = diagonal elements of the hat matrix : hat > 0.42 influential.

6-7: observed and calculated activities of endmembers.

8-9: regression-through-origin x,y values

	T	sd	fit	e*	hat	a(obs)	a(calc)	x	y
py	568	15	1.19	0.3	0.24	0.00147	0.00182	0.04	35.38
gr	567	11	0.95	-1.5	0.00	0.000380	0.000123	-0.00	-1.52
alm	563	15	1.17	-0.4	0.12	0.480	0.455	0.03	25.59
phl	564	14	1.14	-0.7	0.06	0.0390	0.0300	0.02	18.66
ann	564	13	1.06	1.0	0.03	0.0410	0.0605	-0.01	-12.87
east	567	14	1.18	-0.3	0.01	0.0460	0.0410	-0.01	-5.54
clin	566	12	1.03	1.1	0.00	0.0230	0.0362	-0.00	-1.52
daph	567	17	1.20	-0.1	0.26	0.0260	0.0254	-0.04	-36.73
ames	571	14	1.13	-0.7	0.13	0.0298	0.0227	-0.03	-25.41
an	567	14	1.18	0.3	0.00	0.680	0.690	0.00	0.29
q	567	14	1.20	0	0	1.00	1.00	0	0
H2O	567	14	1.20	0	0	1.00	1.00	0	0

P	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
av T	561	562	563	564	564	565	565	566	567	567	568	568	568	569	569	570
sd	17	17	16	16	15	15	15	14	14	14	13	13	12	12	12	12
sigfit	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0

Thermocalc output fil för D2-2, mätning på granatens kant, klorit är borttagen:

calcs use:

an independent set of reactions has been calculated

Activities and their uncertainties

```

      py  gr  alm  phl  ann  east  an
a    0.00147 0.000380 0.480 0.0390 0.0410 0.0460 0.680
sd(a)/a  0.70697 0.77434 0.15000 0.38642 0.38633 0.37023 0.05000

```

```

      q  H2O
a    1.00 1.00
sd(a)/a  0

```

Independent set of reactions

- 1) py + ann = alm + phl
- 2) 2gr + 3alm + 3east + 6q = 2py + 3ann + 6an

Calculations for the independent set of reactions

at P = 3.2 kbar (for x(H2O) = 1.0)

```

      T(P) sd(T)  a  sd(a)  b  c  ln_K  sd(ln_K)
1    471  388 -45.19  0.92 0.01425 -0.286  5.739  0.906
2    446   64 133.23  3.19 -0.25699 11.719  2.248  2.696

```

Average temperatures (for x(H2O) = 1.0)

corresponding average T

```

      avT  sd  fit
lsq  453  68  0.33

```

diagnostics on this average T

for 95% confidence, fit (= sd(fit) = sqrt(MSWD)) < 1.96 (but larger may be OK)

column:

1-3: result of doubling the uncertainty on ln a.

4: e* = ln a residuals normalised to sd(ln a) : |e*| > 2.5 suspect?

5: hat = diagonal elements of the hat matrix : hat > 0.25 influential.

6-7: observed and calculated activities of endmembers.

8-9: regression-through-origin x,y values

```

      T  sd  fit  e*  hat  a(obs)  a(calc)  x  y
py  441  88  0.26 -0.2 0.38 0.00147 0.00132 0.01 6.69
gr  462  79  0.24 -0.2 0.22 0.000380 0.000330 -0.01 -4.82
alm 452  71  0.33  0.0 0.03 0.480 0.481 -0.00 -1.89
phl 451  69  0.24  0.2 0.01 0.0390 0.0417 -0.00 -1.25
ann 449  86  0.32 -0.0 0.20 0.0410 0.0404 0.01 4.86
east 459  75  0.27 -0.1 0.11 0.0460 0.0438 -0.00 -3.45
an  453  69  0.32  0.0 0.01 0.680 0.681 0.00 0.93
q   453  68  0.33  0  0  1.00 1.00 0 0

```

```

P    2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 3.0 3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9 4.0
av T  420 424 428 432 436 440 444 449 453 457 461 465 469 473 477 481
sd    68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68 68
sigfit 0.8 0.8 0.7 0.6 0.6 0.5 0.5 0.4 0.3 0.3 0.2 0.1 0.1 0.0 0.0 0.1
=====

```

Thermocalc output fil för D2-1, mätning på inklusion x1:

calcs use:

an independent set of reactions has been calculated

Activities and their uncertainties

```

      cumm  grun  py  gr  alm  phl  ann
a      0.0195 0.0970 0.000890 0.00320 0.310 0.0340 0.0430
sd(a)/a 0.44413 0.35000 0.73519 0.65429 0.15000 0.39913 0.37985

```

```

      east  an  ab  mu  cel  fcel  pa
a      0.0410 0.950 0.162 0.830 0.00200 0.0150 0.0420
sd(a)/a 0.38162 0.05000 0.21067 0.10000 5.00000 0.66667 0.27533

