

# RES TERRAE

Publications of the Department of Geosciences University of Oulu  
Oulun yliopiston geotieteiden laitoksen julkaisuja

Ser. B, No. 19  
2008

Kimmo Lahtinen

Lapin korundin alkuperä



**Kimmo Lahtinen**

**Lapin korundin alkuperä**

**Res Terrae, Ser. B, No. 19, OULU, 2008**



**RES TERRAE** - Publications of the Department of Geosciences,  
University of Oulu, Oulun yliopiston geotieteiden laitoksen julkaisuja

Ser. A, Contributions	ISSN 0358-2477
Ser. B, Raportteja - Reports	ISSN 0358-2485
Ser. C, Opetusjulkaisuja - Teaching material	ISSN 0358-2493

**Editorial board - Toimituskunta:**

**Dr. Pekka Tuisku, Päätoimittaja - Editor-in-Chief**  
**Prof. Vesa Peuraniemi**

**Julkaisu ja levitys - Published and distributed by:**

**Oulun yliopisto, geologian osasto - University of Oulu, Department of  
Geology, P.O. Box 3000, 90014 University of Oulu, Finland**

**Telephone: 08-5531430, International tel: +358-8-5531430**  
**Telefax: 08-5531484, International fax: +358-8-5531484**  
**E-mail: pekka.tuisku@oulu.fi**  
**www: <http://cc.oulu.fi/~resterr/>**

# Lapin korundin alkuperä

KIMMO LAHTINEN

## Lyhennelmä

Lapin granuliittivyöhykkeellä ja sen välittömässä läheisyydessä maaperässä esiintyy yleisesti korundia, jota löydetään lähinnä kullankaivuun sivutuotteena Lemmenjoen ja Ivalonjoen kullanhuuhdonta-alueilta. Korundeja käytetään yleisesti koruteollisuudessa. Suurin osa tutkielman korundeista ei täytä jalokiviluokan vaatimuksia, mutta satunnaisia punaisia rubiineja ja sinisiä safiireja tavattiin. Muita tavattuja korundityyppejä olivat mm. "Lapin tähti" ja Schiller-tyypin pronssinkiiltoinen korundi. Korundeja ei ole löydetty granuliittialueen kallioperässä eikä niiden alkuperää näin ollen tunneta. Tutkielman aihe sivuaa myös Lapin kullan problematiikkaa, esiintyvähän ne samoissa maalajeissa Lapin granuliittivyöhykkeen alueella.

Tutkielmassa analysoitiin ja tunnistettiin Oulun yliopiston elektronioptiikan laitoksen mikroanalysaattoria apuna käyttäen korundien mineraalisulkeumia sekä isäntäkiven kappaleita. Sulkemien avulla oli mahdollista määrittää isäntäkivien luonnetta sekä sitä onko eri alueiden korundeilla eri lähtökivi. NORDSIM -massaspektrometrin avulla puolestaan voitiin määrittää erityyppisissä korundeissa esiintyvien zirkoni- ja monatsiittisulkeumien ikä. Tämän avulla oli mahdollista tehdä johtopäätelmiä niistä geologisista prosesseista mihin korundien synty liittyy. TWQ ja Theriak-Domino -ohjelmistojen avulla oli mahdollista laskea Miessil-näytteelle mineraalien tasapainottomisuusolosuhteet.

Korundien mineraalisulkeumat koostuivat pääosin eri verkkosilikaateista, lähinnä margariitista ja kloriitista sekä hieman vähemmässä määrin muskoviitista ja biotiitista. Schiller-tyypin korundeissa merkittävimmän mineraaliryhmän muodostivat oksidit kuten hematiitti, ilmeniitti ja rutiili. Aksessorisia mineraaleja oli lukuisia, yleisimpinä zirkoni, monatsiitti ja apatiitti. Erityyppisten korundien zirkonisulkeumien iänmäärityksissä havaittiin sulkeumien olevan osin arkeoisia (schiller-tyyppi) ja osin proterotsooisia (noin 1940 Ma sekä noin 1910 Ma).

Korundien mineraalisulkeumien perusteella voitiin päätellä, että suurin osa korundeista ei ollut peräisin granuliittivyöhykkeen kallioperästä vaan muualta alueelle kulkeutunutta. Osa granuliittikaaren reunavyöhykkeeltä löydetystä korundeista on todennäköisesti paikallisia tai lähes paikallisia. Mineralogiasta, ulkoasusta ja iänmäärityksistä voidaan varmuudella todeta että Lapin korundeille on useita isäntäkiviä. Pääosa korundeista on todennäköisesti syntynyt alueellisen metamorfoosin vaikutuksesta, 1940 Ma ikäisiä zirkonisulkeumia sisältävä korundi on todennäköisesti magmaattinen.

## SISÄLLYS

<b>1. TUTKIMUKSEN TAUSTAA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. TUTKIMUSALUE</b> .....	<b>3</b>
2.1 KESKI-LAPIN ALUEEN KALLIOOPERÄN KEHITYS .....	5
2.1.1 Kittilän Paaraskallan korundi-safiiriini-kornerupiiniesiintymä .....	5
2.2 LAPIN GRANULIITTIVYÖHYKE (LGB) .....	6
2.2.1 Laaniliitit.....	8
2.3 LAPIN GRANULIITTIVYÖHYKKEEN MAAPERÄ .....	8
<b>3. RASKASMINERAALIT</b> .....	<b>9</b>
3.1 PLATINARYHMÄN ALKUAINEIDEN MINERAALIT .....	9
3.2 KULTA .....	10
<b>4. KORUNDI</b> .....	<b>11</b>
4.1 JOHDANTO .....	11
4.2 KORUNDIEN GEOLOGIA.....	12
4.3 KORUNDIESIINTYMIEN LUOKITTELU .....	13
<b>5. NÄYTEMATERIAALI</b> .....	<b>15</b>
5.1 NÄYTTEIDEN LÖYTÖALUEIDEN KUVAUS .....	15
<b>6. TUTKIMUSMENETELMÄT</b> .....	<b>16</b>
6.1 RÖNTGENMIKROANALYSAATTORI .....	16
6.1.1 Laitteisto ja standardit.....	18
6.1.2 Korundinäytteiden esikäsitteily.....	18
6.1.3 Yhteenveto röntgenmikroanalyyseistä.....	19
6.3. KÄYTETYT OHJELMAT .....	20
6.3.1 Theriac-Domino.....	20
6.3.2 TWQ.....	21
<b>7. MINERALOGIA</b> .....	<b>21</b>
7.1 NÄYTEKORUNDIEN ULKOASU JA LUOKITTELU .....	21
7.2 KORUNDIANALYYSIT .....	29
7.3 KORUNDIEN SISÄLTÄMÄT SULKEUMAT JA NIIDEN KEMISMI .....	30
7.3.1 Oksidit.....	30
7.3.2 Fosfaatit.....	34
7.3.3 Sulfidit.....	36
<i>Kuva 18. Hematiitti-, rutiili-, zirkoni- ja monatsiittisulkeumia Mobergin D4 näytteessä.....</i>	<i>36</i>
7.3.4 Karbonaatit.....	37
7.3.5 Silikaattisulkeumat.....	37
7.3.6 Sulfaattisulkeumat.....	43
7.3.7 Alkuaineet .....	43
7.4 SULKEUMASEURUEET .....	43
<b>8. NÄYTEKORUNDIEN SYNTY JA SYNTYOLOSUHTEET</b> .....	<b>45</b>
<b>9. IÄNMÄÄRITYKSET</b> .....	<b>49</b>
<b>10. POHDINTAA</b> .....	<b>51</b>
<b>11. KIITOKSET</b> .....	<b>55</b>
<b>12. KIRJALLISUUS</b> .....	<b>56</b>

## 1. TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Minulle tarjoutui mahdollisuus tähän lapin granuliittijakson maaperän korundeja käsittelevään Pro gradu – tutkielmaan, kun ohjaajani, dosentti Pekka Tuisku, ilmoitti hakevansa opiskelijaa suorittamaan jalokiviin liittyvää tutkielmaa. Jalokivet ovat aina kiehtoneet minua, joten totesin tutkielman aiheen varsin mielenkiintoiseksi ja haastavaksi sekä samalla myös käytännönläheiseksi. Myöhemmin ilmoitin kiinnostukseni aihetta kohtaan dosentti Tuiskulle ja onnekseni kukaan muu opiskelija ei ollut kyseistä aihetta ehtinyt vielä valita. Tutkielmaa koskevat mineralogiset tutkimukset aloitettiin talvella 2006.

Tutkielmassani keskityn selvittämään, mm. näytekorundien sulkeumia analysoimalla, Lapista, Lemmen- ja Ivalojoen alueiden kultavaltauksien maaperästä löytyneiden korundien isäntäkiveä, syntyolosuhteita sekä niihin liittyviä geologisia prosesseja. Geologisesti alue on Lapin granuliittijaksoa. Viimeinen jäätikön kulkusuunta alueella on pääosin lounaasta koilliseen ja voidaan pitää mahdollisena, että korundit olisivat kulkeutuneet granuliittialueelle myös muualta.

Aiempaa, korundeihin liittyvää geologista tutkimustietoa alueelta ei ole, joten se lisäsi tutkielman haasteellisuutta. Gemmologista tutkimustietoa alueen korundeista (mm. Kinnunen, 1995) on jonkin verran olemassa, mutta ne eivät palvele tämän tutkielman tarkoitusta. Ainoa korundeihin liittyvä tieteellinen geologinen julkaisu Lapista on Haapalan, Siivolan, Ojanperän ja Yletyisen (1971) käsialaa ja siinä käsitellään Kittilästä löytyneitä kalliokorundeja. Kittilässä korundit liittyvät granuliittikaarelta lounaaseen sijoittuvalla Keski-Lapin liuskejaksolla sijaitsevaan Kittilän vihreäkivivyöhykkeeseen.

Ohjaajani, dosentti Tuisku, on itse paljon tutkinut Lapin granuliittijakson geologiaa ja esittänyt jo vuonna 1994 (Tuisku et al., 1994) että alueen kvartsiipuuhteisiin kiviin, ns. laaniliitteihin, olisi jossain niiden metamorfisen kehityksen vaiheessa liittynyt korundeja. Granuliittijakson kallioperästä korundeja ei kuitenkaan ole toistaiseksi löytynyt.

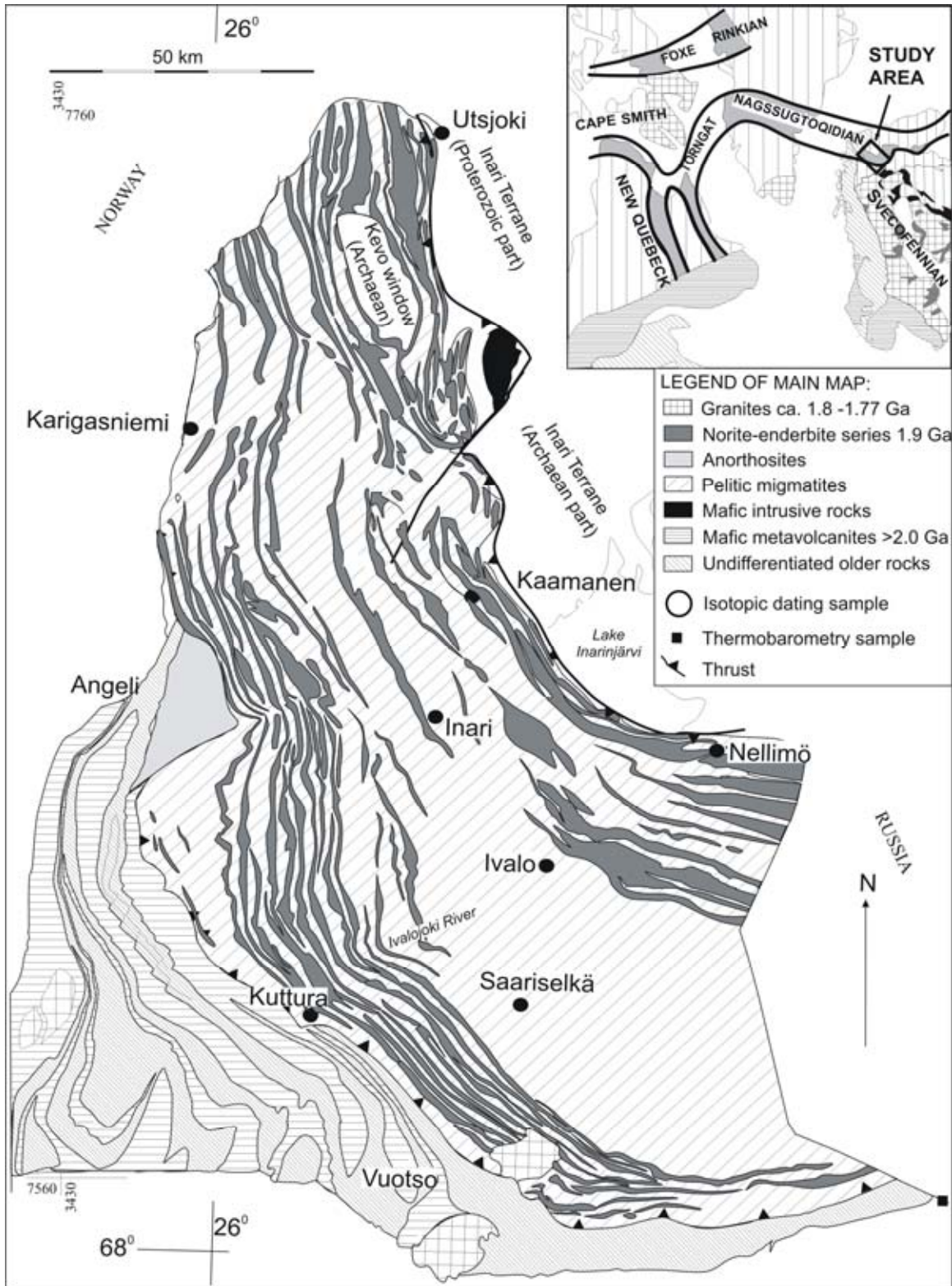
Mielenkiintoiseksi korundien alkuperän selvittämisen tekee aiemman tutkimustiedon puutteen lisäksi se, että osa tutkielmassa käytettävistä näytekorundeista on korundin värillisiä, läpikuultavia jalokivimuotoja, rubiineja ja safiireja. Lisäksi osa on hieman heikompilaatuisia ”puolijalokiviluokkaa” olevia korundeja. Suurimman osan näytteistä muodosti kuitenkin gemmologisessa mielessä arvottomat korundit. Korundien isäntäkiven selvittäminen on tärkeää jalokiviluokan korundien etsinnän kannalta. Tämä voisi omalta osaltaan mahdollistaa taloudellisen korundiesiintymän löytymisen, mikäli hyvälaatuisia korundeja siinä määrin vielä lähtökalliossa esiintyisi.

