



Stockholm
University

Bachelor Thesis

Degree Project in
Geology 15 hp

**En fält-, geokemisk och petrologisk studie av
omvandlingar orsakade av metamorfa fluider
i västra Rävstavik på Utö**

Samuel Sköldbloom



Stockholm 2019

Department of Geological Sciences
Stockholm University
SE-106 91 Stockholm

Innehållsförteckning

1. Abstract	2
2. Förord	3
3. Introduktion	4
3.1 Metamorfos.....	4
3.2 Metasomatos.....	4
3.3 Viktigt att undersöka.....	4
3.4 Karta över området.....	4
3.5 Syfte.....	5
4. Geologisk Bakgrund	5
4.1 Hur formades Utö?.....	5
4.2 Bergarterna på Utö.....	6
4.3 Olika faser och strukturer på Utö.....	6
4.4 Skjuvningszonen på Utö.....	7
5. Metod	7
5.1 Fältarbete.....	7
5.1.1 Fältskiss.....	7
5.1.2 Stuffprovtagning.....	8
5.1.3 Analys och undersökning med XRF	8
5.2 Mer detaljerad beskrivning hur en XRF funkar.....	8
5.3 Tunnslip analys	8
6. Resultat	9
6.1 Fältskiss över området.....	9
6.2 Tunnslip observationer.....	9
6.2.1 19-U-01A.....	9
6.2.2 19-U-02A	10
6.2.3 19-U-03A.....	11
6.2.4 19-U-04A.....	13
6.2.5 19-U-05A.....	14
6.3 Resultaten från mätningarna med XRF.....	16
6.3.1 Mätlokal 1 (Al, Ca, Fe och K).....	16
6.3.2 Mätlokal 1 (Le och Si).....	17
6.3.3 Mätlokal 2 (Al, Ca, Fe och K).....	18
6.3.4 Mätlokal 2 (Le och Si).....	19
6.3.5 Mätlokal 3 (Al, Ca, Fe och K).....	20
6.3.6 Mätlokal 3 (Le och Si).....	21
7. Diskussion	22
8. Slutsats	24
9. Tackord	25
10.Referenser	26
11. Bilagor	27

1 Abstract

Undersökningen fokuserar på omvandling i bergarter som är orsakade av metamorfa fluider på Utö. Det är ett viktigt undersökningsområde för att kunna förstå hur den geokemiska utvecklingen hänger ihop med förändringar i berggrunden. Hur påverkas berggrunden om ett eller flera ämnen försvinner eller tas upp i berggrunden? Undersökningen första antagande var att ta reda på om reaktionerna i bergarten har skapats genom fluider eller om det bara är sedimentlagring. Främsta fokuset har legat på de olika kemiska förändringarna som formade sidobergartsomvandlingszonen. Bergarten består också av zonerna sidobergart och alterationsådra. Sidobergarten är kaliumrik jämfört med sidobergartsomvandlingszonen vilket tyder på en intern flödeskälla och sidobergartsomvandlingszonen är kalciumrik jämfört med sidobergarten vilket tyder på en extern flödeskälla. Bergarten består av många sericit-omvandlingar vilket tyder på att det är fluider som har integrerat med bergarten. Detta är även ådran i bergarten ett bevis på. Även att sidobergarten består av högre järnhalt än sidobergartsomvandlingszonen tyder på en intern flödeskälla och att järnet har förlorats av sidobergarten. Kalcium har adderats till sidobergarten från ådran och kalium har förlorats från sidobergarten. Kaliumet från de olika zonerna kommer ifrån muskovit och biotiten medan kalciumet kommer från plagioklasen. Eftersom alla kalium- och kalciumtrenderna speglar varandra i alla mätningar betyder detta att med största sannolikhet bara är ett event som har ägt rum.

2 Förord

Detta kandidatarbete har utförts för institutionen för Geologiska vetenskaper på Stockholms universitet. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng inom kandidatprogrammet i Geovetenskap.Handledare vid detta projekt har varit Alasdair Skelton, Professor i Geokemi och petrologi. Joakim Mansfeld är examinator för arbetet.

Stockholms universitet 2019

3 Introduktion

Denna rapport kommer avhandla omvandling orsakade av metamorfa fluider i metamorfa bergarter. Fokuset med undersökningen kommer främst ligga på de olika kemiska förändringarna som formade sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran. Ämnet är komplex och inte helt lätt att förstå och därför måste vissa begrepp förklaras för att förstå varför ämnet är viktigt att undersöka. Just denna undersökning äger rum i västra Rävstavig på Utö som ligger i Stockholms skärgård (se bild 1). Få undersökningar om ämnet har gjorts på Utö vilket betyder att det inte finns så mycket information om ämnet.

3.1 Metamorfos

Ett viktigt begrepp att förstå är metamorfos. Detta begrepp används till de bergarter där mineralogin i bergarten samt strukturella ändringar har skett genom förändringar i temperatur, tryck samt interaktion med fluider. Metamorfosen sker ofta djupt ner i jorden men behöver inte alltid göra det. (*Miyashiro, 1973*) Bergarterna i området på Utö är till mestadels metaforfiserad lersten, metapelit men även många andra bergarter så som metagråvacka förekommer på Utö. (*Talbot, 2008*)

3.2 Metasomatos

Det finns klara bevis för att jordens skorpa innehåller vätskor medan bergarterna håller på att utvecklas, även om bevisen idag inte är så många. Ett av bevisen är att metamorfa fluider har hittats i hög densitetsinneslutningar där vätskan var fångad. Dock indikerar inte detta kvantiteten på fluiden. Begreppet metasomatos syftar på förändringar i kemiska sammansättningen av mineraler som är orsakade genom fluider. (*Winter, 2014*) Ett exempel på detta är när järn (Fe) har bytts ut mot kisel (Al). Detta sker oftast genom vattenlösningar som tränger sig in i bergarten och förändrar kemin. Metasomatos kan även ske genom andra vätskelösningar men dessa är, föga förvånande, mindre förekommande i dessa sammanhang. (*Glassley et al. 2016*)

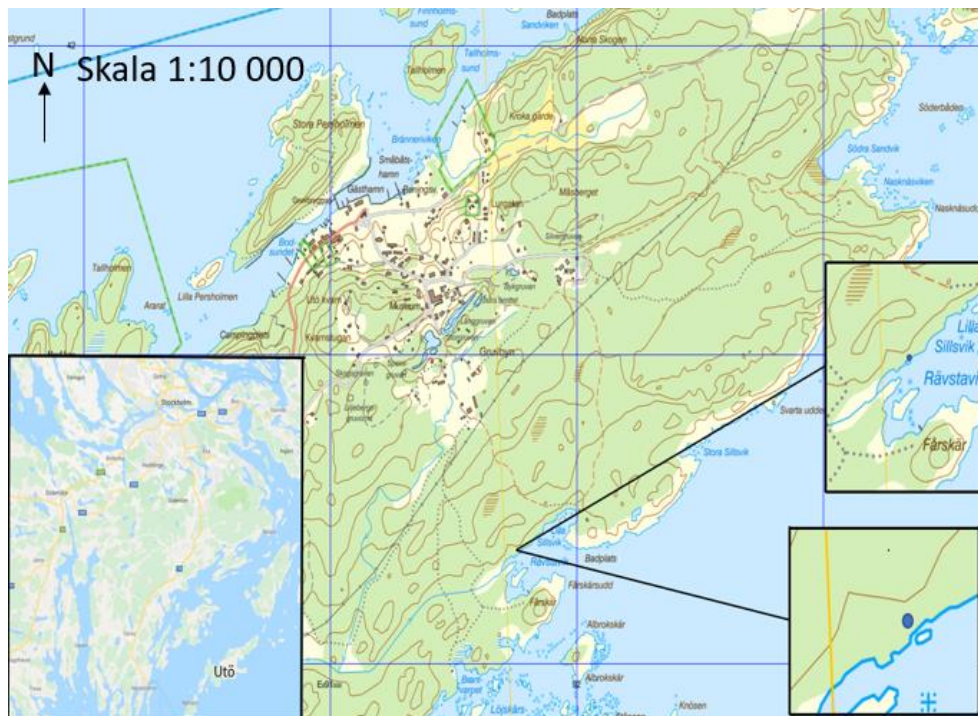
3.3 Viktigt att undersöka

Omvandling orsakade av metamorfa fluider är viktigt att undersöka av den anledning att lättare kunna förstå och klargöra hur den geokemiska utvecklingen hänger ihop med förändringen av berggrunden. Hur påverkas berggrunden om ett eller flera ämnen försvinner ur- eller tas upp i berggrunden? Detta innefattar bland annat vad som sker i bergarten, hur bergarten förändras, och vilka mineraler och element som byts ut mot de som fanns innan alterationen skedde. Vätskor i bergarten är speciellt viktigt att studera för själva malmbildningen. (*Glassley et al. 2016*) Eftersom malmer normalt innehåller många viktiga ämnen, är det lätt att transportera ämnena med hjälp av fluider för att bilda malmen. Ett bra exempel på detta på Utö är järnmalmen (bandad järnmalm) där järn har transporterats förmodligen med hjälp av fluider. (*Winter, 2014 & Mansfeld, 2012*)

3.4 Karta över området

Figur 1 visar en karta över Stockholm och Utö som också visar var någonstans mätningar och undersökningar har gjorts så att forskare och individer som vill undersöka mer om ämnet

kan använda sig av. I det markerade området på de två små bilderna till höger på kartan gjordes mätningar och undersökningar som senare kommer att redovisas i avhandlingen.



Skala 1:10 000, SWEREF 99 TM, RH 2000. Källa, Lantmäteriet <http://www.lantmateriet.se/kartutskrift>

Figur 1. Kartan visar området där undersökningar och där mätningarna gjordes.

3.5 Syfte med undersökningen

Syftet med detta arbete var att mäta och undersöka reaktioner i metamorfiserad lersten genom att rita fältskisser, mäta procenthalten av olika ämnen med hjälp av en XRF (X-Ray Fluorescens) och studera mineralerna och reaktionerna som sker med hjälp av tunnslip för att kunna klargöra vad det är som sker, varför det sker, vilka ämnen som har tagits upp i reaktionen och vilka ämnen har försvunnit från de olika zonerna. Undersökningens syfte är även att ta reda på om det faktiskt är fluider som har påverkat bergarten eller om det bara är sedimentlagring.