```

```

      clin  daph  ames  q  H2O
a      0.0140 0.0380 0.0226 1.00 1.00
sd(a)/a 0.46641 0.39657 0.43316 0 0

```

Independent set of reactions

- 1) 2cumm + 4ames = 5py + 3clin + 6H2O
- 2) 2cumm + 7ames + 12q = 14py + 30H2O
- 3) 7daph + 16q = 2grun + 7alm + 26H2O
- 4) 19cumm + 77py + 105daph + 84q = 75grun + 91ames
- 5) east + cel = phl + mu
- 6) 13alm + 19fcel + 2daph = 8grun + 4ann + 15mu
- 7) 6grun + 16mu + 27daph = 43alm + 16ann + 114H2O
- 8) 7ab + 7daph + 19q = 5grun + 7pa + 16H2O
- 9) phl + east + 6q = py + 2cel
- 10) 2cumm + 4east + clin = 5py + 4phl + 6H2O
- 11) 3phl + 3an + 6q = 2py + gr + 3cel

Calculations for the independent set of reactions

at P = 3.2 kbar (for x(H2O) = 1.0)

	T(P)	sd(T)	a	sd(a)	b	c	ln_K	sd(ln_K)
1	369	59	429.90	2.32	-0.44978	-1.860	-24.894	4.389
2	508	32	1994.72	4.42	-2.02237	-0.285	-63.937	10.767
3	561	14	1258.06	13.00	-1.61547	6.515	10.027	3.049
4	493	381	-4412.23	226.17	1.47045	149.904	439.197	85.162
5	319	2529	-22.73	0.32	-0.01196	0.325	5.841	5.031
6	539	1378	-523.72	15.69	-0.05919	35.594	67.515	13.314
7	514	13	5756.61	51.22	-7.43118	20.192	4.568	14.148
8	555	34	677.16	14.90	-0.84632	3.653	1.776	4.081
9	372	1572	57.86	1.08	0.03841	-4.164	-12.878	10.042
10	400	65	417.87	2.16	-0.40786	-3.242	-23.727	4.404
11	450	552	87.98	1.52	0.16473	-11.676	-28.139	15.134

Average temperatures (for x(H2O) = 1.0)

corresponding average T

```

      avT  sd  fit
lsq    572  35  4.12

```

diagnostics on this average T

for 95% confidence, fit (= sd(fit) = sqrt(MSWD)) < 1.35 (but larger may be OK)

column:

1-3: result of doubling the uncertainty on ln a.

4: e* = ln a residuals normalised to sd(ln a) : |e*| > 2.5 suspect?

5: hat = diagonal elements of the hat matrix : hat > 0.58 influential.

6-7: observed and calculated activities of endmembers.

8-9: regression-through-origin x,y values

	T	sd	fit	e*	hat	a(obs)	a(calc)	x	y
cumm	552	29	3.26	-6.9	0.06	0.0195	0.000908	0.03	31.93
grun	574	35	4.05	-2.0	0.01	0.0970	0.0487	-0.01	-9.01
py	576	36	4.08	2.1	0.08	0.000890	0.00409	0.03	25.49
gr	578	36	4.06	-2.3	0.11	0.00320	0.000721	-0.04	-30.20
alm	575	39	4.11	0.6	0.14	0.310	0.337	0.04	36.29
phl	573	33	3.88	4.5	0.00	0.0340	0.206	0.00	-0.69
ann	573	32	3.75	5.4	0.00	0.0430	0.328	0.00	-2.20
east	575	35	4.04	2.8	0.03	0.0410	0.121	0.02	15.09

an	573	35	4.11	0.5	0.01	0.950	0.975	0.01	6.92
ab	571	35	4.11	-0.9	0.01	0.162	0.135	0.01	10.95
mu	576	32	3.81	-3.3	0.00	0.830	0.598	-0.01	-3.11
cel	572	35	4.12	0.4	0.00	0.00200	0.0139	-0.00	-0.56
fccl	572	35	4.12	-0.1	0.00	0.0150	0.0143	-0.00	-0.55
pa	570	35	4.10	1.1	0.02	0.0420	0.0576	-0.02	-14.31
clin	558	34	3.83	4.7	0.11	0.0140	0.128	-0.04	-37.50
daph	577	39	4.10	-1.1	0.19	0.0380	0.0246	-0.05	-41.82
ames	571	37	4.12	0.1	0.09	0.0226	0.0233	-0.04	-30.22
q	572	35	4.12	0	0	1.00	1.00	0	0
H2O	572	35	4.12	0	0	1.00	1.00	0	0

P	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
avT	560	561	562	563	565	566	567	571	572	573	574	574	575	576	577	578
sd	36	36	36	36	37	37	37	35	35	35	35	35	35	36	36	36
sigfit	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
=====																