Tämä tutkielma voi olla myös tärkeä mietittäessä Lapin irtokullan alkuperää, esiintyyhän korundit nimenomaan samoissa maalajeissa kullan kanssa Lapin kultamailla.

## **2. TUTKIMUSALUE**

Varsinainen tutkimusalue eli alue jonka maalajeista tutkielmassa käytetyt näytekorundit on löydetty, sijoittuu geologisesti Lapin granuliittivyöhykkeelle (Kuva 1.) tai parissa tapauksessa sen välittömään läheisyyteen. Näytteet ovat peräisin Lemmenjoen ja Ivalonjoen kultavaltauksilta, lähinnä Miessiltä, Mobergiltä sekä muutamilta muilta paikoilta. Karttalehdet joille näytteenottoaikat sijoittuvat ovat 3812 07, 3812 08, 3812 11, 3813 11, 3831 01, 3831 02, 3831 03 sekä 3831 04 (Kuva 31).

Vaasjoen et al. (2005) maantieteellisen nimistön mukaisesti Lapin granuliittivyöhyke rajoittuu koillisessa Inarin alueeseen, lännessä ja etelässä Keski-Lapin alueeseen ja kaakossa Itä-Lapin kompleksiin. Tässä osassa tarkastellaan lähinnä Lapin granuliittivyöhykkeen ja Keski-Lapin alueen kallioperän kehitystä sekä Lapin granuliittivyöhykkeen maaperää ja sen muodostumiseen vaikuttaneita tekijöitä. Lisäksi käsitellään tarkemmin Keski-Lapin liuskealueeseen kuuluva, Kittilän vihreäkivialueelta tunnettu kalliokorundiesiintymä.



Kuva 1. Kallioperäkarta Lapin granuliittivyöhykkeen geologiasta sekä sitä lounaassa rajaavasta Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeestä. (Tuisku et al. 2006)

## **2.1 Keski-Lapin alueen kallioperän kehitys**

Geologiansa mukaisesti aluetta nimitetään Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeeksi, ja sitä nimeä käytän tästä edespäin.

Keski-Lapin liuskealue koostuu arkeisen pohjan päälle kerrostuneista suprakrustisista kivistä sekä paikallisista emäksisistä-ultraemäksisistä kerrosintruutioista. Siitä on eroteltavissa geologiansa perusteella seitsemän ryhmää (Lehtonen et al., 1998). Vihreäkivivyöhykkeen geologisen kehityksen alku, vulkaniittien kerrostuminen arkeisen pohjan päälle käynnistyi Hanskin ja Huhman (2005) mukaan n. 2450 Ma. Tällöin arkeisen kuoren repeämisen seurauksena suuret määrät vaippaperäistä magmaa pääsi purkautumaan arkeisen pohjagneissin päälle. Laavan koostumus vaihteli komatiittisesta ryoliittiseen ja tästä johtuen syntyi hyvin monimuotoisia vulkaanisia esiintymiä. Tämän ensimmäisen magmaattisen vaiheen heikennyttyä, alkoi intensiivinen sedimenttien kerrostumien vulkaniittien päälle. Tämän 300–400 Ma aikana kerrostui lähinnä kvartsiitti-dolomiitti-basaltti-peliitti sarjan suprakrustisia kiviä, joita loppuvaiheessa vielä seurasi ultraemäksisten vulkaniittien kerrostuminen.

Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen kallioperän merkittävimmät deformaatiovaiheet kulmineituvat orogeniaan kun ns. Kittilä-ryhmä, kappale merellistä kuorta työntyi kratonille. Hieman myöhemmin törmäsivät svekofenninen alue lounaasta ja Lapin granuliittivyöhyke sekä Kuolan-Inarin alue koillisesta kratoniin. Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen kehitys päättyi noin 1880 Ma sitten Molassisedimenttien kerrostumiseen (Hanski & Huhma, 2005).

### **2.1.1 Kittilän Paaraskallan korundi-safiriini-kornerupiiniesiintymä**

Paaraskallan korundi-safiriini-kornerupiiniesiintymä on ainoa tieteellisen tutkimuksen kohteena ollut korundiesiintymä Pohjois-Suomessa. Haapalan ja kumppaneiden (1971) tutkimuksesta tekee erityisen mielenkiintoisen se seikka, että kyseinen esiintymä sijaitsee hyvin lähellä Lapin granuliittivyöhykettä ja voidaan pitää mahdollisena että ainakin osa



tutkielmani näytekorundeista olisi viimeisen, SW-NE-suuntaisen jäätikkökuljetuksen granuliittivyöhykkeelle kuljettamia.

Petrologisesti Paaraskallan korundit liittyvät alueellisen metamorfoosin vaikutuksesta muodostuneisiin mineraaliseurueisiin, joita isännöi amfiboliitti-sarvivälkekivimuodostuma. Korundi esiintyy seuraavissa mineraaliassosiaatioissa:

1. Sarvivälke-plagioklaasi-korundi ± kloriitti
2. Sarvivälke-gedriitti-safiriini-korundi (-kloriitti-plagioklaasi)
3. Sarvivälke-korundi-kornerupiini-serisiitti-klinozoiisiitti-kloriitti

Tutkimuksessa kävi ilmi että korundipitoinen kivi esiintyy isäntämuodostumassaan yhdensuuntaisena vyöhykkeenä sen kanssa. Tyypilliseen basalttiseen kiveen verrattuna muodostuman korundipitoinen vyöhyke on selvästi köyhtynyt titaanista ja rikastunut alumiinista.

Paaraskallan esiintymän kalliokorundit ovat tyypillisesti halkaisijaltaan alle 1 cm:n, mutta myös suurempia kiteitä tavataan. Suurin osa on reunoiltaan muuttunut kloriitiksi tai paikoin sarvivälkkeeksi tai serisiitiksi.

## **2.2 Lapin granuliittivyöhyke (LGB)**

Lapin granuliittivyöhykettä on tieteellisesti tutkittu kohtalaisen paljon, myös viime aikoina, ja sen geologiaa tunnetaan suhteellisen hyvin.

Lapin granuliittivyöhyke muodostui varhaisproterotsooisella ajalla, noin 1900 Ma sitten. Kooltaan vyöhyke on verrattain suuri, 400 km pitkä ja 90 km leveä (Eskola, 1952; Meriläinen, 1976). Se kuuluu osana Fennoskandian kilpeen (Kuva 1).

Vyöhyke koostuu pääosin granuliittifasiuksen metamorfoosin läpikäyneistä, hyvin alumiinirikkaista metasedimenteistä, lähinnä metapeliiteistä, joita petrografisesti edustavat erilaiset migmatiittiset gneissit. Etenkin viimeaikaisissa tutkimuksissa (Korja et al., 1996; Tuisku et al., 2006) on kuitenkin todettu myös magmaattisten kivien määrän olevan verrattain merkittävä. Nämä enderbiitti- ja noriittikoostumuksiset kerrosjuonimaiset intruusiot, ortogneissit, ovat metasedimenttien kanssa konkordantteja ja niiden uskotaan yleisesti olevan syngeneettisiä granuliittiutumisen kanssa. Edellisten syväkivien lisäksi vyöhykkeeltä tavataan vähäisessä määrin metasedimenttien kanssa konkordantteja tai leikkaavia kvartsidioriitteja, granodioriitteja ja graniitteja sekä leikkaavia pegmatiitti- ja diabaasijuonia (Meriläinen, 1976; P. Tuisku, suullinen tiedonanto). Lisäksi Hackman (1905), Eskola (1952) sekä Tuisku (1994) ovat maininneet laaniliiteista,  $\text{SiO}_2$ -köyhtyneestä kivilajista, joka voisi olla potentiaalinen korundi-isäntä.

Lapin granuliittijakson kivet ovat voimakkaasti migmatiittiutuneet ja tektonisoituneet. Meriläinen (1976) olettaa LGB:n voimakkaan foliaation olevan yhdensuuntainen alkuperäisen kerroksellisuuden kanssa. Liuskeisuus kaatuu pääosin varsin loivasti koilliseen ja omaa voimakkaita blastomyloniittisiä ja S-tektoniittisiä piirteitä (Tuisku et al., 2006). Poikkeus kaateessa on vyöhykkeen koillisreunassa, jossa liuskeisuus kaatuu lounaaseen. (Tuisku et al., 2006).

Vyöhykkeen metamorfoosi saavutti huippunsa noin 1910 Ma sitten (Meriläinen, 1976; Tuisku & Huhma, 2006). Olosuhteet olivat Barbeyn ja Raithin (1990) mukaan noin 850 °C ja 8 kbar. Tuisku et al. (2006) ovat esittäneet oman näkemyksensä, joka on samankaltainen, 750 - 850 °C ja 5 – 8.5 kbar. Lisäksi Tuisku ja Makkonen (1999) ovat laskeneet LGB lounasreunan käyneen läpi eklogiittifasiuksen metamorfoosin, paineen ollessa korkeimmillaan jopa 12 kbar. Granuliittifasiuksen korkeissa lämpötiloissa metapeliiteissä on tapahtunut sulamista ja ne ovat migmatiittiutuneet. Myöhemmin jäähtyessään ovat leukosomit kiteytyneet andalusiitin stabiilisuusalueella (Tuisku et al., 2006).

### **2.2.1 Laaniliitit**

Laaniliitti nimitystä käytetään LGB:n granuliiteista, jotka ovat köyhtyneet kvartsista. Niiden kemismiä luonnehtii hyvin korkeat Al-, Mg- ja Fe-pitoisuudet (Eskola, 1952). Tuisku et al. (2006) ovat ehdottaneet laaniliitteja migmatiittiutuneiden metapeliittien variantiksi. Kemismiltään kivet ovat potentiaalisia isäntäkiviä korundeille. Kuitenkaan niissä, niin kuin ei muuallakaan LGB:lla, ole kalliopaljastumista tai lohkeista korundeja tavattu.

### **2.3 Lapin granuliittivyöhykkeen maaperä**

Vaikka LGB:n maaperän katsotaan koostuvan pääosin paikallisesta materiaalista, havainnot joidenkin korundien löytöpaikoilta kertovat myös merkittävästä vierasperäisestä maa-aineksesta.

Näytekorundien löytöalueen maaperä on jäätikön kasaamaa ja jäätikön sulavesien, enemmän tai vähemmän, lajittelemaa. Alueiden moreenipeite on suhteellisen ohut, 1 – 2 metriä sisältäen yleensä ainoastaan yhden moreenikerroksen (Saarnisto & Tamminen, 1989). Paikoin moreenin alapuolelta on löydetty lajittunutta maa-ainesta, joka on tulkittu preglasiaaliseksi rapautumaksi (Saarnisto & Tamminen, 1985).

Niin sanottu Härkäselän alue, josta merkittävä osa näytteistäni on löydetty, nousee muihin kullanhuuhtonta-alueisiin nähden huomattavan korkealle. Alueen maaperä koostuu yleisesti sekä paikallisesta että muualta kulkeutuneesta aineksesta. Saarniston ja Tammisen tutkimuksessa (1985) havaittiin vierasperäisen aineksen muodostavan tietyissä kerroksissa jopa yli 40 % maa-aineksesta. Merkittävimpiä muualta kulkeutuneita aineksia olivat vihreäkivet, joiden voidaan olettaa kulkeutuneen lounaasta, sekä Inarin alueen graniittigneissit. Kivilajistosta päätellen vieraan maa-aineksen voidaan kuvitella kulkeneen jäätikön mukana vähintään 20 km matkan. Tätä todennäköisempänä Saarnisto ja Tamminen (1985) pitävät tutkimuksessaan sitä, että vieras maa-aines olisi

jäätikköjokien mukana kulkeutunutta. Tähän viittaisi ainakin lohcareiden pyöristyneisyys.

### **3. RASKASMINERAALIT**

Kuten mainittua, korundit esiintyvät Lemmen- ja Ivalojen alueella samoissa maalajeissa kuuluisan Lapin kullan kanssa. Näiden lisäksi alueen maalajeissa tavataan lukuisia muita raskasmineraaleja, mm. platinaryhmän metalleja.

Makroskooppisen tarkastelun pohjalta näytti siltä, että kaikkein yleisin raskasmineraali oli magnetiitti. Myös granaattia sekä oksidimineraaleja, etenkin hematiittia esiintyi hyvin yleisesti. Muita tutkimusalueelta todettuja raskasmineraaleja ovat ilmeniitti, ilmenohematiitti, hematiitti, amfiboli, pyrokseeni, rutiili, zirkoni, monatsiitti, epidootti (Tamminen, 1986) sekä jo mainitut korundi, kulta ja platinaryhmän mineraalit (Kuva 13).