4 Geologisk bakgrund

4.1 Hur formades Utö?

Utö är främst uppbyggd av sedimentära och vulkaniska bergarter (som tex ignimbrit) som tros ha formats för ca 1900 miljoner år sedan (Talbot, 2008) genom att en vulkan formades under vattenytan. Lavan och askan från vulkanen började därefter att blandas med pelitiska gråwacken som fanns sedan tidigare och därefter började vulkanen att växa tills den bröt vattenytan. Den vulkaniska bergarten ignimbrit skapades samt även psammitiska grovkorniga gråwacken bildades genom erosion från vulkaniska avsättningar (Mansfeld, 2012). Även bandad järnmalm och mer olika karbonatbergarter bildades. (Allen et al. 1996). En tid senare började vulkanen att försvinna ner därifrån den kom ifrån. Tektoniska plattor

började att röra på sig vilket i sin tur ledde till kollisioner mellan de olika ö-bågarna och vulkanen, och utifrån detta skapades metamorfism i området där garnet, andalusit och sillimanite formades samt de många olika strukturerna som går att finna i bergarterna under svekofenniska orogenesen (Eftersom att dessa mineraler formades betyder detta att Utö förmodligen hade amfibolit facies, vilket de har idag) Ungefär 30 miljoner år senare kollapsade den svekofenniska orogenesen och temperaturen höjdes i jordens undre skorpa vilket skapade delvis smältning av den metamorfiserade sedimentära bergarten. Detta leddes till att granitiska vätskor började ta plats i bergarterna på Utö. (Talbot, 2008)

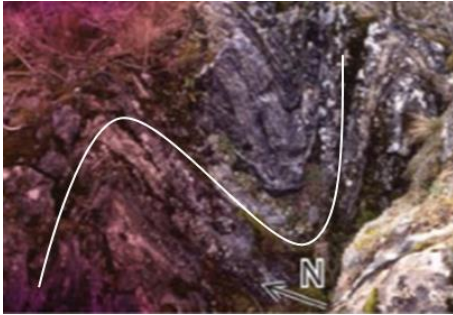
4.2 Bergarterna på Utö

Majoriteten av de sedimentära bergarterna på Utö är felsiska gråvacka och kalksten. Gråvackan på Utö är bra bevarad och det går att finna många typer av sedimentära strukturer på bergarterna som till exempel graderade lagringar och konglomerateter. På några platser på Utö förekommer gråvacka som har blivit metamorfiserad till migmatiter. (Allen et al. 1996) Det fanns två typer av gråvacka på Utö, graderad turbiditer och en gråvacka med lite tunnare lager som innehåller lera och sand. I nordöstra delarna på Utö förekommer till största delen karbonatbergarter. Det är relativt osäkert var ifrån karbonatbergarterna kommer på grund av den höga graden av kristallisation. Den grovkorniga bergarten pegmatit går att hitta på Utö och förekommer oftast som gångar. Pegmatiten kallas ofta för LTC-pegmatit. (Talbot, 2008) Pegmatiten består till största del av kvarts, muskovit, fältspat och Schörl (vilket är en svart järnrik turmalin). (Jonsson, 1996) Felsiska vulkaniska bergarter förekommer också på Utö. Dessa formades genom att askan från vulkaniska utbrott stelnade. Exempel på Felsiska vulkaniska bergarter är extrusiva ignimbriter, vilket är vulkanisk bergart som har bildats genom att heta askflöden har sipprat ut från vulkanen och sedan stelnat på jordens yta. Däremot finns det också bevis på intrusiva ignimbriter också existerar på Utö, vilket betyder att askflödet kristalliserades under jordens yta (inne i vulkanen) (Talbot, 2008). Ignimbriterna på Utö består till största del av mineralerna biotit, kvarts och muskovit och olika alkali-fältspat (Jonsson, 1996). Hornsten (Chert) förekommer också på vissa delar av ön och det finns två typer av hornsten, en som är väldigt kiselrik och en som innehåller mycket hematit och magnetit. Den som innehåller hematit och magnetit kallas för bandad järnmalm vilket är en järnformation som är vanligt förekommande i sedimentära bergarter, och som oftast bildas i grunt vatten. Däremot är den bandade järnmalmen på Utö problematisk eftersom järnmalmen inte formades vid 1.9 miljarder år sedan som Utö gjorde. De formades tidigare än så (Talbot, 2008). Förutom de vanligare mineralerna som nämnts tidigare förekommer också mineralerna tremolit, hornblände, epidot, kalcit, granat och serpentin på Utö. (Jonsson, 1996)

4.3 Olika faser och strukturer på Utö

En fas av orogenes har skett på Utö, den här fasen innebar att veckningar lyfte upp gråvacka och kvartsådror som senare återvanns. Detta räknas också enligt många som den äldsta tektoniska strukturen som går att hitta på Utö. De vanligaste tektoniska strukturerna på Utö är veckningar och skjuvningszoner. Veckningar har oftast en axial yta som lutar från sydväst till nordöst. Bara en typ av bergart på Utö existerar där inga veckningar har

utvecklats och det är gångarna. Utö består av två olika regionala metamorfa faser kallade M1 och M2. Dessa faser ska ha ägt rum för 1,87 respektive 1,78 miljarder år sedan, men forskare är inte helt säkra och de kan därför vara yngre. (Talbot, 2008)



Figur 2: Bilden visar både antiforma och synforma veckningar som finns på Utö. (Talbot, 2008)

4.4 Skjuvningszonen på Utö

På Utö finns det en väldigt stor skjuvningszon som sträcker sig från sydväst till nordöst. Skjuvningszonen är ca 300 m bred och separerar en migmatiserad gråvacka till nord väst från gråvackan som ligger i sydöstra delen av nordöstra Utö. På sydöstra delen av skjuvningszonen karakteriseras gråvackan, som finns på platsen, av en relativt stor skiktzon och på nordvästra delen av skjuvningszonen, som består av bland annat migmatiter, karakteriseras den av en gnejszon. Både skiktzonen och gnejszonen ger indikationer på en djup duktil skjuvningszon i området där skjuvningszonen befinner sig. På norra halvan av skjuvningszonen finns minst tre strängar av Myloniter. Dessa myloniter är några meter breda och befinner sig vid den migmatiserade gnejsen. (Talbot, 2008)

5 Metod

5.1 Fältarbete

Fältarbetet ägde rum i april 2019 där en områdesbeskrivning var det första som gjordes. Därefter gjordes provtagningar av bergarten. Mätning med XRF gjordes senare för att mäta de olika procenthalterna av ämnena i mineralerna. En skiss av det undersökta området som visar reaktionerna i bergarten gjordes även i fält. Stuffproverna och mätproverna togs senare tillbaka till universitet för att undersökas.

5.1.1 Fältskiss

För att få en bättre överblick av området och hur fluiderna har påverkat den kemiska sammansättningen på bergarten samt på mineralogin, så skissades området ner på ett papper som tydligt visade de olika zonerna. Skissen gjordes 4–5 meter från det alterations området för att få en klar överblick på hur området såg ut.

5.1.2 Stuffprovtagning i fält

Området som provtagningen ägde rum vid ligger vid vattnet i västra Rävstavik (se figur 1). Området undersöktes först för att hitta de bästa platserna för provtagningen för att därefter ta proverna. Stuffproverna skulle senare göras till mindre delar med hjälp av en diamantsåg för att sedan skickas till Kanada för att göras till tunnslip. Slägga, kilar och hammare användes till att hugga ut proverna. Antalet prover som togs på det undersökta området var 8 prover.

5.1.3 Analys och undersökning med XRF

Instrumentet som användes till elementprovtagningen i det undersökta området var en XRF (X-Ray Fluorescens). XRF analyseraren används flitigt till att analysera den kemiska sammansättningen och är lätt att använda ute i naturen när procenthalten av olika element så som aluminium (Al), järn (Fe), kalcium (Ca) och kalium (K) undersöks i bergarten. Värdena som togs fram genom XRF skrevs upp i fältboken för att senare läggas in i ett Excel-dokument för att, på så vis, få fram olika grafer som visar förändringen av de olika ämnena i de olika zonerna.

Först måste inställningarna göras på instrumentet och sedan även kalibreras med en kalibreringsskiva. Instrumentet fungerar så att XRF riktas mot bergarten eller det område där mätningarna ska göras och sedan trycks en knapp in på instrumentet som startar en skanner, som därefter skannar bergarten och mineralerna i bergarten för att få fram de olika värdena på ämnena som mineralerna består av.

5.2 Mer detaljerad beskrivning hur en XRF fungerar

Det finns två typer av XRF. Den ena är EDX (Energi Dispersiv X-Ray) och den andra är en WDX (Våglängd Dispersiv X-Ray). XRF:en som användes i den här undersökningen var av typen EDX. XRF:en fungerar så att joniserad strålning skapas genom att ström förs igenom ett röntgenrör och efter det riktas ut mot det material XRF:en riktar skannern mot. Elektronerna som befinner sig i atomerna träffas av skannern och försvinner sedan bort från atomen. En elektron från det yttre atomskalet kommer sedan röra sig närmare atomkärnan och försöka ta upp den plats där den tidigare elektronen har försvunnit ifrån, och en specifik energi avges vilket XRF:en känner av (genom en detektor). Detta gör så att till exempel grundämnen och koncentrationer kan läsas av i instrumentet. (*Gustafsson & Ahlström, 2013*)

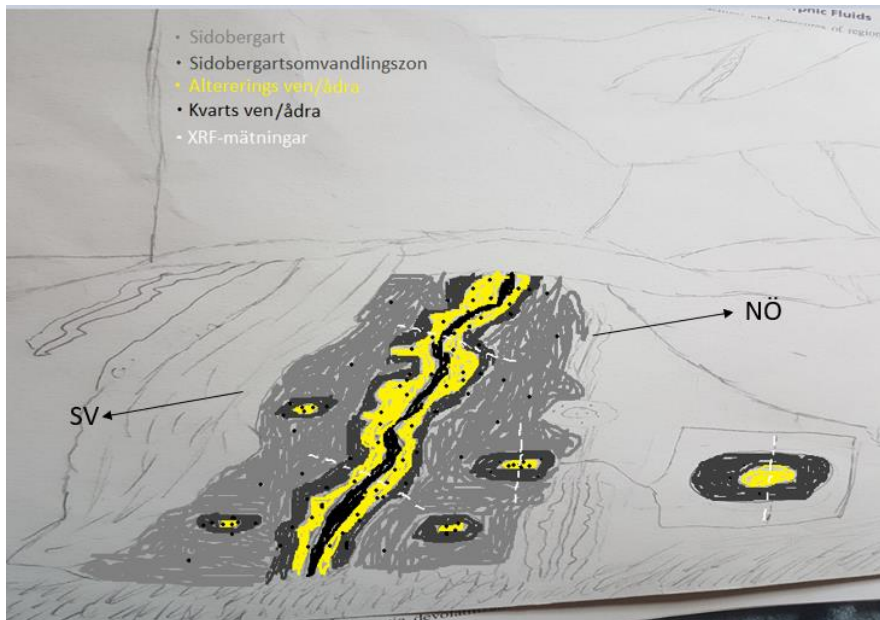
5.3 Tunnslips-analys och punkträkning

Metoden som användes till att ta reda på vilka mineraler bergarten och vilka reaktionstexturer bergarten bestod av var att undersöka, med hjälp av ett mikroskop, fem olika tunnslipar där de olika zonerna av bergarten visades för att därefter jämföra tunnslipen med varandra, och skriva upp likheter och skillnader för att sedan kunna dra slutsatser utifrån tunnslipen. För att få bra bilder av de olika mineralerna och reaktionerna, som senare skulle läggas in i rapporten, användes även en kamera som var kopplad från mikroskopet till en dator, som visades en större bild på tunnslipet. För att ta reda på hur stor andel av ett visst mineral tunnslipen bestod av och de tre olika zonerna innehöll gjordes en punkträkning med hjälp av ett mikroskop och en dator som var kopplad till mikroskopet där mineralerna i

tunnslipet räknades.

6 Resultat

6.1 Fältskiss över området



Figur 3: Fältskiss över området som visar omvandlingsområdet i västra Rävstavik på Utö samt där XRF-mätningarna togs. Skissen gjordes ungefär 4 meter framför området.

6.2 Tunnslips-observationer

6.2.1 19-U-01A (Visar bara sidobergarten)

Mineraler:

Kvarts: Tunnslipet består till stor del av pseudohexagonala kvartskristaller (kristaller som ser ut att ha 6 kanter men i verkligheten förmodligen bara har 3) i sidobergarten. Kvartsen har första gradens interferensfärg i XPL (Kors polariserat ljus) och vit i PPL (Plant polariserat ljus).

Muskovit: Muskoviten har an-hedraala kristaller och platta men också något vassa i sidobergarten (se övre delen av bild 7 nedan). Tredje gradens interferensfärg och färglös i PPL med låg relief (ingen pleokroism). Sammanväxning av muskovit i Kvartskristaller förekommer på vissa områden i tunnslipet.

Biotit: Biotiten är an-hedraala och platta och är ofta väldigt små i sidobergarten. Första gradens interferensfärg och brun i PPL. (stark pleokroism)

Plagioklas: Kristallerna är mellanstora. De få plagioklas kristallerna som går att hitta i det här tunnslipet ser ut att ha sprickor och ser därför något söndriga ut. Ingen laminär tvinning hittades här. Första gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL (ingen pleokroism). Går lätt att blanda ihop med kvartsen.

Opak: Endast några få opaka kristaller hittades och dessa kristaller är relativt små och är till

viss del runda (se övre delen av bild 5 nedan). Opaken är svart i både XPL och PPL.

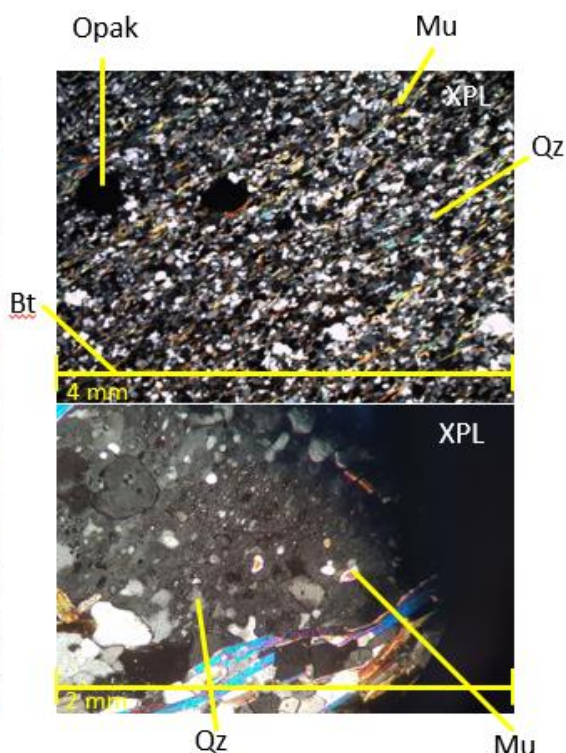
Reaktionstexturer: Sericit alteration förekommer i tunnslipet där plagioklas omvandlas till sericit.

Punkträkning och felvärden för tunnslip

	Qz (%)	Mu (%)	Bt (%)	Pl (%)	Annan (%) (Opak)
Sidobergarten	67,4	8,8	15	6	2,2
Sidobergart Felvärde +/-	4,19	2,53	3,19	2,12	1,31



Figur 4: Visar delen där provet från togs (gul markering).



Figur 5: Bilden visar mineralerna i sidobergarten (4X/0,10 zoom)

6.2.2 19-U-02A (Visar sidobergarten och innehåller en tydlig Kvarts ven)

Mineraler:

Kvarts: Tunnslipet består till stor del av pseudohexagonala (kristaller som ser ut att ha 6 kanter men i verkligheten förmodligen bara har 3) i sidobergarten. Kvartsen har 1st gradens interferensfärg i XPL och vit i PPL. Kvartsådran innehåller större kristaller än sidobergarten.

Muskovit: Muskoviten har an-hedraala kristaller och platta men också något vassa i sidobergarten (se övre delen av bild 7 nedan). Tredje gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL med låg relief. (ingen pleokroism)

Biotit: Biotiten är an-hedraala och är platta och är ofta små i sidobergarten. Första gradens

interferensfärg i XPL och brun i PPL. (stark pleokroism)

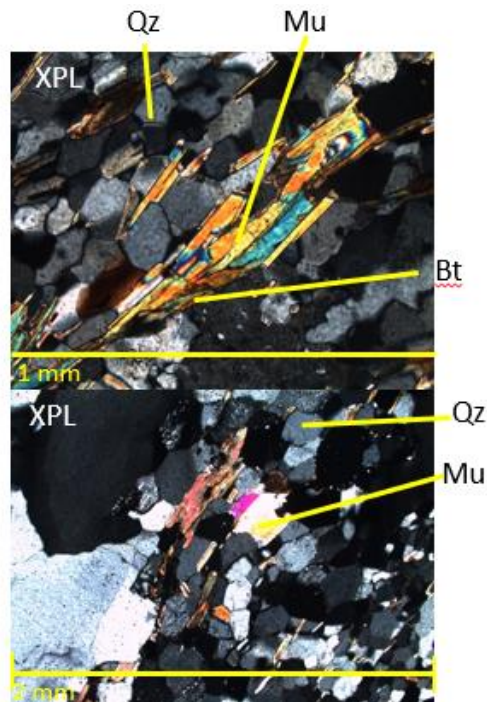
Plagioklas: De få plagioklas-kristallerna som går att hitta i det här tunnslipet ser ut att ha sprickor och ser därför söndriga ut. Ingen laminär tvinning hittades i tunnslipet. Första gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL. (ingen pleokroism)

Opak: De få opak-kristallerna i detta tunnslip är mindre än vad de är i övriga tunnslip. De är avlånga och är svart i XPL och PPL.

Reaktionstexturer: Bara en eller två serisitomvandlingar hittades där Plagioklas omvandlas till Sericit. Tunnslipet innehåller få reaktionstexturer.



Figur 6: Visar delen där sidobergarts proven togs (gul markering)



Figur 7: Övre delen visar muskovit och biotit i sidobergarten (20X/0,40 zoom) och den nedre bilden visar muskovit och kvarts i sidobergarten (10X/0,25 zoom).

6.2.3 19-U-03A (Visar alla tre zoner)

Mineraler:

Kvarts: Till största del pseudohexagonala kristaller (kristaller som ser ut att ha 6 kanter men i verkligheten förmodligen bara har 3). Kristallerna är små i sidobergarten medan de är betydligt större i sidobergartsomvandlingszonen och i alterationsådran. Kvartsen har 1st gradens interferensfärg i XPL och vit i PPL. Sammanväxning av kvarts i plagioklas förekommer.

Muskovit: An-hedrala kristaller och platta kristaller i sidobergarten. Har försvunnit nästan helt i alterationsådran och i sidobergartsomvandlingszonen. Tredje gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL med låg relief. (ingen pleokroism)

Biotit: Biotiten är till stor del an-hedraliska i sidobergarten men blir mer sub-hedrala och större i sidobergartsomvandlingszonen, alterationsådran och kvartsådran (se nedre delen av

figur 9 nedan). Biotiten blir också större i dessa zoner. Första gradens interferensfärg i XPL och PPL. (stark pleokroism)

Plagioklas: Det finns två olika plagioklas i tunnslipet, ena har en laminär tvinning och den andra ser ut att ha rispor/sprickor. Plagioklaskristallerna är oftast mellanstora till stora kristaller i alla zoner. Första gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL (ingen pleokroism).

Opak: Svarta och tämligen stora och avlånga kristaller (se övre delen av figur 9 nedan) som förekommer i sidobergartsomvandlingszonen och ådran men försvinner helt i sidobergarten. Den är svart i både XPL och PPL.