#### **3.1 Platinaryhmän alkuaineiden mineraalit**

Platinamineraaleja, sekä hieman myös muiden platinaryhmän metallien mineraaleja, tavataan kullanhuhdonnan yhteydessä toisinaan. Yleisesti ottaen arvellaan platinan määrän kuitenkin olevan kultaesiintymissä alle promillen saadusta kultamäärästä. Kullan tavoin platinamineraalit esiintyvät hippuina, väri on yleensä metallin harmahtava. Tavallisimmat tavattavat platinamineraalit ovat sperryliitti ja isoferroplatina. Tamminsen mukaan (1986) muita tavattuja platinaryhmän alkuaineiden mineraaleja (PGM) ovat ainakin puhdas platina sekä osmiridium, joka sisältää osmiumia, iridiumia, platinaa ja ruteniumia. Myöhemmissä tutkimuksissa Törnroos et al. (1998) ja Kojonen et al. (2006) toteavat lapista löytyneen kymmeniä eri platinamineraaleja. Morfologialtaan ja kooltaan hiput ovat hyvin vaihtelevia ja sulkeumina niissä esiintyy lähinnä sulfideja ja muutamassa tapauksessa kultaa (Törnroos et al., 1998). Kojosen et al. (2006) mukaan hippujen alkuperä on suhteellisen lähellä ja hiput todennäköisesti käyneet läpi monivaiheisen mineralisaation.

### 3.2 Kultta

Ivalo- ja Lemmenjoen kultaesiintymät ovat alluviaalisia. Ivalojoen päälaakso ja osa sen eteläisistä sivujoista muodostaa Ivalon kultamaiden taloudellisesti merkittävimmän alueen (Tamminen, 1986). Lemmenjoen alueella eniten kultaa on käsittääkseni löydetty joen päälaaksosta sekä sivuhaaroista, etenkin Miessijoelta. Koska suuri osa jokilaaksojen esiintymistä on jo hyödynnetty, on kullan huuhtonta siirtynyt enenevässä määrin kauemmaksi jokilaaksoista, lähinnä ympäristön moreeniin, johon glasifluviaaliset joet ja purot ovat uurtaneet uomia. Alueen kullan alkuperästä on esitetty useita eri teorioita (mm. Tamminen, 1986; Kinnunen, 1992; Forsström ja Tuisku, 1993) mutta toistaiseksi ei ole edes varmuutta tai yksimielisyyttä siitä onko kultta paikallista vai ei. Kojonen et al. (2006) ehdottaa kirjoituksessaan kullan olevan peräisin kerroksellisista amfiboli-pyrokseenikivistä, vulkaanisperäisistä vihreäkivistä ja hydrotermisistä kvartsi-karbonaattijuonista. Tuomo Korkalo (2006) käsittelee väitöskirjassaan varsin kattavasti koko Lapin läänin alueen kultaesiintymät.

Lapin kullan koostumus vaihtelee. Siinä tavataan yleisesti vaihtelevia määriä etenkin hopeaa ja vähäisemmässä määrin kuparia. Muita metalleja esiintyy ainoastaan hivenainepitoisuuksia. Myös kullan morfologia on vaihtelevaa. Muoto ja kuluneisuus heijastelevat hipun kulkeutumismatkaa ja on alueellisesti riippuvaista. Stigzeliuksen (1954) Mukaan kultahippujen pintamorfologia voi vaihdella toisinaan paikoin samassakin purossa.

Selvittämällä korundien alkuperä, saadaan myös arvokasta tietoa Lapin kulta- ja platinahippujen isäntäkivestä ja mahdollisesti lähtöalueesta, esiintyvähän ne samoissa maalajeissa Ivalo- ja Lemmenjoen alueilla.

## 4. KORUNDI

### 4.1 Johdanto

Korundi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) on ollut kautta aikojen eräs halutuimpia ja arvostetuimpia mineraaleja, johtuen sen kauniista läpikuultavista jalokivimuodoista, punaisesta rubiinista ja sinisestä safiirista. Puhtaat syvät värit, kirkas kiilto, kovuus ja harvinaisuus tekevät niistä timanttien ohella merkittävimmän taloudellisen jalokiven. Kovuuden takia korundeja käytetään koruteollisuuden lisäksi myös muussa teollisuudessa, mm. hioma-aineena. Jalokivimuotojen ohella korundeja esiintyy yleisemmin lähes kaiken värisinä, riippuen hivenalkuaineiden jakautumasta korundissa. Aivan kuten värityskin, geologinen esiintymisympäristö on korundeilla hyvin monimuotoinen, esiintyen niin plutonisissa, vulkaanisissa kuin puolipinnallisissa magmakivissä, mutta myös alueellisen ja kontaktimetamorfoosin synnyttämänä. Luonnonkorundien lisäksi valmistetaan myös synteettisiä korundeja,  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  ja  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  jne..(Deer & al., 1966).

Korundi on kiteistä alumiinioksidia. Sillä on trigoninen symmetria (Deer & al., 1962). Synteettisesti valmistetut korundit kuuluvat joko heksagoniseen, kuutiolliseen, tetragoniseen tai rombiseen kidejärjestelmään (Deer et. al., 1962). Hivenalkuaineina korundissa esiintyy pääasiassa  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ , ja  $\text{V}^{+}$  (Kievlenko, 2003). Juuri näiden alkuaineiden jakauma aiheuttaa kullekin korundille sen ominaisen värin. Esimerkkinä rubiinin syvänpunaisen värin saa aikaan etenkin kohonnut  $\text{Cr}^{3+}$  -pitoisuus sekä vähäisemmässä määrin merkittävät  $\text{V}^{3+}$ - ja  $\text{Fe}^{3+}$  -pitoisuudet. Korundin korkean kovuuden, 9 Mohsin asteikolla, lisäksi, sille on tunnusomaista melko korkea ominaispaino. Korundin ominaispaino on Deer et al. (1962) mukaan  $3.98\text{-}4.02 \text{ gcm}^3^{-1}$ . Kievlenko (2003) on lisäksi maininnut, että hyvin rautarikkaissa vihreissä tai sinisissä safiireissa ominaispaino voi nousta  $4.10 \text{ gcm}^3^{-1}$ .

## 4.2 Korundien geologia

Korundien synty voi liittyä useisiin eri geologisiin prosesseihin. Kyseessä on endogeeninen mineraali, jonka kiteytymislämpötila on huomattavan korkea, yli 2000 °C. Korundin esiintyminen voi liittyä erityyppisiin magmakiviin sekä korkean asteen, amfiboliitti- ja granuliittifasiuksen metamorfisiin kiviin. Sedimentäärisissä prosesseissa korundia ei muodostu. Taloudellinen, placer-korundiesiintymä voi tosin muodostua sedimentääristen prosessien seurauksena. Korundilla on loistava resistanssi rapautumista vastaan.

Kaikkia magmakiviä joissa korundi esiintyy, yhdistää kemiallisesti kaksi tekijää: Alhainen SiO<sub>2</sub>-pitoisuus, sekä huomattavan korkea Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-pitoisuus. Korundi ei voi esiintyä kvartsin kanssa samoissa kivissä, sillä ne reagoivat keskenään muodostaen alumiinisilikaatteja (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>). Kokeellisesti on todettu K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-systeemin likvidus-lämpötilan nousevan huomattavasti pienestäkin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:n lisäyksestä. Tästä seuraa se että mm. happamissa graniittisissa magmoissa ei lämpötila riitä siihen, että ne voisivat sisältää ylimääräistä alumiinia muodostaakseen korundia (Yoder ja Eugster, 1955). Myöhemmin kuitenkin huomattiin ylimääräisen alumiinin esiintyvän ja reagoivan em. tavalla kvartsin kanssa. Isomorfisen seossarjan korundi muodostaa yhdessä eskolaiitin (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kanssa (Chatterjee et al., 1982). Mm. edellä mainituista kemiallisista tekijöistä johtuen korundeja esiintyy alkalisissa, foidirikkaisissa magmakivissä, emäksisissä magmakivissä ja lamprofyyreissä sekä syeniittisissä pegmatiiteissä. Isäntäkivenä voi toimia esimerkiksi subalkaliset oliviinibasaltit, fonoliitit tai vaikkapa biotiitti-monchiquiitit. Morfologialtaan esiintymät ovat yleensä laavavirtoja tai juonia (Kievlenko, 2003). Merkittävimmät magmakiviin liittyvät taloudelliset korundiesiintymät esiintyvät nefeliinisyeniiteissä.

Magmakiviä yleisempiä korundit ovat metamorfisissa kivissä ja merkittävimmät taloudelliset jalokiviesiintymät liittyvät niihin tai niistä lähtöisin oleviin placer – esiintymiin. Tyypillisesti ne liittyvät kontaktimetamorfoosiin, lähinnä metasomaattiseen

muuttumiseen, mutta myös alueellinen metamorfoosi voi synnyttää korundipitoisia mineraaliseurueita kuten mm. luvussa 2.1.1. esitelty Kittilän Paaraskallan korundipitoinen esiintymä osoittaa. Kontaktimetamorfoosin synnyttämät korundit, rubiinit ja safiirit näyttävät liittyvän joko kalsiittisten tai dolomiittisten marmorien – tai kiillepitoisten mafisten sekä ultramafisten kivien metasomaattiseen muuttumiseen (Kievlenko, 2003; Morishita et al., 2007). Kvesjöenissä, Norjan Kaledonideilla esiintyy ultramafiittisen linssin ja metapeliittien kontaktissa korundipitoinen vyöhyke, joka on syntynyt kun kiilleliuskesulkeuma ultraemäksisessä isäntäkivessä on metasomaattisesti muuttunut (Bucher et al., 2005). Syntynyt mineraaliseurue on koostu lähinnä korundista ja margariitista sekä muista verkkosilikaateista, ts. monelta osin samoista mineraaleista, mitä tämän tutkimuksen korundit vaikuttivat sisäänsä sulkevan.

Alueellisessa metamorfoosissa korundit liittyvät alumiinirikkaisiin liuskeisiin (mm. Ranson, 2000) ja gneisseihin sekä hyvin Ca-rikkaisiin karsikiviin ja marmoreihin. On lisäksi havaintoja siitä että korundia voi syntyä myös desilikaation kautta. Kenian Kinyiki Hillin esiintymässä korundeja esiintyy liuskekivessä sellaisessa asemassa, että voidaan olettaa niiden syntyneen duniitti-intruusion desilikoivasta vaikutuksesta viereiseen liuskeeseen (Parkinson, 1947).

### **4.3 Korundiesiintymien luokittelu**

Korundiesiintymien luokittelussa tuon esille Kievlenkon (2003) luokittelun, joka pohjautuu esiintymien geologiaan ja genetiikkaan sekä edelleen esiintymätyyppiin, isäntäkiviin jne.. Itse asiassa kyseinen luokittelu on ainoa näkemäni korundiesiintymiä koskeva luokittelu ja käsittelee varsinaisesti rubiineja ja safiireja. Luokittelu pätee kuitenkin myös korundeille, joilla ei ole taloudellista merkitystä. (Taulukko 1).



Geneettinen Ryhmä	Geneettinen Luokka	Esiintymätyyppi	Isäntäkivi	Esiintymän rakenne ja morfologia	Jalokivien esiintyminen	Muut mineraalit	Jalokivien tyypilliset piirteet	Taloudellinen Merkitys	Tyypiesiintymä
Endogeeninen	Magmaattinen	Basaltit ja alkalibasaltit	Subbalkaiset oliviinibasaltit, tefriiitit, fonoliitit, jne..	Laavavirrat, maar-tyyppi jne..	Aksessorisena pirotteena	Zirkoni, pleonaste, magnetiitti jne..	Rakeita, prismaattisia, pyöristyneitä kiteitä.	Eluviaalisten ja alluviaalisten esiintymien lähde	Anakie (Australia), Pailin (Kambotsea)
		Alkaliset emäksiset lamprofyyrit	Biotiitti ja flogopiitti monchiquiitit	Juonet	Pirote	Spinelli, magnetiitti, rutiili, granaatti	Teräviä rakeita ja kiteitä, lähinnä safiireja.	Vähäinen	Yogo Gulch (Montana, USA)
	Pegmatiittinen	Syeniittipegmatiitit	Syeniitit, biotiitti-amfib. gneissit jne..	Juonet, linssimäiset esiintymät	Pirote	Albiitti, granaatti, biotiitti, titaniitti, sodaliitti jne..	Tynnyrinmuot. ja prismaattisia kiteitä. Sinisiä.	Merkityksetön	Ilmen, (Ural, Venäjä), Bancroft (Kanada)
	Kontaktimetasmaattinen	Karsiutuneet marmorit	Kalsiitti ja dolomiitti marmorit	Mineralisoituneet juonissa	Pirote, paikallista konsentraatiota	Skapoliitti, fuksiitti, spinelli, diopsidi jne..	Prismaattisia, usein lättänöitä rubiineja.	Merkittävä	Hunza (Pakistan), Kashmir (Intia)
		Kiillerikkaat anortosiitit mafisissa ja ultramafisissa kivissä	Duniitit, serpentiniitit ja amfiboliitit	Juonet ja lentikulaariset esiintymät	Pirote	Albiitti, flogopiitti, biotiitti, zoiisiitti, pargasiitti jne..	Prismaattisia ja tabulaarisia kiteitä. Rubiini ja safiirimaisia korundeja.	Vähäinen	Umba-joki (Tansania), Tank Creek (USA)
	Alueellismetamorfinen	Al-rikkaat liuskeet ja gneissit, marmorit ja karsit	mm. Kyaniitti-granaatti-kiilleliuskeet	Mineralisoituneet horisontit	Pirote	Biotiitti, rodoliitti, kyaniitti jne..	Rakeita ja pieniä prismaattisia kiteitä.	Alluviaalisten placer – esiintymien lähde	Ratnapura, Elahera (Sri Lanka)
Eksogeeninen	Placer	Eluviaalinen ja eluviaaliseduviaalinen	Mm. karstiluolien täytteet		Kiteet ja niiden fragmentit savisissa kivissä	Kemiallista rapautumista vastustavia min.	Kuten primäärissä lähteessä	Merkittävä	Mogok (Myanmar), Elahera
		Alluviaalinen ja proluviaaliseduviaalinen	Hiekka-pikkukivi-sora esiintymät		Kiteet ja niiden fragmentit alluviumissa	Korkean tuheyden mineraaleja	Kuten primäärissä lähteessä	Hyvin merkittävä	Mogok, Ratnapura, Chantaburi (Thaimaa)

Taulukko 1. Kievlakon (2003) luokittelua mukaileva, suomen kielelle kääntämäni taulukko korundiesiintymien luokittelusta.