Reaktionstexturer: Sericit alteration där plagioklas omvandlas till sericit förekommer i sidobergartsomvandlingszonen.

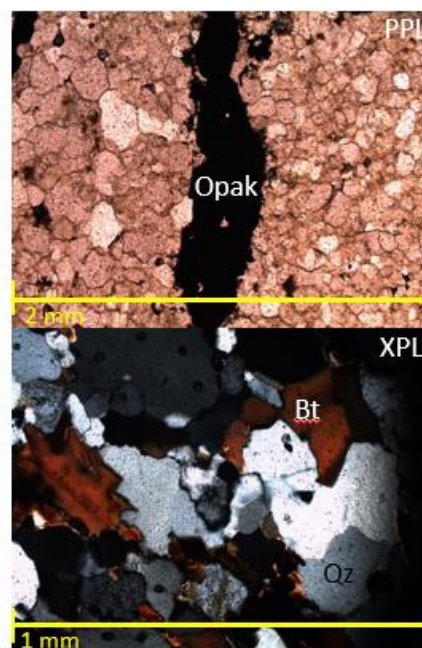
Punkträkning och felvärden för tunnslip

	Qz (%)	Mu (%)	Bt (%)	Pl (%)	Annan (%) (järnmineral)
Alterationsådra	72	2,1	9,2	14,5	2,7
Alterationsådra felvärde +/-	6,6	2,1	4,24	5,18	2,38
Sidobergartsomvandlingszon	61	5,1	17,2	13,5	3
Sidobergartsomvandlingszon felvärde +/-	7,64	3,45	5,91	5,35	2,67
Sidobergart	66,2	10,6	15,9	5,9	0
Sidobergart felvärde +/-	7,28	4,75	5,77	3,62	0

Alterationsådra
Sidobergartsomvandlingszon



Sidobergart



Figur 8: Visar där proverna för kvartsådran togs (gul markering)

Figur 9: Övre bilden visar en tydlig opak mineral i alterationsådran (10x/0,25 zoom) och

*nedre bilden visar en stor kvartsådra i
sidobergartomvandlingszonen innehållande biotit och
kvarts (20X/0,40 zoom)*

6.2.4 19-U-04A (Visar sidobergart och en tydlig kvartsådra)

Mineraler:

Kvarts: Tunnslipet består av pseudohexagonala kvartskristaller (kristaller som ser ut att ha 6 kanter men i verkligheten förmodligen bara har 3) i sidobergarten som är relativt finkorniga. Tunnslipet består också av en större kvartsådra som innehåller större kristaller (se figur 11 nedan). Kvartsen har 1st gradens interferensfärg i XPL och vit i PPL. Kvarts-sammanväxning med plagioklas förekommer i tunnslipet.

Muskovit: An-hedrala och platta kristaller i sidobergarten. Tredje gradens interferensfärg och färglös i PPL med låg relief. (ingen pleokroism) Muskoviten har försvunnit helt i kvartsådran. Muskovit-sammanväxning med Kvarts förekommer också i tunnslipet.

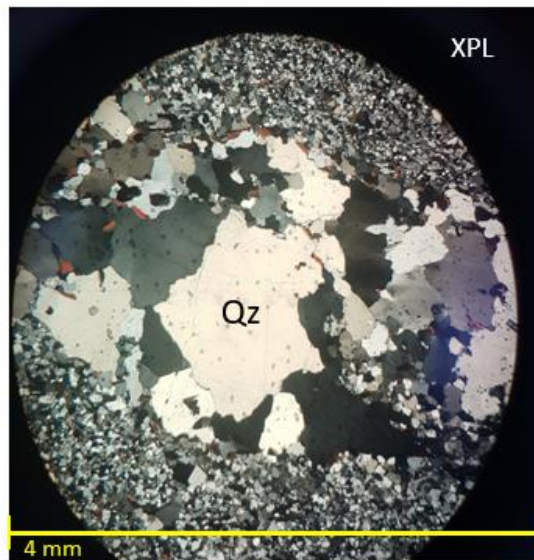
Biotit: An-hedrala och platta kristaller och ofta små i sidobergarten, men betydligt större i kvartsådran. Biotiten i kvartsådran är mer sub-hedrala än an-hedrala. Första gradens interferensfärg i XPL och brun i PPL. (stark pleokroism)

Plagioklas: De få plagioklas-kristallerna som går att hitta i det här tunnslipet ser ut att ha sprickor och ser därför söndriga ut. Ingen laminär tvinning hittad i provet. Första gradens interferensfärg i XPL och färglös i PPL. (ingen pleokroism)

Reaktionstexturer: Sericit alteration går att finna på några få ställen i tunnslipet där plagioklas omvandlas till sericit.

Punkträkning och felvärden för tunnslip

	Qz (%)	Bt (%)	Pl (%)
Kvartsådra	80	15,6	4,4
Kvartsådra felvärde +/-	10	9,14	5,17



Figur 10: Visar delen där provet togs som innehåller en tydlig ådra. (gul markering)

Figur 11: Visar en tydlig kvartsådra i sidobergartsomvandlingszonen. (4x/010, XPL zoom)

6.2.5 19-U-05A (Visar alla tre zoner)

Mineraler:

Kvarts: Till största del pseudohexagonala kvartskristaller (kristaller som ser ut att ha 6 kanter men i verkligheten förmodligen bara har 3). Kristallerna är små i sidobergarten medan de är betydligt större i sidobergartsomvandlingszonen och i alterationsådran. Kvartsen har 1st gradens interferensfärg i XPL och vita i PPL.

Muskovit: An-hedraliska kristaller och platta i sidobergarten. Muskoviten försvinner nästan helt i alterationsådran samt sidobergartsomvandlingszonen består av en mindre mängd muskovit. Tredje gradens interferensfärg i PPL med låg relief. (ingen pleokroism)

Biotit: Biotit-kristallerna är till stor del an-hedraliska men sub-hedrala förekommer också i mindre mängd. Kristallerna är också platta och mindre i sidobergarten medan de är lite större i alterationsådran. Första gradens interferensfärg i XPL men är helt bruna i PPL (stark pleokroism)

Plagioklas: Oftast mellanstora kristaller i alterationsådran och sidobergartsomvandlingszonen, men något mindre i sidobergarten där det inte heller förekommer plagioklas i samma mängd. Har ofta en laminär tvinning (se nedre delen av figur 13 nedan) som utmärker plagioklasen i tunnslipet men det finns också de som har sprickor i sig och ser söndriga ut. Dessa är mer sällsynta att hitta i tunnslipet. Första gradens interferensfärg och färglös i PPL. (ingen pleokroism)

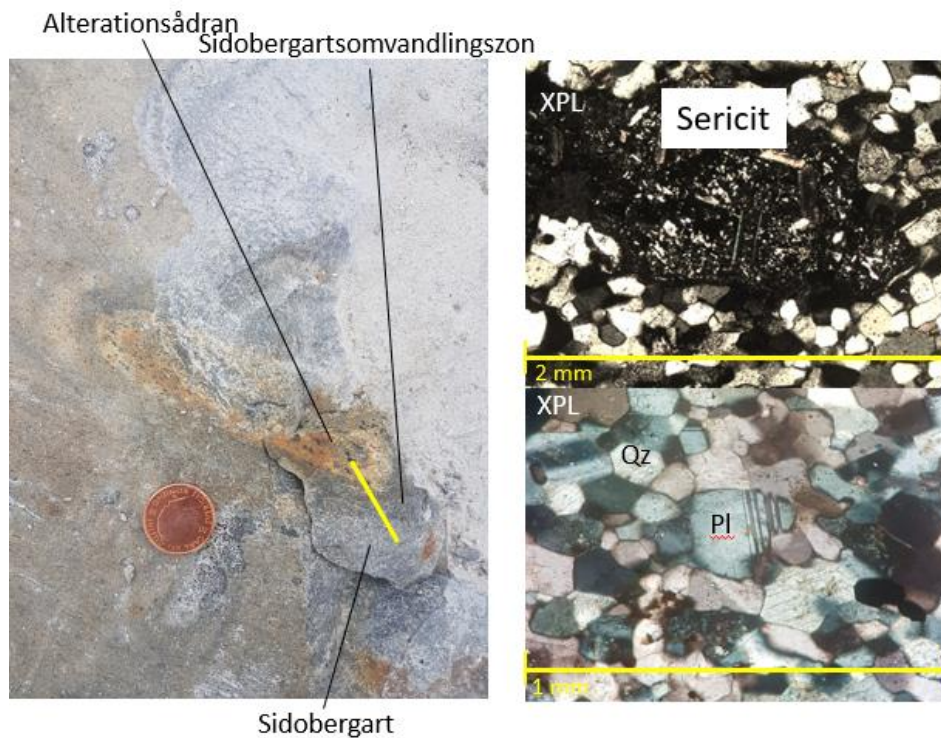
Opak (järnmineral): Svarta, oftast stora kristaller som förekommer i alterationsådran och sidobergartsomvandlingszonen men försvinner nästan helt i sidobergarten. Den är svart i både XPL och PPL.

Reaktionstexturer: Sericit alteration går att finna i alterationsådran och i

sidobergartsomvandlingszonen där plagioklas håller på att övergå till sericit (se övre delen av figur 13 nedan).

punkträkning och felvärden för tunnslip

	Qz (%)	Mu (%)	Bt (%)	Pl (%)	Annan (%) (Järnmineral)
Alterationsådra	73,2	1,8	9,6	14,2	1,2
Alterationsådra felvärde +/-	4	1,19	2,65	3,13	0,98
Sidobergartsomvandlingszon	59,8	4,4	16,8	13,5	4,5
Sidobergartsomvandlingszon felvärde +/-	4,39	1,83	3,34	3,06	1,85
Sidobergart	64,8	12	15,2	6,6	1,4
Sidobergart felvärde +/-	4,27	2,9	3,21	2,22	1,05

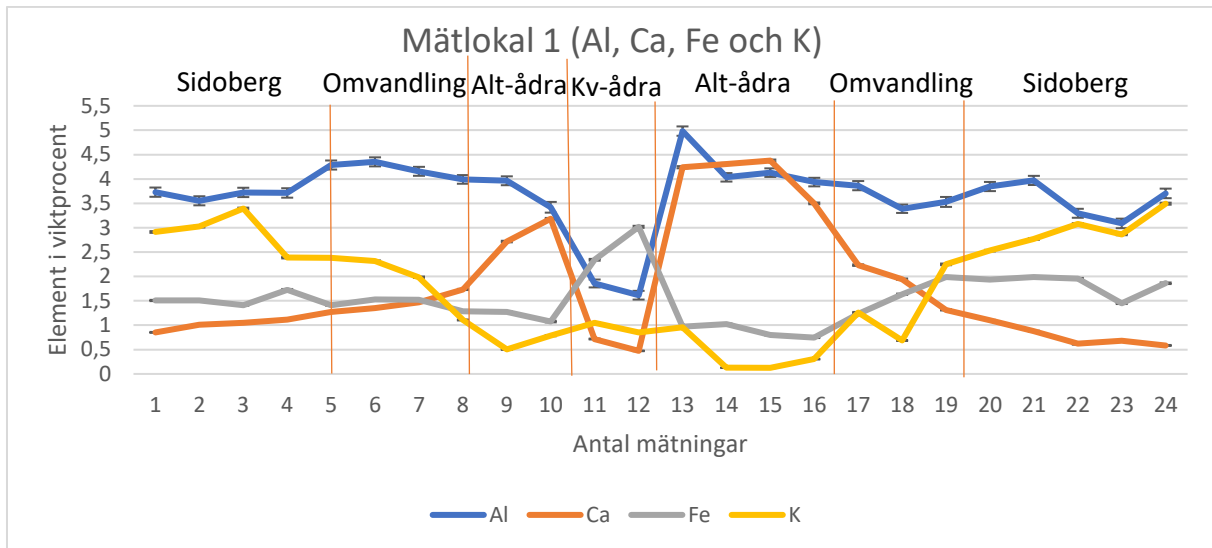


Figur 12: Visar var provet togs (Gul markering)

Figur 13: Övre bilden visar närbild på en sericit omvandling i alterationsådran (10X/0,25 zoom) och nedre bilden visar en tydlig bild på plagioklas med laminär tvinning i samma zon (20X/0,40 zoom).

6.3 Resultaten från mätningarna med XRF

6.3.1 Mätlokal 1 (Al, Ca, Fe och K)



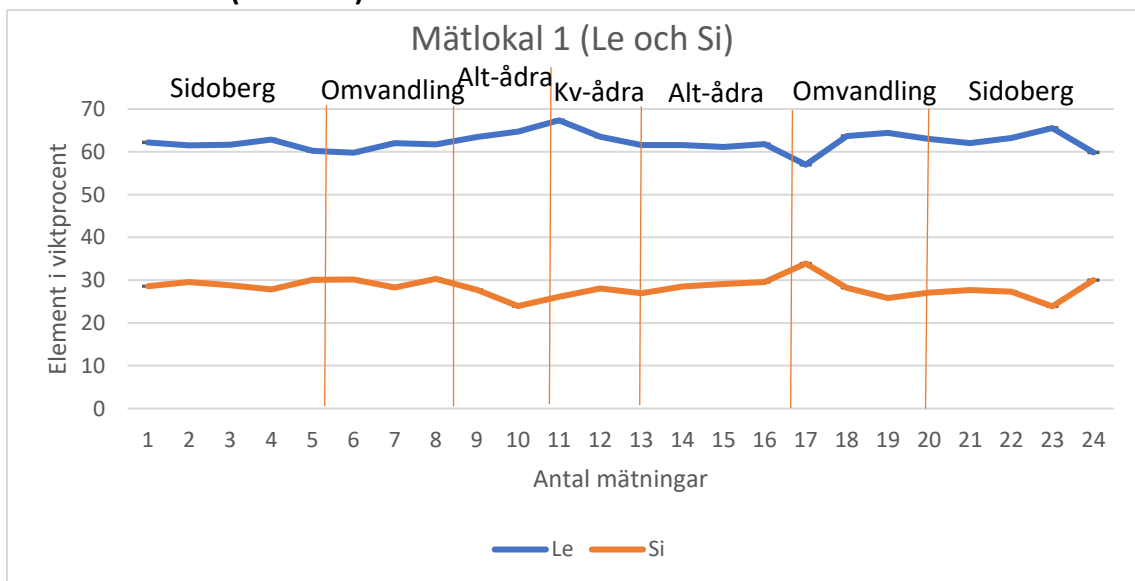
Figur 14: Värdet 1–5 och 20–24 visar sidobergarden, 6–8 och 17–19 sidobergartsomvandlingsområdet, 9–10 och 13–16 visar alterationsådran och 11–12 visar kvartsådran. Figur 13 nedan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

Figur 14 visar andelen av aluminium-, järn-, kalcium- och kaliumkoncentrationer som tagits fram med hjälp av en XRF. De olika mätvärdena i diagrammet är tagna på sidobergarden, sidobergartsomvandlingszonen, alterationsådran och i kvartsådran som går igenom det område där reaktionen har skett. I diagrammet går det att urskilja att Järnvärdet går upp i kvartsådran och aluminium- och kalciuminnehållet går ner ju närmre man kommer kvartsådran. Det går också att se att kaliumhalten är högre i sidobergarden än vad den är i sidobergartsomvandlingszonen, alterationsådran och i kvartsådran. Felvärden redovisas också i diagrammet.



Figur 15: Visar var mätningarna gjordes och mätningarnas riktning. Varje streck representerar ett specifikt mätvärde som finns i XRF-profilerna (figur 14 och figur 16) där mätvärde nummer 1 är på det svarta strecket närmast kompassen. Mätningarna gjorde från SÖ till SV.

6.3.2 Mätlokal 1 (Le och Si)

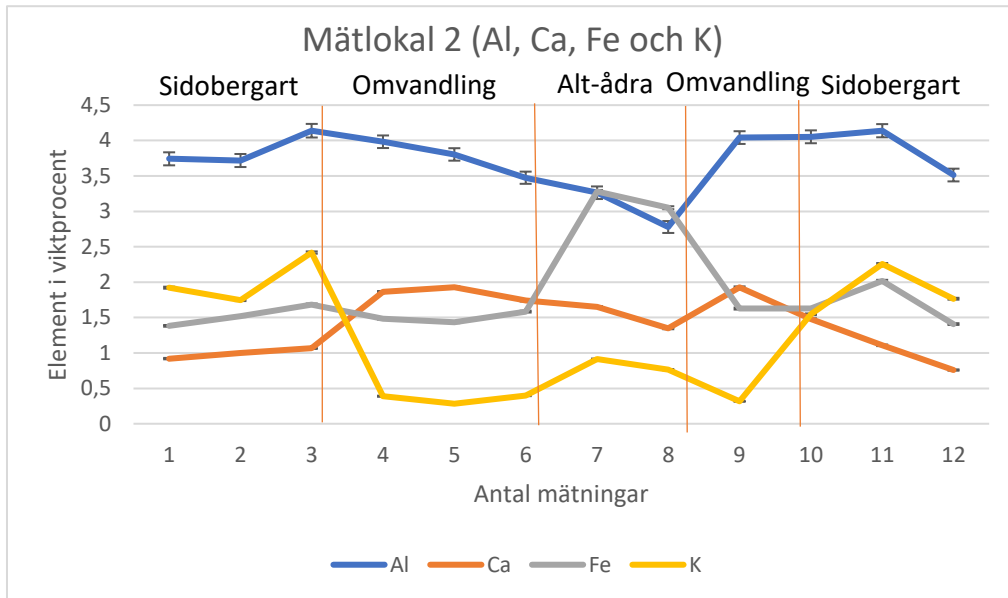


Figur 16: Värdet 1–5 och 20–24 visar sidobergerten, 6–8 och 17–19 sidobergartsomvandlingsområdet, 9–10 och 13–16 visar alterationsådran och 11–12 visar kvartsådran. Figur 13 ovan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

Figur 16 visar procenthalten av lätta element i jämförelse med procenthalten av hur mycket kisel bergarten innehåller. Mätningarna i diagrammet ovan är även gjorda på sidobergerten, sidobergartsomvandlingszonen, alterationsådran och i kvartsådran. Från diagrammet går det

att urskilja att det knappt är någon skillnad mellan de olika zonerna i bergarten när det gäller värden på de lätta elementen och i kiselvärdena. Värdena på kisel ligger oftast mellan 25–30% och värdena på de lätta elementen ligger till största del runt 60–65 procent. Felvärden redovisas också i diagrammet.

6.3.3 Mätlokal 2 (Al, Ca, Fe oh K)



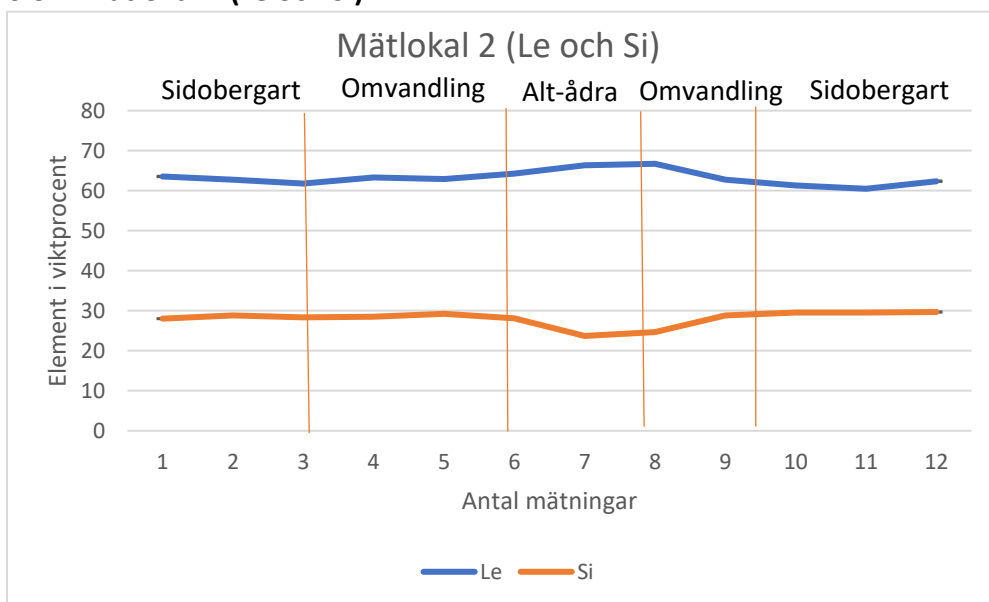
Figur 17: 1–3 och 10–12 togs på sidobergarten, 4–6 och 9 togs på sidobergartsomvandlingszonen och 7–8 togs på alterationsådran. Figur 14 nedan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

Figur 17 visar de olika områdena. Även i detta diagram går det att urskilja att järnvärdet ökar från ca 1,5 procent till nästan 3,5 procent i ådran. Kalciumvärdet samt Kaliumvärdet liknar värdena ifrån mätlokal 1 (Al, Ca, Fe och K) där kaliumvärdet är högt i sidobergarten men minskar ju närmre alterationsådran mätningarna görs. För kalcium är det raka motsatsen där kalciumvärdet är lågt i sidobergarten men ökar i sidobergartsomvandlingszonen. Aluminiumvärdet blir även lägre i sidobergartsomvandlingszonen och i alterationsådran. Felvärden redovisas också i diagrammet.