## **5. NÄYTEMATERIAALI**

Johtuen melko korkeasta ominaispainostaan korundi huuhdottaessa, Muiden raskasmineraalien tavoin, pyrkii keveämpien mineraalien suhteen rikastumaan esimerkiksi vaskoolin tai huuhdontarännin pohjalle. Tällä tavoin, periaatteessa kullan sivutuotteena, myös tässä tutkielmassa tutkitut ja analysoidut korundit on löydetty.

Näytemateriaali koostui kaikkiaan noin 60 erillisestä korundinäytteestä. Kaikki korundit sisälsivät mineraalisulkeumia enemmän tai vähemmän ja lisäksi joissakin näytteissä oli mukana sivukiveä (Liite A). Näiden lisäksi mukana oli joitakin korundeiksi luultuja kvartsinäytteitä, joita ei kuitenkaan ollut tarpeen analysoida. Korundinäytteiden lisäksi otettiin löytymisalueilta myös joitakin maalaji- ja lohkarenäytteitä, mutta todettiin että niiden silmämääräinen tarkastelu oli riittävä, eikä niistä ollut tarkoituksenmukaista valmistella näytteitä analysointia varten.

Aloitellessani tutkielmani tekemistä, suuri osa näytteistä oli jo ulottuvillani, olihan tutkielmanohjaajani, kiinnostuksen asiaan jo aiemmin ilmaistuaan, näytteet saatiin alueilla toimineilta kullankaivajilta, lähinnä Janne Kannistolta ja Risto Häkkiseltä. Tutkielmaa tehdessäni lisänäytteitä saapui vielä jonkin verran. Lisäksi vertailua varten käytettiin myös kahta Intiasta peräisin olevaa rubiininäytteitä sekä Oulun yliopiston geologisesta museosta lainattua kahta erillistä näytettä Kittilän alueen korundeista. Toinen Kittilän näytteistä oli jo mainitusta Paaraskallan esiintymästä. Näytemateriaalista saatiin mielestäni varsin kattava katsaus Lapin kultamaiden korundeihin.

### **5.1 Näytteiden löytöalueiden kuvaus**

Löytöalueiden kullankaivuumonttujen maa-aineksen lohkareiden koostumuksesta päätellen ei ole mitään syytä olettaa, että korundit olisivat välttämättä paikallista alkuperää. Lohkareista lähes puolet voidaan tulkita vierasperäisiksi. Näistä lohkareista selkeä enemmistö on amfiboliitteja ja vihreäkiviä, joita ei granuliittijakson sisältä tunneta, ympäristöstä kylläkin yleisesti. Lohkareiden pyörityneisyys kertoo myös niiden pitkästä

kuljetusmatkasta. Kullankaivuumonttujen maalaji oli pääosin melko heikosti lajittunutta moreenia. Paikoin moreenin lohkaaret olivat enimmäkseen granulitteja, joiden pyöristyneisyys oli heikkoa. Moreenin hienoaines vaikutti ainakin osittain olevan peräisin preglasiaalisesta saproliitista.

## **6. TUTKIMUSMENETELMÄT**

### **6.1 Röntgenmikroanalyyssi**

Tärkein yksittäinen tutkimusmenetelmä jota tässä pro –gradu tutkielmassa käytettiin oli näytekorundien sisältämien sulkeuma- ja sivumineraalien tunnistaminen ja analysointi. Mineraalien tunnistus tapahtui kokonaisuudessaan Oulun yliopiston elektronioptiikan laitoksen röntgenmikroanalyyssillä (EPMA). Kun tällä röntgenmikroanalyyssillä saatiin näytekorundien mineraalit ja niiden koostumus tunnistettua, voitiin tätä tietoa hyödyntää mm. määrittämällä mineraaliensuurteiden paine- ja lämpötilaolosuhteita, stabiileja mineraaliensuurteita sekä mineraalireaktioita.

EPMA:n käyttö geologisia näytteitä tutkittaessa on käyttökelpoisen menetelmä silloin kun mineraali tai analysoitava kohde on niin pieni, ettei sitä voida petrografisin menetelmin luotettavasti tutkia tai mineraalin tunnistamisen lisäksi tarvitaan tietää sen tarkka kemiallinen koostumus. EPMA:n mahdollisten analysoitavien alkuaineiden kirjo on niin laaja että sillä voidaan luotettavasti analysoida suurin osa mineraaleista. Ainoastaan berylliumia ja sitä kevyempien alkuaineiden analysointi ei onnistu. Mineraalien tilavuusjakaumaa tai raekokoja selvitetessä EPMA on selkeästi helpoin ja nopein instrumentti käyttää. Mineraalien tunnistuksessa laite ei kuitenkaan ole syrjäyttänyt petrografisia menetelmiä vaan pikemminkin menetelmät tukevat loistavasti toisiaan.

Röntgenmikroanalyyssi perustuu halkaisijaltaan hyvin pienen elektronisuihkun herättämään röntgensäteilyyn näytteessä. Analyysissa elektronisuihkun osumakohdan röntgensäteilyn intensiteetti ja aallonpituus tai energia määritetään. Aallonpituudesta tai energiasta saadaan selville alkuaine ja intensiteetistä kyseisen alkuaineen pitoisuus.

Kvantitatiivinen analyysi saadaan kun elektronisuihkun osumakohdassa heränneen röntgensäteilyn intensiteettiä verrataan aiemmin tunnettuun, puhtaaseen näytteeseen, ns. standardiin.

Kun energettinen elektronisuihku osuu näytteen pintaan, tapahtuu erinäisiä asioita. Syntyviä, röntgenmikroanalyyseissa tai EPMA:lla hyödynnettäviä signaaleja edustavat röntgensäteilyn lisäksi takaisinsironneet elektronit (BSE), sekundäärielektronit, näkyvä valo ja ns. Auger -elektronit.

Elektronisuihkun kohdatessa näytteen, syntyy kahdenlaista röntgensäteilyä, ns. karakteristista röntgensäteilyä ja jatkuvaa röntgensäteilyä. Näistä nimenomaan ensin mainittu edustaa tärkeintä signaalia röntgenmikroanalyyseissä, sillä tämä karakteristisen röntgensäteilyn spektri on omanlaisensa joka alkuaineelle ja analysointi perustuu spektrin karakterististen röntgenviivojen intensiteetin mittaamiseen.

Takaisinsironneita ja syntyneitä sekundäärielektroneja käytetään EPMA:ssa tietokoneen näyttöruudulla näkyvän kuvan muodostamiseen. Tässä etenkin takaisinsironneet elektronit ovat tärkeitä ja muodostuvaa kuvaa kutsutaakin nimellä BSE-kuva. Se, kuinka suuri osa elektroneista siroaa takaisin, on riippuvainen osumakohdan kaltevuudesta ja analysoidun kohteen keskimääräisestä järjestysluvusta. Tästä syystä keskimääräisesti painavimmat kohteet näkyvät kuvassa kirkkaampana kuin keskimäärin kevyemmät kohteet. Sekundäärielektronit ovat hyvin tärkeä signaali pyyhkäisyelektronimikroskoopilla, sillä niiden avulla muodostetaan ns. SEM-kuva, EPMA:lla ne lähinnä antavat lisätietoa näytteen pinnan osumakohdan topografiasta.

Tietyissä mineraaleissa voi tapahtua ns. katodoluminesenssi-ilmiö, jonka seurauksena syntyy näkyvää valoa. Tätä näkyvän valon spektriä on mahdollista hyödyntää kun analysoidaan niin alhaisia pitoisuuksia, ettei niitä voi luotettavasti röntgenmikroanalyyseillä määrittää.

### **6.1.1 Laitteisto ja standardit**

Käytetty röntgenmikroanalysaattori oli Jeol, mallia JXA-8200, johon kuuluu viisi kidespektrometriä (WDS) sekä integroitu energiadiispersiivinen alkuaineanalysaattori (EDS). Analysoinnissa kiihdytysjännitteenä käytettiin 15 kV ja suihkun halkaisijana yleisesti 10 µm. Mikäli kyseessä oli riittävän iso kohde ja haluttiin määrittää kohteen keskimääräiset pitoisuudet (esimerkiksi hematiitti, jossa ilmeniittisuotautumia) käytettiin isompaa, yleensä 20 µm. Pienten kohteiden määrittämiseen käytettiin luonnollisesti pienempää suihkun halkaisijaa, kohteen koosta riippuen 0-5 µm.

Analyysinäytteistä valtaosa oli silikaatteja ja oksideja, sekä pienemmissä määrin fosfaatteja ja karbonaatteja. Yleisimmät analysoidut alkuaineet olivat Na, K, Mg, Ca, Al, Ti, Fe, Si ja Zn. Näiden pitoisuuksiin verrattavina standardeina käytettiin vastaavasti jadeiittia, ortoklaasia, wollastoniittia, korundia, puhdasta titaania, puhdasta rautaa, kvartsia sekä puhdasta sinkkiä.

### **6.1.2 Korundinäytteiden esikäsittely**

Jotta luotettava ja onnistunut kvantitatiivinen röntgenmikroanalyysi voitaisiin suorittaa, täytyy näytteille suorittaa esikäsittely joka valmistaa ne analyysiin. Ensimmäisessä vaiheessa näyte on huolellisesti hiottava ja kiillotettava, sillä instrumentti on hyvin herkkä pinnan epätasaisuuksille. Pienetkin epätasaisuudet voivat aiheuttaa prosenttiluokan virheitä mittaustuloksissa. Näytetyyppinä käytin tutkielmassani epoksinappeja, kiillotettuja ohuthieitä (KOH) ja kiillotettuja kiteitä. Pieni osa näytteistä oli melko puhtaita jalokiviä ja näin ollen ne piti analysoida jälkeen palauttaa omistajalleen. Mm. tästä syystä johtuen kaikista näytteistä ei voitu valmistaa KOH:tä, jotka mielestäni soveltuivat parhaiten analysointiin. Onnistuneen analyysin ajaminen vaatii myös sen että näytteen pinnan on oltava sähköä johtava. Seuraavassa vaiheessa näytteet tuleekin päällystää sähköäjohtavalla kalvolla, joka voi olla hiili- tai metallikalvo. Tämän kalvon, joka korundinäytteissäni oli pintaan höyrystetty hiilikalvo, paksuus on noin 20 nm. Kun tämä päällystys on huolellisesti näytteeseen tehty, voidaan näyte asentaa EPMA:iin ja analysointi aloittaa.

### **6.1.3 Yhteenveto röntgenmikroanalyyseistä**

Kaikkiaan noin 60 korundinäytteen ja sen sisältämien sulkeumien analysointi sujui ilman suurempia ongelmia. Paikoin oli ongelmia lähinnä alumiinistandardin kanssa, jolloin korundi- ja silikaattianalyysit jäivät selkeästi vajaiksi. Pieniä lisävaikeuksia muutaman näytteen analysointiin tuotti myös kiillotettujen kiteiden asentaminen näytedikesylinteriin. Hiilimaalin avulla ne kuitenkin onnistuneesti saatiin sylinteriin ”liimattua” melko suoraan ja näytteen kaltevuudesta johtuva analyysin vääristyminen oli varmasti minimaalista.

## **6.2 SIMS**

SIMS:a (sekundääri-ioni massaspektrometri) käytettiin tutkielmassa iänmääritysten tekemiseen näytekorundien monatsiitti- ja zirkonisulkeumista. SIMS-laitteistossa näytteen pintaa pommitetaan energettisellä ionisuihkulla. Tällöin näytteen pinnasta lähtee sekundääri-ioneja jotka kerätään talteen ja isotooppisuhteet voidaan määrittellä laitteiston massaspektrometrillä. SIMS:llä on mahdollista määrittää ppb (parts per billion) tason pitoisuuksia.

### **6.2.1 Laitteisto**

Zirkoni- ja monatsiittisulkeumien uraani-, thorium- ja lyijy-isotooppimäärittäykseen käytettiin Tukholman Naturhistoriska Riksmuseetissa sijaitsevaa yhteispohjoismaalaista SIMS-laitteistoa. Laitteisto on Cameca IMS1270, joka on äskettäin päivitetty useiden ionien yhtäaikaista mittausta varten. Tämä monimutkainen ja kehittynyt instrumentti mahdollistaa mikroanalyysien hyvän resoluution määrittäessä alkuaineiden ja isotooppien pitoisuuksia eri materiaaleilla. Laitteiston yleisin käyttökohde onkin ollut juuri zirkonien uraani-thorium-lyijy geokronologia, sillä sitä ei voida muilla laitteilla määrittää. Lisäksi SIMS:llä tehdään yleisesti zirkonien sekä muiden silikaattimineraalien hivenalkuainetutkimuksia. Laitteistolla voidaan myös analysoida keveitä stabiileja isotooppeja (esim. boori, hiili ja happi).

### **6.3. Käytetyt ohjelmat**

Tietokoneohjelmia tutkimuksessa käytettiin lähinnä termobarometrisiin tutkimuksiin ja niiden havainnollistamiseen. Käytettyjä ohjelmistoja olivat Theriac-domino (de Capitani, 2005; de Capitani & Brown, 1987) ja TWQ (Berman, 1991), jotka molemmat oli mahdollista ladata internetistä omalle koneelle ilman kustannuksia. Isotooppimääritysten käsittelyyn käytettiin Martin Whitehousen Tukholmassa kehittämiä ohjelmistoja sekä Ludwigin (2003) Isoplot ohjelmistoa.

#### **6.3.1 Theriac-Domino**

Ohjelmisto on monipuolinen ja soveltuu hyvin monentyypisen termodynaamisen tiedon käsittelyyn. Sillä voidaan laskea termodynaamisia funktioita, paine- ja lämpötilaolosuhteita, tasapainoisia mineraaliseurueita, tapahtuvia mineraalireaktioita. Ohjelmistolla voidaan lisäksi saada graafinen esitys halutuista tuloksista, esimerkiksi mineraaliseuruiden tasapainodiagrammi. Nimensä mukaisesti ohjelmisto koostuu kahdesta erillisestä ohjelmasta, Theriacista ja Dominosta sekä muutamasta muusta ohjelmasta.