Figur 18: Visar var mätningarna gjordes och mätningarnas riktning. Varje streck representerar ett specifikt mätvärde som finns i XRF-profilerna (figur 17 och figur 19) där mätvärde nummer 1 är på det svarta strecket längst till höger i bilden ovan. Mätningarna gjorde från SÖ till SV.

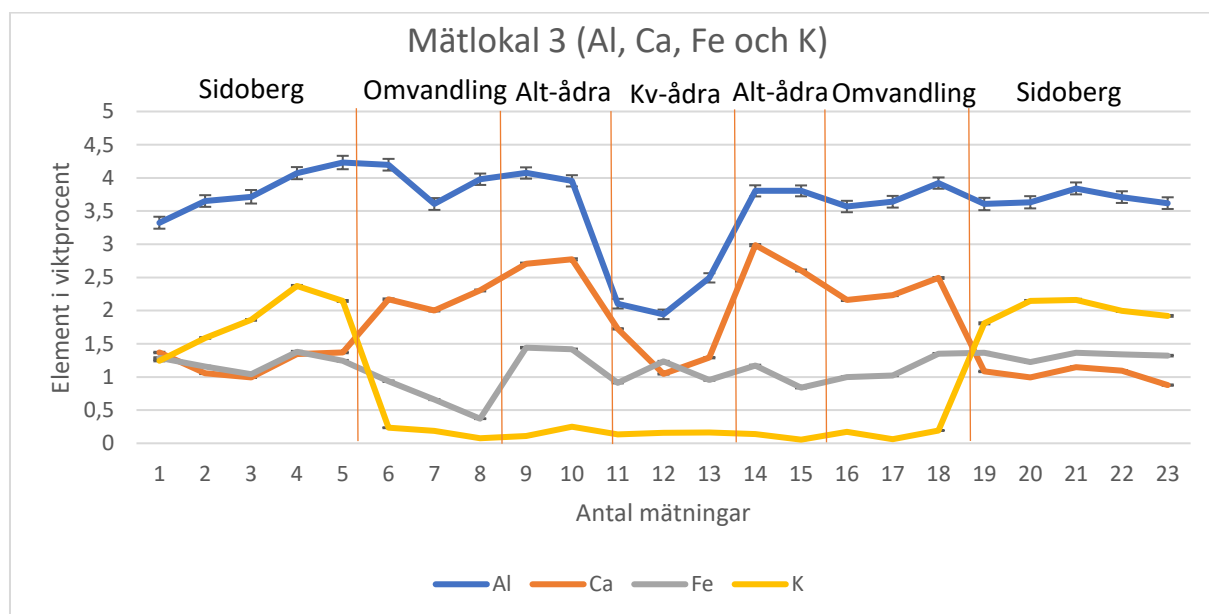
6.3.4 Mätlokal 2 (Le och Si)



Figur 19: 1–3 och 10–12 togs på sidobergarten, 4–6 och 9 togs på sidobergartsomvandlingszonen och 7–8 togs på alterationsådran. Figur 14 ovan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

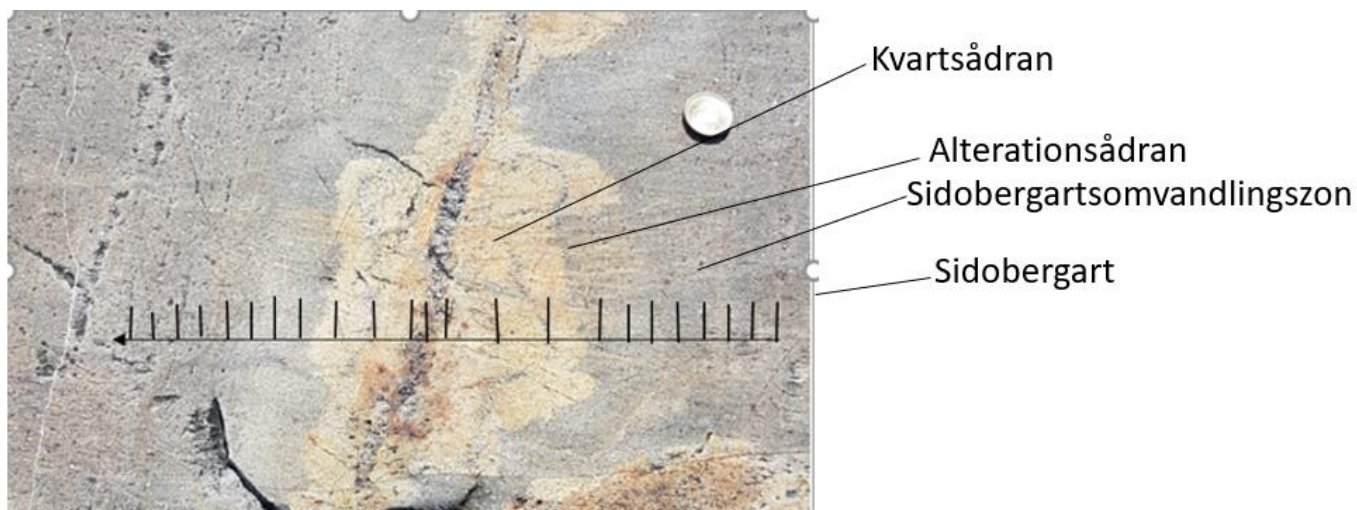
Figur 19 visar sambandet mellan lätta elementvärden och kiselvärden. Lätta elementvärden ligger till stor del på 60–65 procent och kiselvärden ligger på 25–30 procent. På mätvärden 6–9 skiljer det dock på både lätta element och kisel. Kiselvärdena går ner 2–3 procent samtidigt som värdena på de lätta elementen går upp 2–3 procent. Felvärden redovisas också i diagrammet.

6.3.5 Mätlokal 3 (Al, Ca, Fe och K)



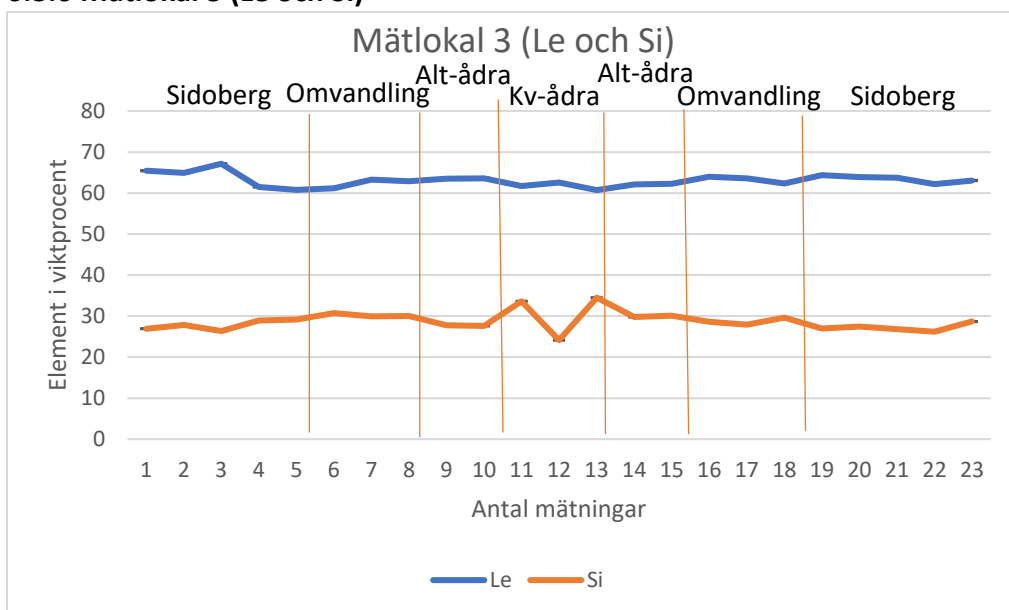
Figur 20: Värde 1–5 och 19–23 tog på sidobergsgården, 6–8 och 16–18 togs på sidobergsgårdsomvandlingszonen, 9–10 och 14–15 togs på alterationsådran och 11–13 togs på kvartsådran. Figur 15 nedan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

Figur 20 visar att kaliumvärdet var betydligt högre i sidobergsgården än i sidobergsgårdsomvandlingszonen, alterationsådran och i kvartsådran och att kalciumvärdet är betydligt lägre i sidobergsgården än i sidobergsgårdsomvandlingszonen och alterationsådran. Däremot går det att tyda att kalcium och aluminium sjunker drastiskt när mätningarna görs i kvartsådran. Det går också att urskilja att järnet ligger till stor del på en relativt jämn nivå över hela berggården förutom att järnet sjunker lite i slutet av sidobergsgårdsomvandlingszonen. Felvärden redovisas också i diagrammet.