Theriac on ohjelmiston ydin. Se laskee stabiilit mineraaliseurueet ja faasien koostumukset halutuissa paine- ja lämpötilaolosuhteissa.

Domino on tarkoitettu tasapainoisten seurueiden graafiseen esitykseen. Diagrammin akseleihin voidaan valita paine, lämpötila tai komponenttien aktiivisuus. Ohjelmalla voidaan myös piirtää pseudo-binäärisiä tai pseudo-ternäärisiä faasidiagrammeja. Lisäksi ohjelmaa käytetään faasien koostumuksellisten samanarvokäyrien piirtämiseen, tiheys- ja tilavuusjakauman sekä kiven kokonaisparametrien määrittämiseen.

Ohjelmistoon kuuluu lisäksi Therbin, Therter, Thalia, Thermo, Guzzler ja Explot – ohjelmat, joilla voidaan mm. määrittää ja graafisesti esittää binäärisiä ja ternäärisiä faasidiagrammeja vakiopaineessa ja –lämpötilassa (De Capitani & Brown, 1987; De Capitani, 2005).

### **6.3.2 TWQ**

TWQ-ohjelman käyttö perustuu siihen, että valitaan päätejäsenet, joiden väliset tasapainokäyrät ohjelma sitten laskee. Lasketut reaktioiden tasapainokäyrät ohjelma esittää graafisesti paine/lämpötila–diagrammilla. Jos termodynaaminen data ja analyysitulokset ovat virheettömiä ja kaikki mineraalit tasapainottuivat samoissa paine- ja lämpötilaolosuhteissa, leikkaavat kaikki tasapainokäyrät samassa pisteessä (Berman, 1991).

### **6.3.3 Isoplot**

Isoplot ohjelmaa käytettiin tutkielmassa isotooppisuhdeaineiston käsittelyyn ja merkintään (Ludwig, 2003).

## **7. MINERALOGIA**

### **7.1 Näytekorundien ulkoasu ja luokittelu**

Luonnollista ja tyypillistä lähes kaikille näytteille oli se, että niissä oli jossain määrin ”kuoppia” pinnassa, koska sulkeumamineraalit ovat rapautuneet korundia nopeammin. (kuvat 3 ja 8).

Tutkielman näytekorundit vaihtelivat niin muodoltaan kuin väriltään melko paljon. Väriskaalaan kuuluivat ainakin harmaat, vaaleat, syvänpunaiset (rubiini), vaaleanpunaiset, sinertävät (safiiri), ruskeat, tummat ja metallinhohtoiset (schiller) korundit. Osa näytteistä oli omamuotoisia kiteitä, suurin osa ei, jolloin ne esiintyivät satunnaisen muotoisena, muodon riippuen lähtötilanteesta ja kuljetuksen sekä rapautumisen aiheuttamasta kulumisesta. Näiden ominaisuuksien sijaan variaatio näytekorundien koon suhteen rajoittui melko kapealle alueelle, isoimpien ollessa noin 25 mm:n ja pienimpien n. 6 mm pituudeltaan / halkaisijaltaan. Suurin osa näytteistä oli kokoluokkaa ~1 cm pisimmältä sivultaan.



Melko suuresta vaihtelusta johtuen ei ole tarpeellista luokitella näytteitä yksistään ulkoasun mukaan. Ryhmistä tulisi pääosin varsin suppeita. On silti syytä mainita tiettyjä merkittäviä näytekorundityyppejä, joihin voidaan sitoa useampia näytteitä ulkoasun suhteen. Ulkoasultaan samankaltaiset näytteet voitiin usein todeta myös kemismiltään melko yhteneväisiksi.

Yleisin ryhmä, ts. ryhmä johon kuului eniten korundeja, oli ns. schiller-tyyppi (Kuva 2). Schiller-korundit muodostivat hyvin distinktiivisen ryhmä, jonka ulkoasua näytteissä luonnehti pronssimainen vyöhykkeellinen kiilto.

Jalokiviluokan rubiineja (Kuvat 6 ja 7), sekä hieman huonolaatuisempia puolijalokiviä esiintyi myös useampi kappale. Varsinaisia rubiineja oli kaksi näytettä, joista toinen jouduttiin palauttamaan tutkimusten jälkeen omistajalleen korun tekoa varten. Rubiinit olivat hyvin syvän punaisia, puolijalokivien ollen selvästi vaaleampia.

Sinertäviä korundeja (Kuva 5.) oli myös muutama kappale, joista yhden voitiin katsoa olevan jalokiviluokan safiiri. Myös pari puolijalokiviluokan sinertävää korundia kuului näytekokoelmaan. Rubiinien tavoin jalokiven väri oli selkeästi syvempi kuin muiden tähän luokkaan sijoitettujen korundien väri.

Runsaasti tavattiin myös vaaleita, paikoin lähes valkoisia, ns. tavallisia korundeja (kuva 12).



Kuva 2. Tyypillinen pronssinkiiltoinen, vyöhykkeellinen schiller-tyypin korundi. Näyte: Miessi-Ollila I1, näytteen halkaisija 15mm.



Kuva 3. Prismaattisen muotoinen korundi, jonka pinnasta herkemmin rapautuvat mineraalit kuluneet kuopalle. Näyte: Miessi, Marttila J1, näytteen halkaisija 9 mm.



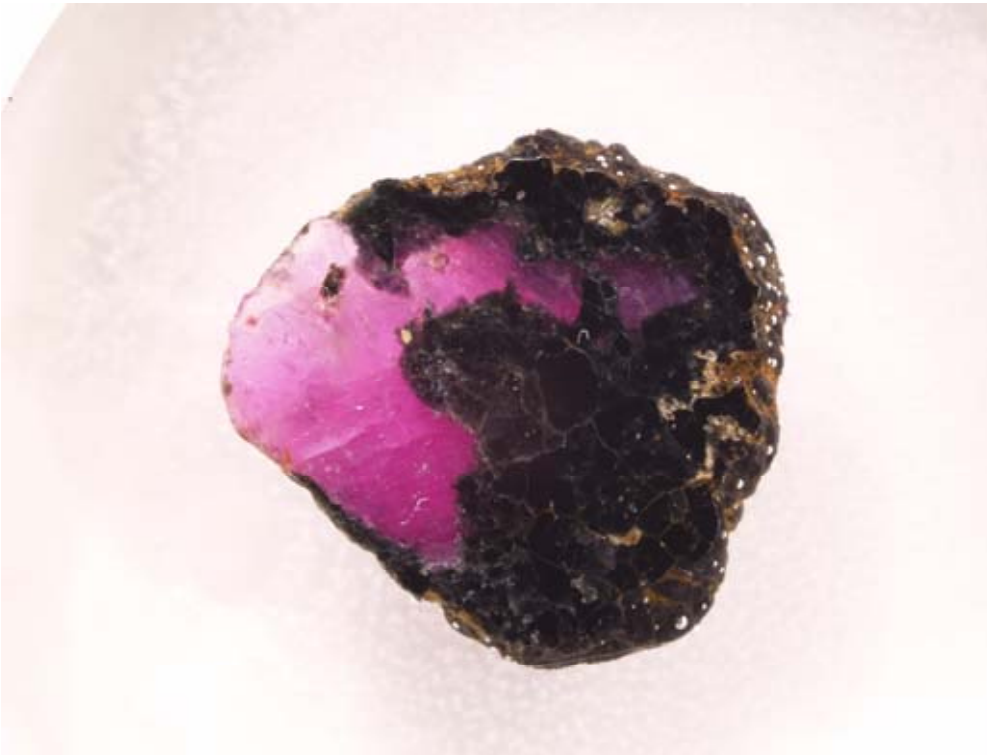
Kuva 4. Pyramidisen muodon omaava korundi. Näytteen pinta on rapautunut paikoin kuopille. Näyte: Puskuoja L2, näytteen halkaisija 10 mm.



Kuva 5. Sinertävä safiiri. Näyte: Miessi-Ollila I8, näytteen pituus 23 mm.



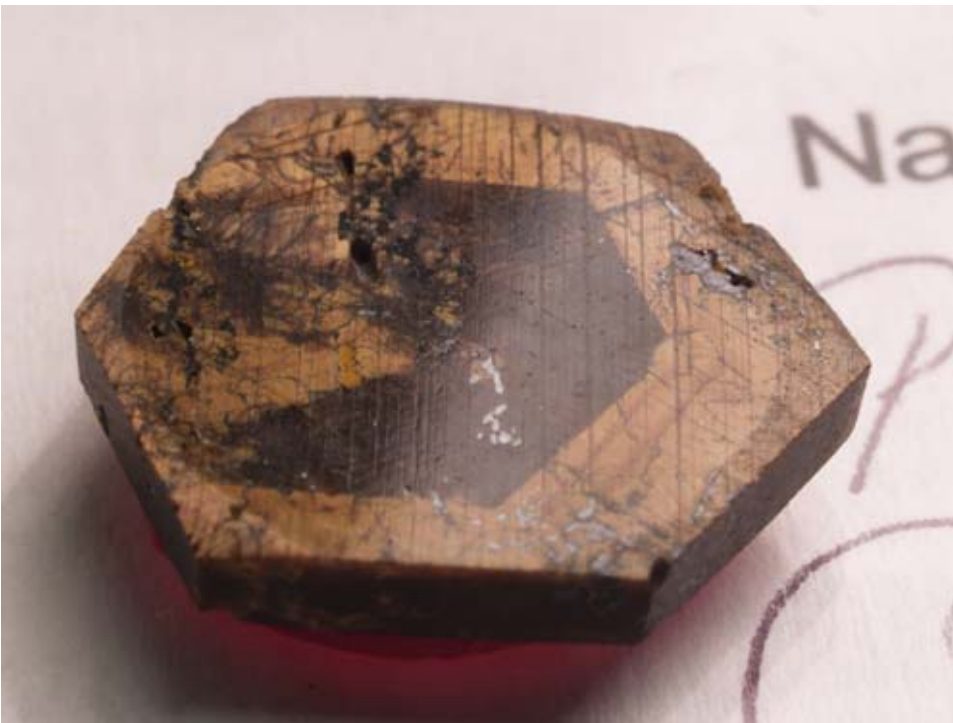
Kuva 6. Punainen, prismaattinen rubiini. Näyte: Jäkälä-Äytsi G, näytteen pituus 5mm.



Kuva 7. Punertava rubiini ja mustaa spinelliä. Näyte: Miessi1, näytteen halkaisija 10 mm.



Kuva 8. Omamuotoinen korundikide, josta näkee hyvin korundin suhteellisen rapautumiskestävyyden. Herkemmin rapautuvat mineraalit ovat kuopalla tai kokonaan hävinneet. Näyte: Miessi-Ollila I9, Näytteen halkaisija 11 mm.



Kuva 9. Schiller-tyypin korundi. Kirkkaat metallinkiiltoiset sulkeumat korundissa ovat hematiittia. Näyte: Zellberg, näytteen halkaisija 15 mm.



Kuva 10. Tummat sulkeumat ovat spinelliä. Näyte: Moberg D6, näytteen halkaisija 13 mm.



Kuva 11. Sinertävä, vyöhykkeellinen "Lapin tähti" –korundi. Näyte: Palsi M, näytteen pituus 25 mm..



Kuva 12. Vaalea, epäsäännöllisen muotoinen korundi. Näyte: Miessi-Ollila I15, näytteen pituus 9 mm.



Kuva 13. Köysihaaran arvokkaita raskasmineraaleja, punertava rubiini sekä kulta- ja platinamineraalihippuja. Mustan renkaan halkaisija 10 mm.

## 7.2 Korundianalyysit

Näytteitä analysoidessa rutiiniksi muodostui analysoida aina ensimmäiseksi itse korundin kemismi. Analysointikohteeksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman häiriintymätön, homogeeninen piste. Jokaisen näytteen korundi analysoitiin useammasta kohdasta. Kaikki korundien analyysitulokset ovat liitteenä (Liite 1), mutta yhteenveto analyysituloksista on kuitenkin paikallaan.

Kuten aiemmin mainittua, oli mahdollista luokitella osa korundeista samankaltaisesta ulkoasusta johtuvien perusteiden. Kaikissa mainitsemisissä näyteluokissa havaittiin kyseiselle luokalle luonteenomainen kemiallinen tai mineraloginen piirteensä, joka sitten heijastui korundissa tiettyinä värinä tai muuna ulkoisena ominaisuutena.

Tutkittaessa schiller-tyypin korundeja valomikroskoopilla tutkielman preliminäärivaiheessa, voitiin niissä havaita pienenpieniä lankamaisia sulkeumia. Myöhemmin sulkeumia mikroanalyysointilla analysoidessa, pystyttiin ne toteamaan koostumukseltaan rautaoksidiksi, hematitiksi joiden koko oli luokkaa  $\sim 1 \mu\text{m}$ . Nämä sulkeumat ovat schiller-korundeissa usein järjestäytyneet heksagonisiksi kehiksi korundin sisälle, antaen sille luonteenomaisena vyöhykkeellisen rakenteen ja pronssimaisen, metallisen kiillon (Kuva 9). Kemiallisesti schiller-tyypin korundeja luonnehti huomattavasti kohonnut Fe-pitoisuus ja heikosti anomalinen Cr-pitoisuus. Paikoin voitiin havaita myös kohonneita V-pitoisuuksia.

Punertava korundit, olivat ne sitten jalokivi-, puolijalokivi- tai raakkuluokkaa, omasivat silmiinpistävän korkeita Cr-pitoisuuksia sekä hieman koholla olevia Fe-pitoisuuksia. Mineralogisesti yhteistä tämän tyypin korundeille, etenkin parempilaatuisille, oli melko vähäinen sulkeumien määrä.

Sinisten korundien kemiaa luonnehtivat kohonneet Fe- ja Ti-pitoisuudet.