Figur 21: Visar var mätningarna gjordes mätningarnas riktning Varje Streck representerar ett specifikt mätvärde som finns i XRF-profilerna (figur 20 och figur 22) där mätvärde nummer 1 är på det svarta strecket längst till höger i bilden ovan. Mätningarna gjorde från SÖ till SV.

6.3.6 Mätlokal 3 (Le och Si)



Figur 22: Värde 1–5 och 19–23 togs på sidobergerten, 6–8 och 16–18 togs på sidobergartsomvandlingszonen, 9–10 och 14–15 togs på alterationsådran och 11–13 togs på kvartsådran. Figur 15 ovan visar var varje enskild mätning togs som XRF-profilen representerar.

Figur 22 visar också hur stor andel lätta ämnen samt hur stor andel av kisel de uppmätta områdena innehåller. Även här, var de uppmätta värdena ungefär densamma för de lätta ämnena på alla 23 mätning-punkter, och värdet ligger på 60–67 procent. När det gäller kiselvärdena är de ganska jämna över hela mätperioden förutom i mitten av omvandlingsområdet där mätningarna togs i kvartsådran. I mitten av omvandlingsområdet stiger värdena marginellt men också en liten sänkning kan urskiljas på det tolfte mätvärdet

vilket var i mitten av kvartsådran. Kiselvärdena ligger runt 26–30 procent bortsett från kvartsådran där värdena ligger på ca 32–33 procent och en sänkning på ca 23–24 procent i mitten av ådran. Felvärden redovisas också i diagrammet.

7 Diskussion

Som mätningarna från figur 14, figur 17 och figur 20 visar, har sidobergarten ett ganska högt Kalium värde vilket inte sidobergartsomvandlingszonen har. Detta betyder att sidobergarten har förlorat kalium. Däremot innehåller omvandlingszonen mer kalcium vilket betyder att den är berikad med kalcium jämfört med sidobergarten. Eftersom ådran sjunker i kalcium och har ett lägre kalciumvärde än sidobergarten betyder det att kalcium har adderats till sidobergarten från en extern källa. Att sidobergarten består av mer kalium tyder på att sidobergarten innehåller något mineral som de övriga zonerna inte består av i samma mängd. Enligt punkträkningen för sidobergarten och alterationsådran går det att se att sidobergarten innehåller mycket högre andel glimmer (muskovit och biotit) än vad sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran innehåller. Muskovit och biotit har kalium i sin kemiska sammansättning vilket med största sannolikhet ger det högre kaliumvärdet i sidobergarten. När procenthalten av glimmer minskar, minskar även värdet av kalium i bergarten. Detta ha förmodligen skett genom att fluider, förmodligen vatten eftersom bergarten innehåller muskovit samt sericit-omvandlingar, har reagerat med bergarten så att kaliumet från muskovit och biotit har minskat när reaktionen har skett. Det ska tilläggas att felvärdet för mineralerna är relativt stora och kan ha en påverkan på slutresultatet. (se punkträkningen för tunnslip 19-U-03A och punkträkningen för 19-U-05A). Eftersom felvärdena är relativt höga kan det betyda att de kan överlappa varandra och då ge ett annorlunda resultat. Felvärdet hade förmodligen blivit mindre om fler mineraler i tunnslipet hade räknats och detta hade därför givit ett säkrare resultat.

Vad är det för mineral som har tagit upp kalciumet i sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran i tunnslipet 19-U-03A och tunnslip 19-U-05A? Sidobergarten innehåller bara små mängder plagioklas men sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran innehåller större mängd kalcium. Bergarten innehåller ingen kalцит eller epidot, vilket betyder att det högre kalciumvärdet inte förklaras genom dessa mineraler. Eftersom plagioklas (anortit) däremot innehåller kalcium är det högst troligt att detta mineral har tagit upp kalcium i bergarten. Detta går även att tyda i punkträkningen som har gjorts för tunnslipen 19-U-03A och 19-U-05A där sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran innehåller mer plagioklas än sidobergarten och därför ger ett högre värde. Kalciumhalten ligger vid ca 3 procent i omvandlingszonen och i punkträkningen hittades 14–15 procent Plagioklas vilket överensstämmer bra med de värden som XRFen gav.

I kvartsådran som går igenom alterationsådran (se figur 15 och figur 21) minskar kalciumvärdet drastiskt jämfört med sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran vilket tyder på att kvartsådran knappt innehåller någon plagioklas. Detta går att se i

punkträkning av tunnslipet 19-U-04A där en enskild kvartsådra har undersökts.

Alterationsådran har ett högre järnvärde än sidobergarten i figur 13 vilket tyder på att det är möjligt att opak-mineralerna, som järnet kommer ifrån, har adderats till alterationsådran från sidobergarten. Detta visar att sidobergarten har förlorat järn. Däremot är inte alla mätningar entydiga, vilket kan betyda att så inte är fallet även om det är tydligt i punkträkningen att alterationsådran innehåller mer järnmineraler än sidobergarten.

En kemisk formel som skulle kunna fungera för reaktionen i omvandlingszonen: Muskovit i sidobergarten, som redan innehåller vatten, har reagerat så att plagioklas har tillkommit i sidobergartsomvandlingszonen samtidigt som muskoviten har försvunnit från samma zon.



Eftersom Muskoviten, som innehåller vatten, försvinner i alterationsådran så att kaliumvärdet blir lågt skulle detta också kunna innebära dehydratisering i alterationsådran.

Samma Kalium- och Kalciumtrender framförs i Walléns (2019) och Janssons (2019) opublicerade avhandling om omvandling orsakade av fluider i metamorfa bergarter på Utö. Eftersom alla mätvärden på kalium och kalcium speglar varandra tyder detta på att det bara har varit ett event som föranlett fluid-reaktionen och orsakade förändringen i bergarten. Det finns två tydliga tecken på att det just är fluider som skapat reaktionerna i bergarten. Ett av bevisen är, som nämnts tidigare, sericit-omvandlingarna i bergarten (se figur 13). De flesta undersökta tunnslipen innehåller en eller flera sericit-omvandlingar vilket också förstärker påståendet att det är reaktioner skapade av fluider. Det mest tydliga beviset är däremot att bergarten innehåller en ådra. Från figur 16, figur 19 och figur 22 som visar de lätta ämnena och kiselvärdena ser man ingen större ändring i någon av de tre olika zonerna, vilket kan bero på att mätvärdena är relativt stora medan felvärdena också är relativt stora, så att de inte går att se. Felvärdena i Al, Ca, Fe och K har ingen större påverkan på resultatet.

Kalcium har alltså en extern flödeskälla eftersom kalciumvärdet i sidobergartsomvandlingszonen är högre än i sidobergarten vilket tyder på att kalcium har lagts till i sidobergartsomvandlingszonen. Däremot innehåller sidobergarten högre halter av Järn och kalium än sidobergartsomvandlingszonen, vilket tyder på att kaliumet och järnet har till stora delar försvunnit från sidobergarten vilket pekar mot interna flödeskällor. Det betyder att bergarten kan ha både externa och interna flödeskällor. Fluiderna i bergarten underlättar bytet mellan kalcium och kalium.

8 Slutsats

- Sidobergarten är mer kaliumrik än sidobergartsomvandlingszonen och alterationsådran som knappt innehåller något kalium. Detta betyder att Kaliumet från sidobergarten har förlorats.
- Alterationsådran är mindre kalciumrik än sidobergarten vilket betyder att kalcium har adderats till sidobergarten. Däremot är sidobergartsomvandlingszonen mer kalciumrik än sidobergarten, vilket betyder att kalcium har adderats från sidobergarten till sidobergartsomvandlingszonen.
- Kaliumet i bergarten kommer från biotit och muskovit medan kalciumet kommer från plagioklas (anortit).
- Eftersom alterationsådran har ett högre järnvärde i ett av diagrammen kan det betyda att järn har adderats till ådran och eftersom sidobergarten har ett något högre järnvärde än sidobergartsomvandlingszonen betyder det att järnet med största sannolikhet har förlorats från sidobergarten.
- Reaktionerna i bergarten har orsakats av fluida-flöden där ett av bevisen är de många sericit-omvandlingarna som upptäcktes i tunnslipen.
- Det finns tecken på både interna flödeskällor och externa flödeskällor i bergarten, där adderandet av kalcium i sidobergartsomvandlingszonen från sidobergarten är ett tecken som tyder på att det är en extern flödeskälla. Däremot är sidobergarten mer järn- och kaliumrik än sidobergartsomvandlingszonen vilket tyder på interna flödeskällor.
- Sannolikhet bara ett event som har ägt rum eftersom kalium- och kalciumtrenderna speglar varandra i alla mätlokaler.

9 Tackord

Jag skulle vilja tacka följande personer för er hjälp och medverkan i det här kandidatarbetet. Först skulle jag vilja tacka min handledare Alasdair Skelton för all hjälp jag har fått och för den nya kunskap jag har tagit åt mig. Jag skulle även vilja tacka min examinator Joakim Mansfeld för den hjälp och expertis inom mikroskopi jag har fått. Till sist skulle jag också vilja tacka Alexander Wallén och Eric Jansson för de lärorika diskussionerna vi haft.

10 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.

Glassley, William & Crossey, Laura & Montañez, Isabel. (2016). Fluid–Rock Interaction. 10.1007/978-3-319-39193-9_36-1.

Gustafsson, J & Ahlström P, J. 2013. XRF – Röntgenfluorescens. Scantec Nordic – analys och mätteknik

<https://www.scantecnordic.se/svSE/produktomr%C3%A5den/materialanalys/materialanalys-med-xrf-30053537>

Jonsson, E., 1996: Utös mineralogi. Unpubl. report. Department of geology and geochemistry, Stockholm university. 7 s.

Mansfeld, J. 2012: The geology of Utö – excursion guide, Department of geological sciences at Stockholm university.

Talbot, C.J., 2008: Palaeoproterozoic crustal building in NE Utö, southern Svecofennides, Sweden. *GFF*, Vol. 130 (Pt. 2, June), pp. 49–70. Stockholm. ISSN 1103-5897.

Miyashiro, A. 1973: Metamorphism and Metamorphic belts. Professor of geology, state university of New York at Albany. S.19.

Winter, D, J. 2014. Principles of igneous and metamorphic petrology-second edition. S.684 och S.688.

Wallén, A. 2019. En fältstudie samt petrografisk och röntgenfluorescensanalys av sidobergartsomvandlingar vid Stora Sillsvik på Utö. Opublicerad Rapport. Geovetenskapliga intuitionen, Stockholms universitet.

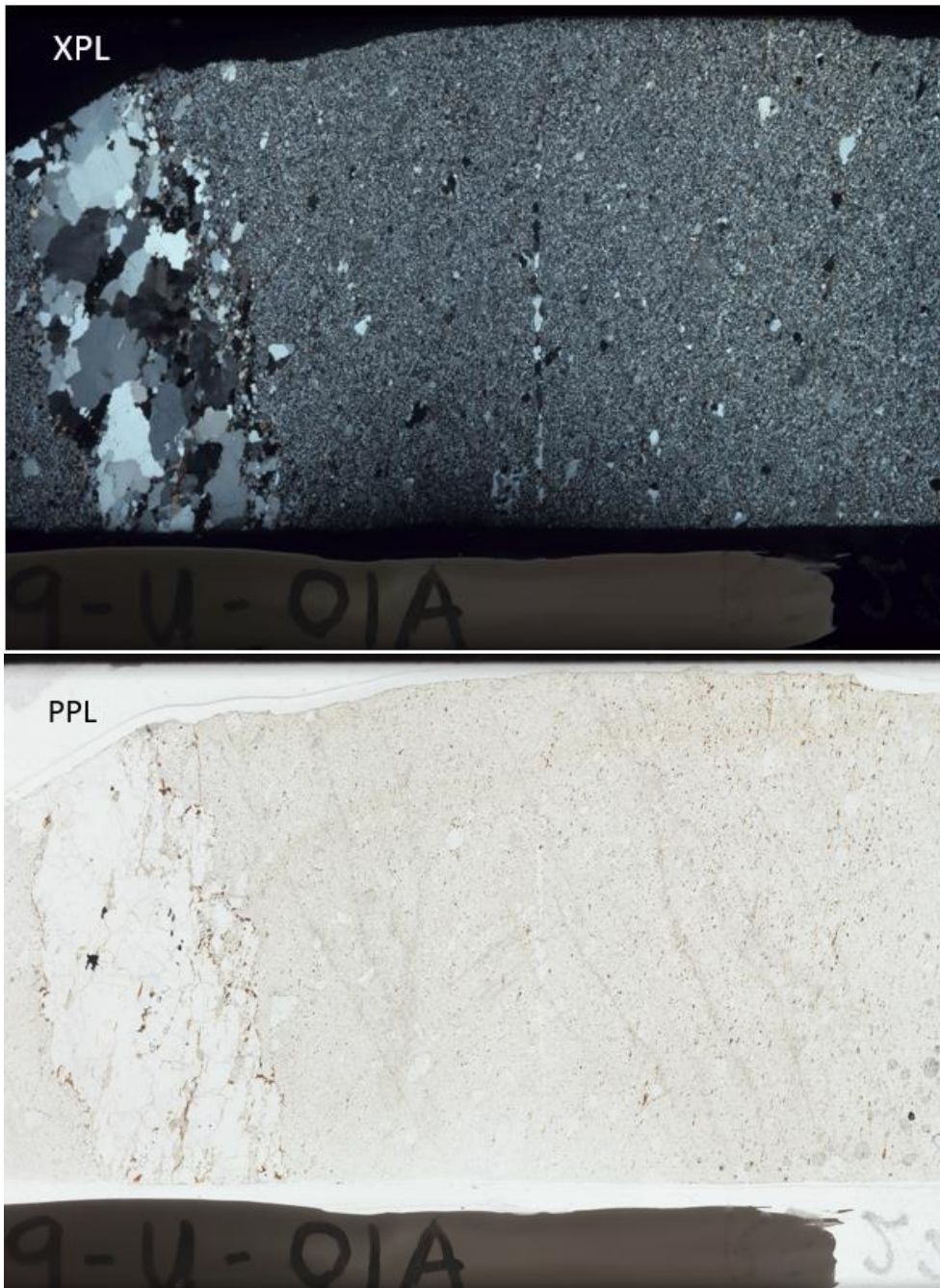
Jansson, E. 2019. Sidobergartsomvandling på Utö-mellan lilla Sillsvik och Stora Sillsvik Opublicerad Rapport. Geovetenskapliga intuitionen, Stockholms universitet.

11 Bilagor

Nedanför finns bilder på hela tunnslipen i både XPL och i PPL som inte togs med i resultatdelen. Varje bild motsvarar 2–3 centimeter i verkligheten

19-U-01A

Bilderna visar sidobergarten med en stor kvartsådra till vänster.



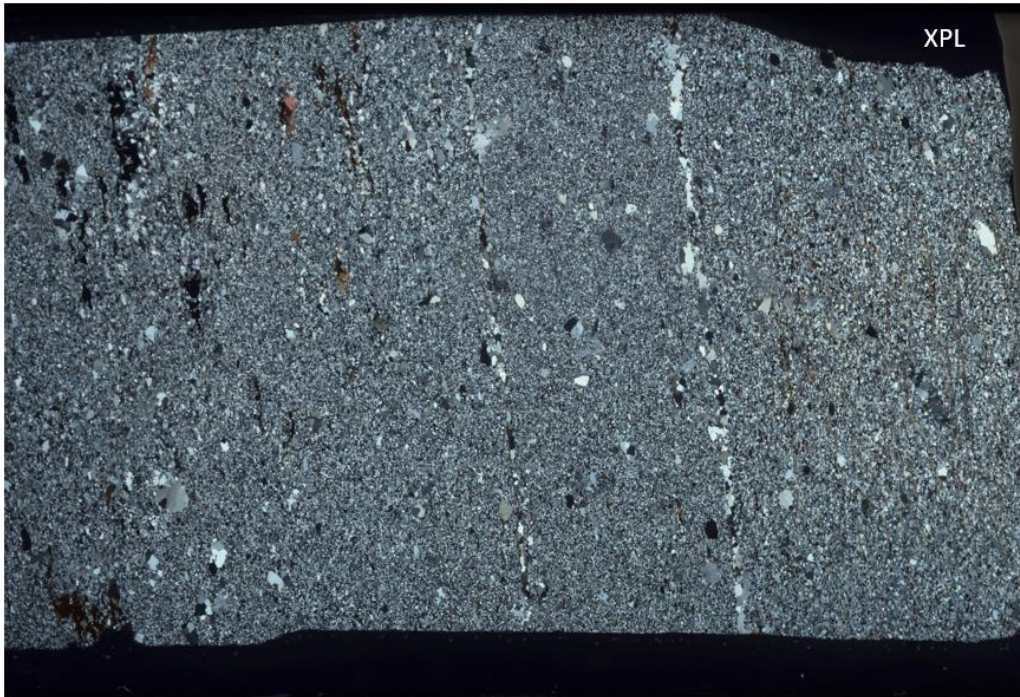
19-U-02A

Bilderna visar bara sidobergarnen.



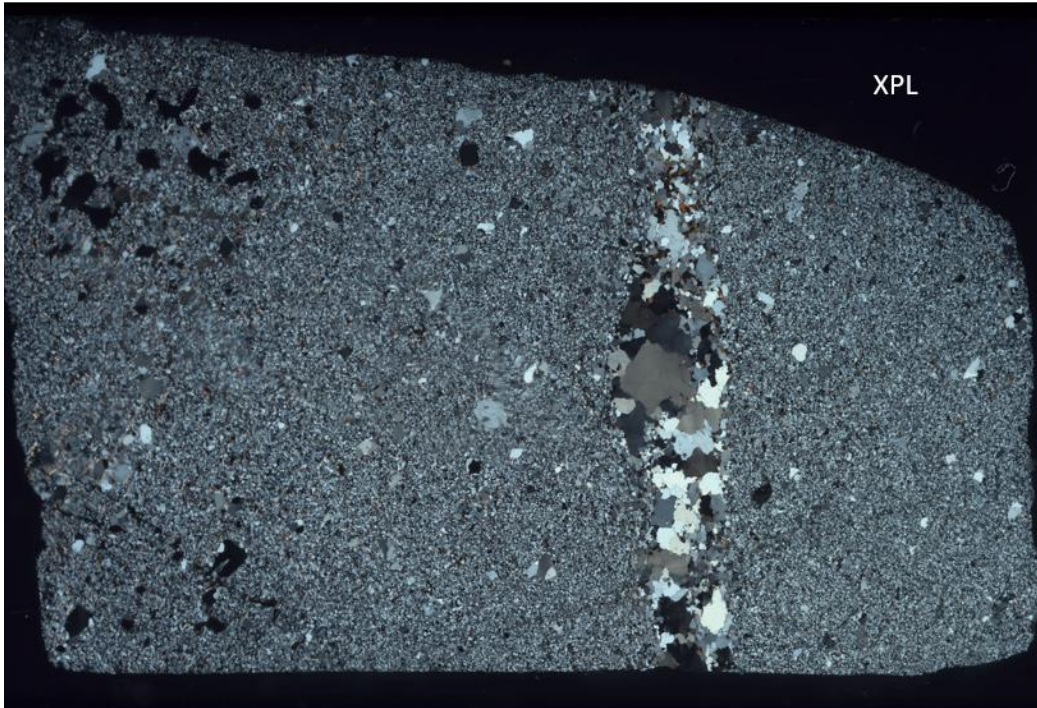
19-U-03A

Bilderna visar alla 3 zoner där alterationsådran är längst till vänster, sidobergartsomvandlingszonen i mitten och sidobergarten till höger.



19-U-04A

Visar en tydlig kvartsådra i sidobergartsomvandlingszonen men även en del av sidobergarten visas till höger om kvartsådran.



19-U-05A

Bilderna visar alla tre zoner där alterationsådran är längst till vänster, sidobergartsomvandlingszonen i mitten och sidobergarten till höger.