Yleistä kaikkien korundien kemiallista oli niiden Fe-sisältö. Jo aiemmin mainittujen hivenaineiden lisäksi korundeissa tavattiin satunnaisesti kohonneita Mn-, Zn-, Ca-, Na-,



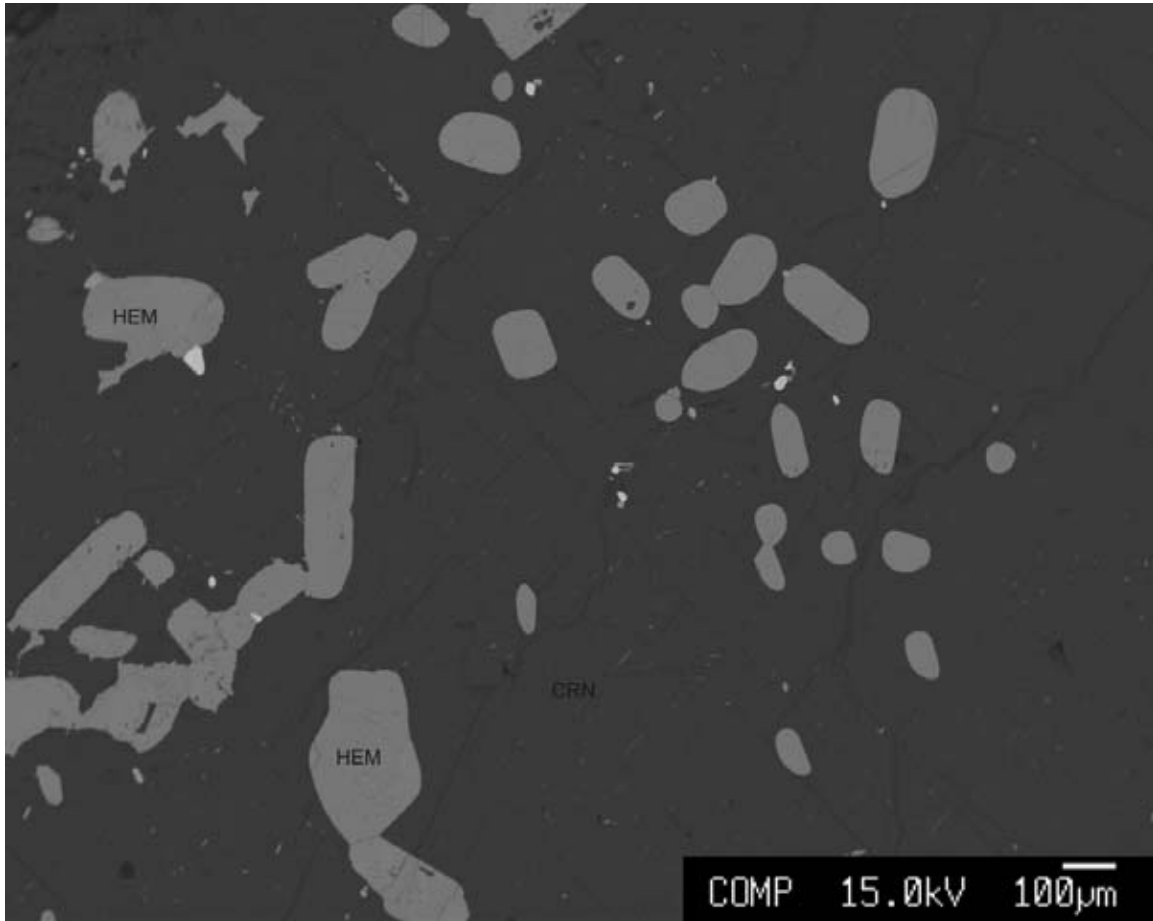
K- ja Ni-pitoisuuksia, mutta ne eivät olleet missään tapauksessa siinä määrin merkittäviä, että niistä voisi tehdä minkäänlaisia johtopäätöksiä esimerkiksi korundin isäntäkiven kemismistä.

### **7.3 Korundien sisältämät sulkeumat ja niiden kemismi**

Kahta näytettä lukuun ottamatta, jokainen tutkielmassa käytetty näytekorundi sisälsi mineraalisulkeumia, joiden koostumuksen ja rakenteen pohjalta oli mahdollista arvioida korundin syntyoloja ja lähtökiven kemiaa.

#### **7.3.1 Oksidit**

*Hematiitti* ( $Fe_2O_3$ ) oli yleisin esiintynyt oksidi ja sitä tavattiin runsaasti etenkin schillerityypin korundeissa. Hyvin pienten lankamaisten sulkeumien lisäksi se esiintyi yleisesti melko isoina sulkeumina (kuva 14) ja suurimpia sulkeumia oli mahdollista havaita paljain silmin näytteestä (kuva 9). Hematiitti sisälsi varsin usein ilmeniittilamelleita, keskimääräisen ilmenohematiitin titaanipitoisuuden noustessa ~10 %:iin (Liite 2). Toisissa näytteissä hematiitit olivat varsin hyvin säilyneitä, toisten ollessa lähes kelvottomia analysoitavaksi. Titaanin lisäksi hivenaineina tavattiin yleisesti vanadiinia, kromia ja satunnaisesti mangaania.



Kuva 14. Lukuisia Hematiitti-sulkeumia Zellbergin näytteen schiller-tyypin korundissa. Kirkkaammat sulkeumat zirkonia.

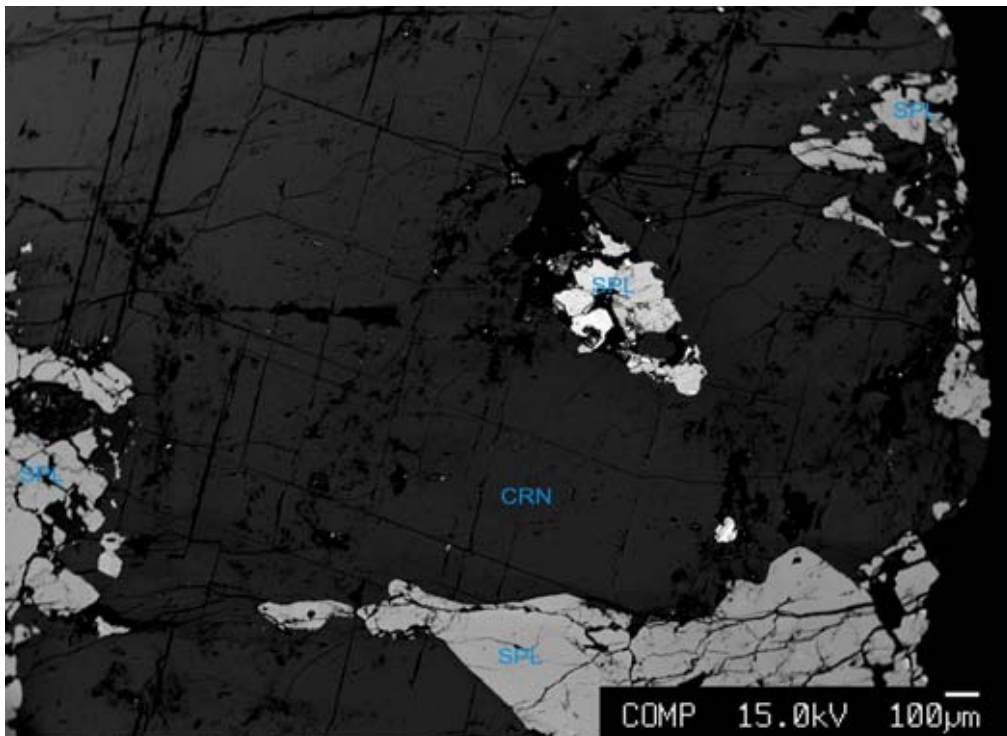
*Ilmeniitti* ( $FeTiO_3$ ): Mainittujen hematiitin ilmeniittilamellien lisäksi ilmeniitti esiintyi useissa näytteissä myös omina sulkeuminaan, tosin harvemmin kuin lamelleina. Näissä ilmeniittisulkeumissa titaanipitoisuus nousi yleisesti lähelle 20 %:a (Liite2). Ilmeniitit esiintyivät myös lähinnä schiller-tyypin korundeissa.

*Rutiili* ( $TiO_2$ ) oli hyvin yleinen sulkeuma, esiintyen lähinnä schiller-tyypin korundeissa yhdessä hematiitin kanssa (Kuva 17), mutta myös silikaattien, lähinnä biotiitin muuttumistuloksena tietyissä näytteissä. Hivenaineina esiintyi yleisesti rautaa ja vanadiinia. Rutiilisulkeumien koko vaihteli hyvin pienestä satoihin mikroneihin.

*Magnetiitti* ( $Fe_3O_4$ ): Koska mikroanalysaattori ei erottele  $Fe^{2+}$ :n ja  $Fe^{3+}$ :n määrää, paikoitellen tuotti vaikeuksia tehdä ero hematiitin ja magnetiitin välillä analyyseissa

(Liite 3). Asiaa helpotti kuitenkin se seikka että magnetiitti esiintyi usein omamuotoisina, kuutiollisina sulkeumina korundissa. Magnetiitti esiintyi yleisesti schiller-tyypin korundeissa, mutta sitä saatettiin tavata myös muissa runsaasti rautaa hivenaineena sisältäneessä korundissa.

*Spinelli* ( $Mg, Fe, Zn, Mn$ ) $Al_2O_4$  oli melko harvinainen, mutta tutkimuksen kannalta merkittävä vieras korundinäytteissäni. Se esiintyi sulkeumana korundissa ainoastaan Miessi-Ollila I5- ja Miessi1 näytteessä. Miessi1-näytteessä spinelli (kuva 15) esiintyi lisäksi myös korundissa sivukivenä. Yleisin spinelli-ryhmän mineraaleista oli magnesiumspinelli ( $MgAl_2O_4$ ), mutta gahniiattia ( $ZnAl_2O_4$ ) tavattiin useina omina sulkeuminaan (Liite 3). Herkyniittiä ( $FeAl_2O_4$ ) tavattiin satunnaisesti (Liite 3). Spinellit esiintyivät monin paikoin vyöhykkeellisinä johtuen magnesium-, rauta- ja sinkkipitoisuuksien vaihtelusta mineraalisulkeuman sisällä. Spinellisulkeumien ja sivukiven löytäminen mahdollisti omalta osaltaan Miessi1 näytteen paine- ja lämpötilaolosuhteiden laskemisen.



Kuva 15. Spinellisulkeumia korundissa, kirkkaammat spinellit ovat Fe- tai Zn-rikkaampia.

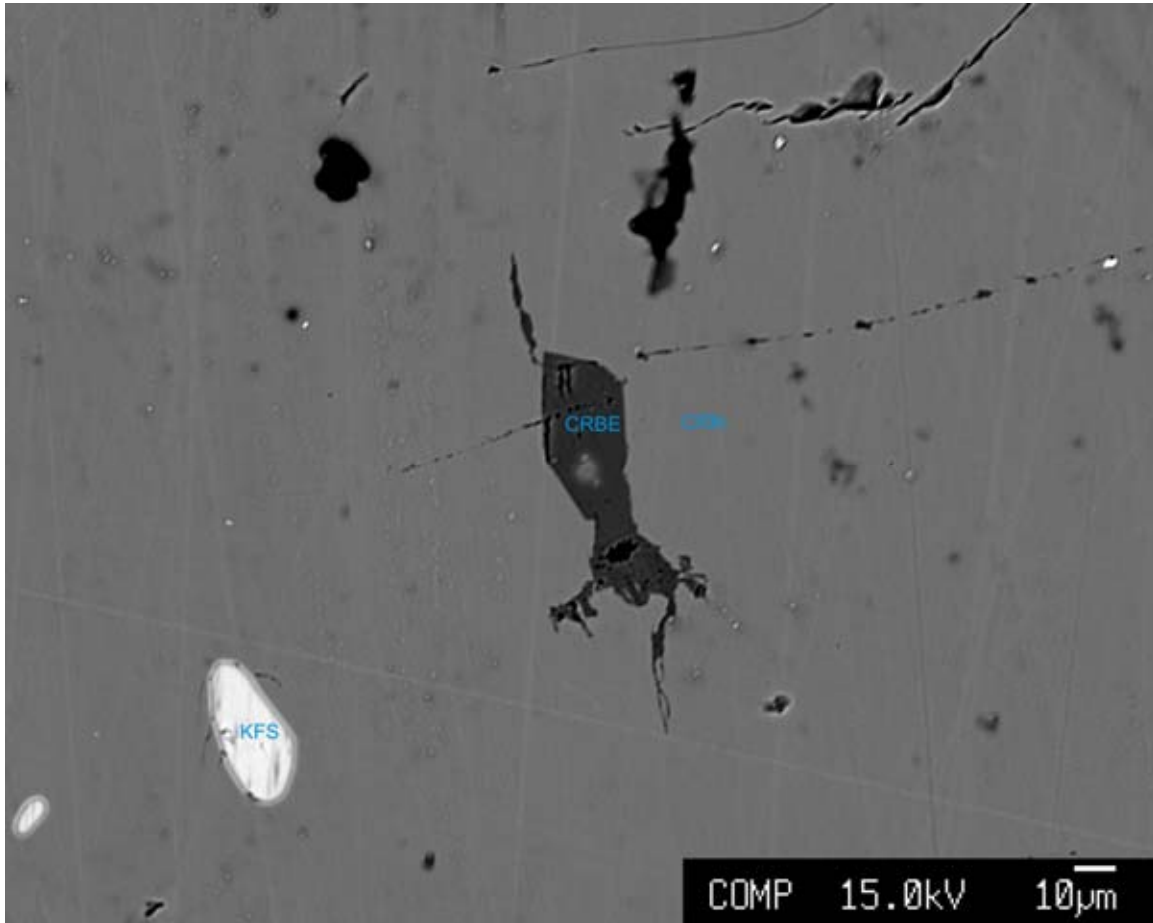
*Baddeleyiittia* ( $ZrO_2$ ) tavattiin Ainoastaan Miessi-Ollila I11 näytteessä, jossa sitä esiintyi pari sulkeumaa zirkonien ( $ZrSiO_4$ ) yhteydessä.

*Thorianiittia* ( $ThO_2$ ), aivan kuten muitakin voimakkaasti radioaktiivisia mineraaleja tavattiin lähinnä hyvin pieninä (yleensä  $< 1 \mu m$ ) sulkeumina monatsiiteissa (Kuva 17), jotka puolestaan olivat sulkeumina korundissa. Thorianiitista voidaan teoreettisesti mikroanalyysin avulla laskea sen likimääräinen ikä, siitä syystä kyseinen sulkeuma analysoitiin. Ainoastaan Moberg D4-näyte sisälsi thorianiittia. Thorianiitti sisälsi lyijyä 8 %.

*Pyrofaniittia* ( $MnTiO_3$ ) tavattiin yhden pienen sulkeuman verran yhdessä, Moberg D5, näytteessä. Analyysi oli varsin epäluotettava ja vajaa, joten kyseisellä mineraalilla tai analyysillä ei ole tieteellistä arvoa.

*Uraniniittia* ( $UO_2$ ) tavattiin Moberg D5- ja Miessi-Turkka H-näytteissä. Se esiintyi muutamina pieninä sulkeumina zirkonissa. Laskennallinen ikämääritys olisi mahdollista tehdä myös uraniniittisulkeumien avulla.

*Krysoberylliä* ( $BeAl_2O_4$ ) saattoi mahdollisesti esiintyä näytekorundeissa paikoin kohtalaisestikin. Beryllium on atomipainoltaan liian pieni määritettäväksi EPMA:lla, mutta epäilyt mahdollisesta krysoberyllin esiintymisestä heräsivät kun tietyistä, hieman kuopalla olevista mineraalisulkeumista (Kuva 16) saatiin vajaita, noin 80 % alumiinia sisältäviä analyysituloksia. Tämä sopisi mainiosti krysoberylliin, jonka koostumus on karkeasti 80 %  $Al_2O_3$  ja 20 %  $BeO$ .



Kuva 16. SEM-kuva mahdollisesta krysoberylli sulkeumasta korundissa. Kuvassa myös pari kalimaasälpäsulkeumaa..

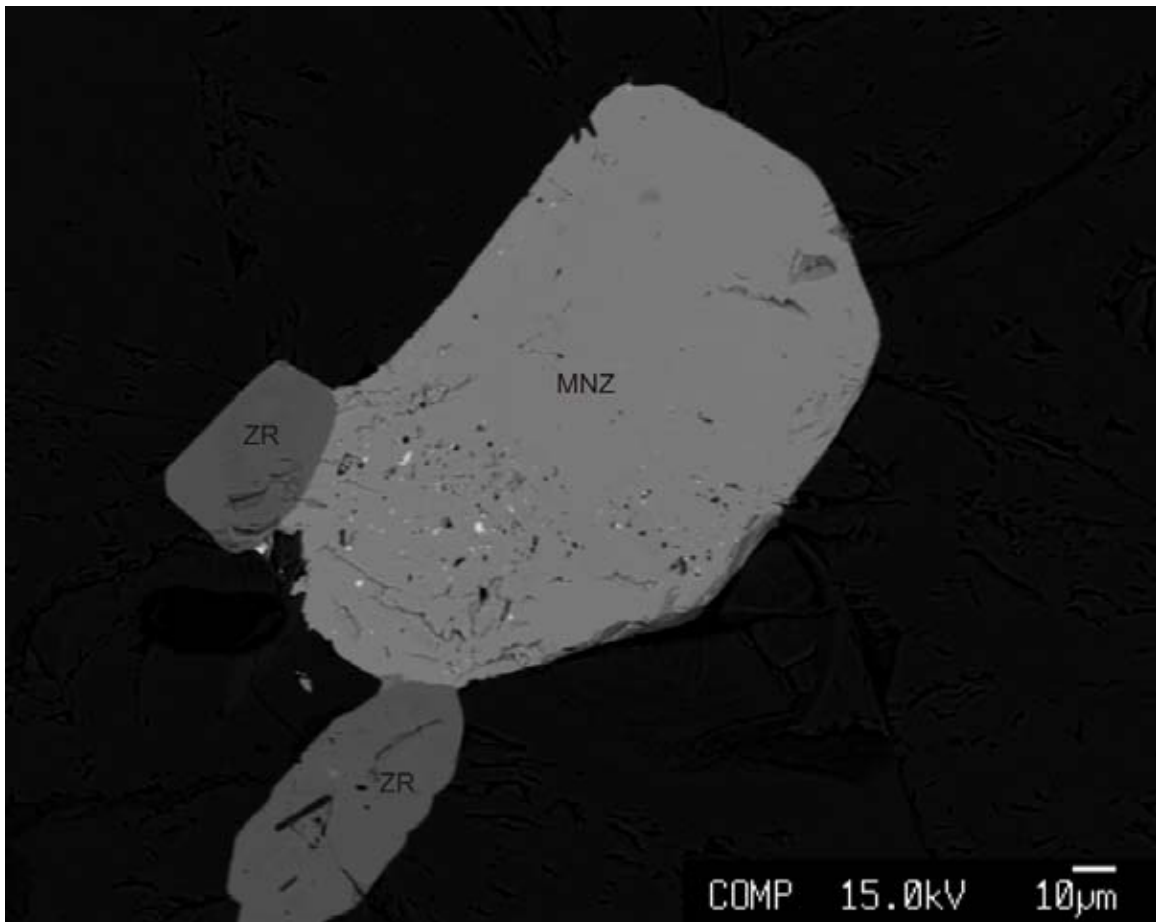
*Bunsemiittia* ( $NiO$ ) löytyi yksi hyvin pieni sulkeuma Moberg D1 -näytteestä. Havaintoa voidaan silti pitää luotettavana johtuen myös korundin hivenainekkelin anomalisesta pitoisuudesta.

### 7.3.2 Fosfaatit

Fosfaattimineraaleista korundeissa esiintyi ainoastaan monatsiittia ja apatiittia, mutta ne olivat melko yleisiä, esiintyen suuressa osassa näytteitä. Ikämäärityksiä ajatellen suuret monatsiittisulkeumat ovat merkittävässä roolissa.

*Monatsiitti* ( $Ce,La,Th$ ) $PO_4$  oli melko yleinen aksessori esiintyen noin puolessa kaikista näytteistä. Monatsiittien koko vaihteli sadoista nanometreistä parhaimmillaan noin 200

$\mu\text{m}$ :iin. Suuria monatsiitteja on mahdollista hyödyntää ikämäärytyksissä SIMS:llä, sillä ne sisältävä radioaktiivisesti hajoavia alkuaineita kuten uraania ja thoriumia. Monatsiitit esiintyivät usein zirkonien yhteydessä (Kuvat 17 ja 18) tai joissain näytteissä myös sulkeumina apatiitissa. Kiteet vaihtelivat omamuotoisesta täysin vierasmuotoiseen. Merkittävin kemiallisesti muuttuva tekijä monatsiiteissa oli Th-pitoisuuden vaihtelu noin 6-16 % välillä, ollen paikoin selkeästi tyypillistä korkeampi. Näytteissä oli lisäksi usein melko korkeita pitoisuuksia neodyymiä ja praseodyymiä.



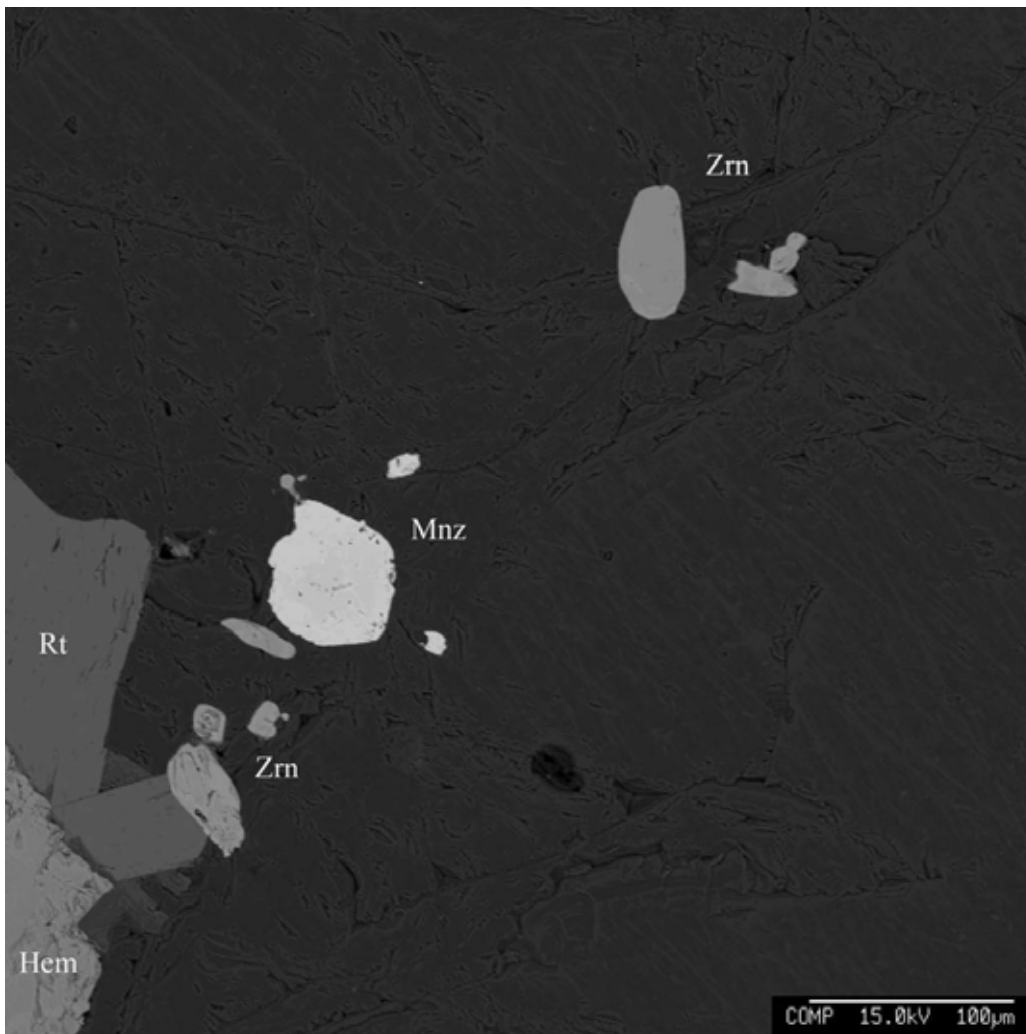
Kuva 17. SEM – kuva Monatsiitti- ja Zirkonisulkeumista korundissa. Pienet kirkkaat mineraalisulkeumat monatsiitissa ovat thorianiittia.

*Apatiitti*  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})]$  liittyi yleensä Schiller-tyypin korundeihin, esiintyen niissä yleisesti melko kookkaina, omamuotoisina sulkeumina. Joissakin näytteissä, esimerkiksi Miessi-Ollila II:ssä apatiittia esiintyi varsin runsaasti. Kyseisessä näytteessä suurin apatiitti oli mahdollista havaita korundista paljain silmin.

### 7.3.3 Sulfidit

Sulfidit olivat hyvin harvinaisia sulkeumia näytekorundeissani, ainakin sen kokoiset sulkeumat jotka luotettavasti sulfideiksi voitiin määrittää, ainoana esiintyi pyriittiä.

*Pyriittiä* ( $FeS_2$ ) tavattiin ainoastaan kahdessa näytteessä ja niissäkin vain parin sulkeuman verran. Moberg D8 ja Miessi-Ollila I5 näytteistä pyriitti voitiin tunnistaa, kyseisissä näytteissä esiintyi myös ilmeisesti magneettikiisua, mutta luotettavaa kvantitatiivista analyysia sulkeumista ei kyetty saamaan.



Kuva 18. Hematiitti-, rutiili-, zirkoni- ja monatsiittisulkeumia Mobergin D4 näytteessä

### 7.3.4 Karbonaatit

Karbonaatteja esiintyi satunnaisesti pieninä sulkeumina joissain näytteissä ollen kuitenkin varsin harvinaisia mineraaleja näytteissäni. Zellberg-, Tuntematon O1 iso-, Miessi-Ollila I6- ja Haisujupukan näytteistä tavattiin karbonaatteja.

*Kalsiitti* ( $CaCO_3$ ): Kittilän Haisujupukan näytteen korundissa tavattiin kalsiitti kohtalaisesti pieninä vierasmuotoisina sulkeumina,

*Dolomiittia* [ $CaMg(CO_3)$ ] tavattiin Miessi-Ollila I6:ssa korundissa yhden sulkeuman verran.

### 7.3.5 Silikaattisulkeumat

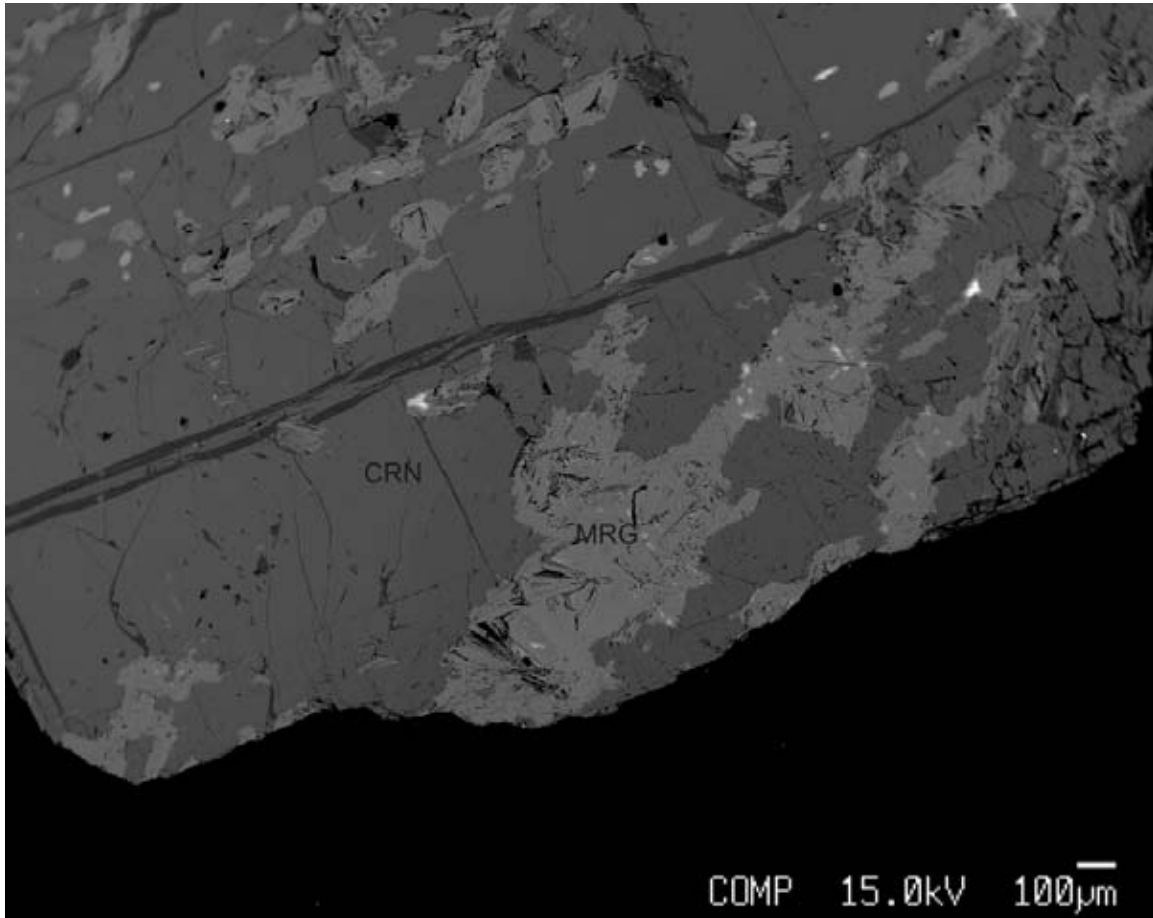
#### *Verkkosilikaatit*

Verkkosilikaatit muodostivat volyymitään ylivoimaisesti suurimman sulkeumaryhmän. Niitä esiintyi vain aivan muutamaa poikkeuksetta lukuun ottamatta kaikissa näytekorundeissa, usein sekä sivukivenä että mineraalisulkeumina. Verkkosilikaatit esiintyivät usein kahden tai useamman mineraali seurueena, mutta myös yksittäin. Osa vaikutti primääreiltä, suurin osa voitiin katsoa olevan muuttumistulosta.

*Margariitti* [ $CaAl_4Si_2O_{10}(OH)_2$ ] (Kuva 19) oli ehkä määrällisesti yleisin korundeissa tavattu sulkeuma. Sitä esiintyi suurimmassa osassa näytteistä. Margariitti on yleisin korundin muuttumistulos ja voidaan tulkita sekundääriseksi mineraaliksi myös näytteissäni, johtuen sen yleisyydestä ja esiintymistavasta. Margariitti esiintyi yleensä mineraaliseurueena muiden verkkosilikaattien kanssa, mutta melko yleisesti sitä tavattiin myös omina sulkeuminaan. Monissa näytteissä margariitti esiintyi myös juonimaisena korundissa. Margariitin koostumus vaihteli melko kapeissa raameissa. Siinä esiintyi yleisesti 1 % verran natriumia, joka korvaa kalsiumia. Pii- ja kalsium-pitoisuus pysyivät



yleisesti lähes vakioina, Al-pitoisuuden hieman vaihdella (Liite 4). Margariitti oli schiller – tyyppin korundeissa jossain määrin harvinaisempi kuin muissa korundityypeissä.



Kuva 19. SEM – kuva Margariittisulkeumista korundissa.

*Kloriitti*  $[(Mg,Fe)_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8]$  esiintyi hyvin yleisesti margariitin ja - tai muiden verkkosilikaattien kanssa samassa sulkeumaseurueessa ja harvemmin omina rakeinaan. Kloriitti esiintyi seurueissa hieman epämääräisen sotkuisen näköisenä ja vaikutti sekundaariselta. Paikoin esiintyi kuitenkin myös yksittäisiä, primääriltä vaikuttavia pieniä kloriittisulkeumia. Kloriitti oli schiller – tyyppin korundeissa hieman margariittia yleisempi. Kaiken kaikkiaan tarkasteltuna kloriittien kemismi oli Fe-Mg substituuotiota lukuun ottamatta hyvinkin homogeenista. Satunnaisesti havaittiin anomalisia Na-pitoisuuksia (Liite5).

*Muskoviitti* [ $KAlSi_3O_{10}(OH)_2$ ] esiintyi joko yksittäisinä sulkeumina tai sulkeumaseurueessa, johon sen lisäksi kuului muita verkkosilikaatteja, yleensä kloriittia ja – tai margariittia. Myös kromi-rikasta kiillettä, fuksiittia tavattiin Jäkälä-Äytsi G – korundissa, jonka kromipitoisuus oli kauttaaltaan korkea. Na-pitoisuus saattoi joissakin sulkeumissa kohota lähelle prosenttia (Liite 6).

*Biotiitti* [ $K_2(Mg,Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+},Al,Ti)_{0-2}[Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}](OH,F)_4$ ] esiintyi useissa näytteissä. Sitä tavattiin sekä omina sulkeuminaan että sulkeumaseurueessa yhdessä muun tai muiden verkkosilikaattien kanssa. Biotiitti ei ollut aivan yhtä yleinen kuin edellä mainitut verkkosilikaatit, mutta esiintyi kuitenkin lähes joka toisessa näytteessä. Schiller – tyyppin korundeissa biotiitin esiintyminen oli melko harvinaista. Biotiittien kemismissä oli tyypillistä raudan ja magnesiumin pitoisuusvaihteluita, jopa 10 % (Liite 7). Ne voidaan selittää  $Fe^{2+}$   $Mg^{2+}$  -substituutiolla. Pienissä määrissä vaihteli myös titaani- ja kaliumpitoisuus. Biotiitti vaikutti esiintyvän sekä muuttumistuloksena että primäärisenä sulkeumana. Joissain näytteissä biotiitti oli alkanut lohkoraoista muuttumaan rutiiliksi tai hematiitiksi. *Eastoniitti* ( $K_2Mg_7Al[Si_5Al_3O_{20}](OH)_4$ ), *anniitti* ( $K_2Fe_6[Si_6Al_2O_{20}](OH)_4$ ) ja *flogopiitti* ( $K_2Mg_6[Si_6Al_2O_{20}](OH)_4$ ) tavattiin hyvin satunnaisesti.

*Paragoniitti* ( $Na_2Al_4[Si_6Al_2O_{20}](OH)_4$ ) esiintyi ainoastaan Jäkälä-äytsin näytteessä, ja siinäkin vain yhden sulkeuman verran.

### ***Hohkasilikaatit***

Hohkasilikaatteja ei juuri esiintynyt. Maasälprien osuus jäi näytteissä ehkä hieman yllättäen melko mitättömäksi ja niistä ei juuri ollut apua korundien syntyhistoriaa mietittäessä. Kvartsia ei korundin kanssa esiinny, kuten aiemmin todettiin.

*Plagioklaasi* ( $CaNa)Al(Al,Si)Si_2O_8$  (Liite 8)

*Anortiitti* ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) -rikasta *plagioklaasia* esiintyi granuliittivyöhykkeen korundinäytteissä yllättävän vähän, ainoastaan kahdessa Miessin alueen näytteessä ja niissäkin melko vähäisesti. Anortiitti ei kyseisissä näytteissä ollut varsinaisesti sulkeumana korundissa vaan granaatissa ja zirkonissa, jotka puolestaan olivat sulkeumia

korundissa. Kittilän Paaraskallan ja Intian korundinäytteissä se oli hyvin yleinen mineraalisulkeuma korundissa sekä esiintyi myös sivukivenä.

*Albiitti* ( $NaAlSi_3O_8$ ) –rikasta plagioklaasia oli anortiittisen plagioklaasin tavoin hyvin harvinainen vieras korundinäytteissäni. Sitä esiintyi ainoastaan Palsiojan näytteessä. Kyseisessä näytteessä albiitti esiintyi sulkeumana muskoviitissa.

*Kalimaasälpää* ( $KAlSi_3O_8$ ) ei esiintynyt kuin parin sulkeuman verran yhdessä, Hangasojan näytteessä.

*Skapoliittia* ( $(Na, Ca, K)_4[Al_3(Al, Si)_3Si_6O_{24}](Cl, CO_3, SO_4, OH)$ ) tavattiin Paaraskallan vertailunäytteessä melko yleisesti.

### ***Ketjusilikaatit***

*Sarvivälkettä* ( $(Na, K)_{0-1}Ca_2(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_5[Si_{6-7}Al_{2-1}O_{22}](OH, F)_2$ ) esiintyi näytekorundeissani ainoastaan Miessil –näytteessä. Lisäksi sitä esiintyi vertailunäytteinä käsitellyissä Kittilän Paaraskallan korundissa sekä Intian näytteessä. Miessin sarvivälke on koostumukseltaan hyvin samankaltainen kuin Paaraskallan sarvivälke, ainoastaan Na-, K- ja Ca-pitoisuudet ovat Miessin näytteessä hieman korkeammat (Liite 9). Intian näytteessä esiintynyt sarvivälke oli koostumukseltaan lähinnä pargasiittista.

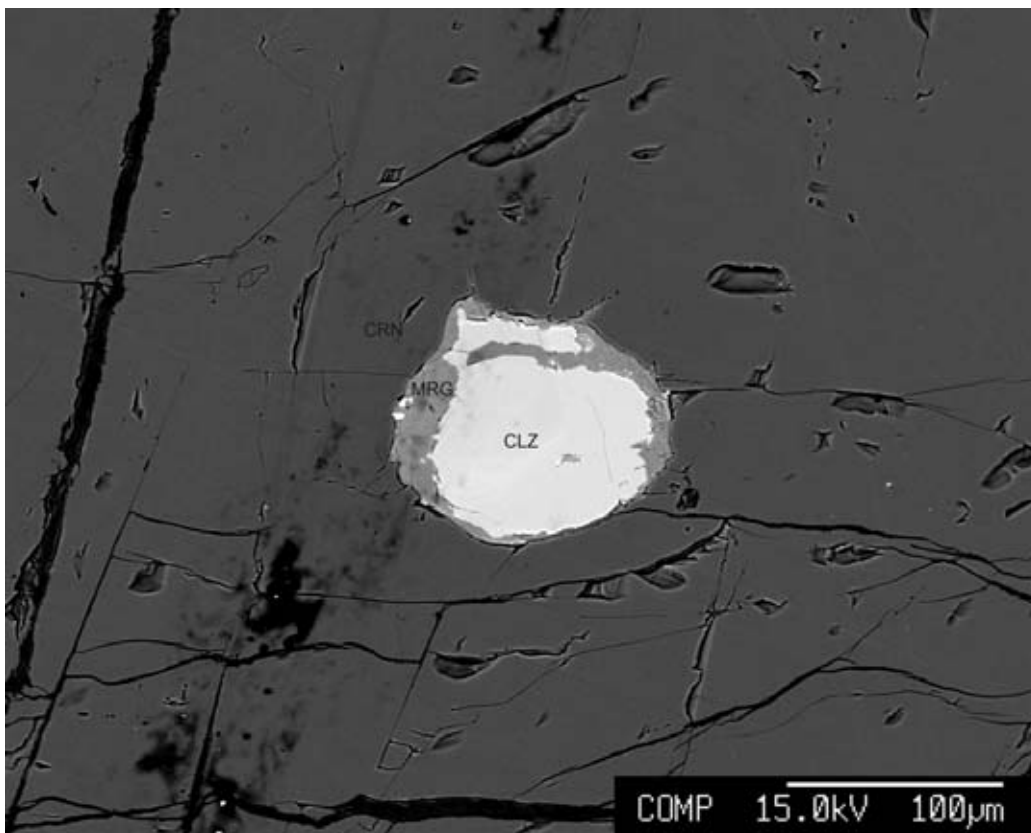
*Gedriittiä* ( $(Mg, Fe^{2+})_5Al_2[Si_6Al_2O_{22}](OH, F)_2$ ) esiintyi hyvin harvoin. Sitä tavattiin ainoastaa Köysihaaran N8-näytteessä parin sulkeuman verran (Liite 9).

### ***Jalosilikaatit***

*Zirkoni* ( $ZrSiO_4$ ) (Kuva 16) oli hyvin tyypillinen aksessori, esiintyen lähes kaikissa näytteissä vaihtelevissa määrin. Erityisen yleinen mineraali se oli schiller-tyypin korundeissa. Suurimmillaan esiintyi jopa 300  $\mu$ m:n kokoisia zirkoneja. Kemismiltään zirkonit olivat melko homogeenisiä ja hivenaineita ei juuri esiintynyt. Vyöhykkeellisyys oli yleistä. Zirkonit olivat yleisesti omamuotoisia.

*Granaatti-ryhmän* ( $(Mg, Fe^{2+}, Mn, Ca)_3Al_2Si_3O_{12}$ ) mineraaleja tavattiin yleisesti melko harvakseltaan, mutta parissa näytteessä melko runsaasti. Miessi-Ollila I6 ja Moberg D6 näytteet sisälsivät granaatteja, jotka koostumukseltaan olivat almandiineja, Fe-rikkaita granaatteja (Liite 10). Moberg D6-näytteen Fe-pitoisuus oli vain viiden prosentin luokkaa. Luonnollisesti granaateissa esiintyi hivenaineena myös kalsiumia ja hieman mangaania, yhteensä parin prosentin verran. Etenkin Miessin granaatit sisälsivät itsessään runsaasti mineraalisulkeumia. Sulkeumina tavattiin kloriittia, muskoviittia, apatiittia, rutiilia, ilmeniittiä, zirkonia, plagioklaasia ja dolomiittia. Granaatin reunavyöhyke koostui lähinnä kloriittista ja muskoviitista. Monin paikoin granaatti oli muuttunut verkkosilikaattimassaksi. Myös Mobergin granaatti oli muuttunut pääosin muskoviitiksi sekä vähemmässä määrin kloriitiksi.

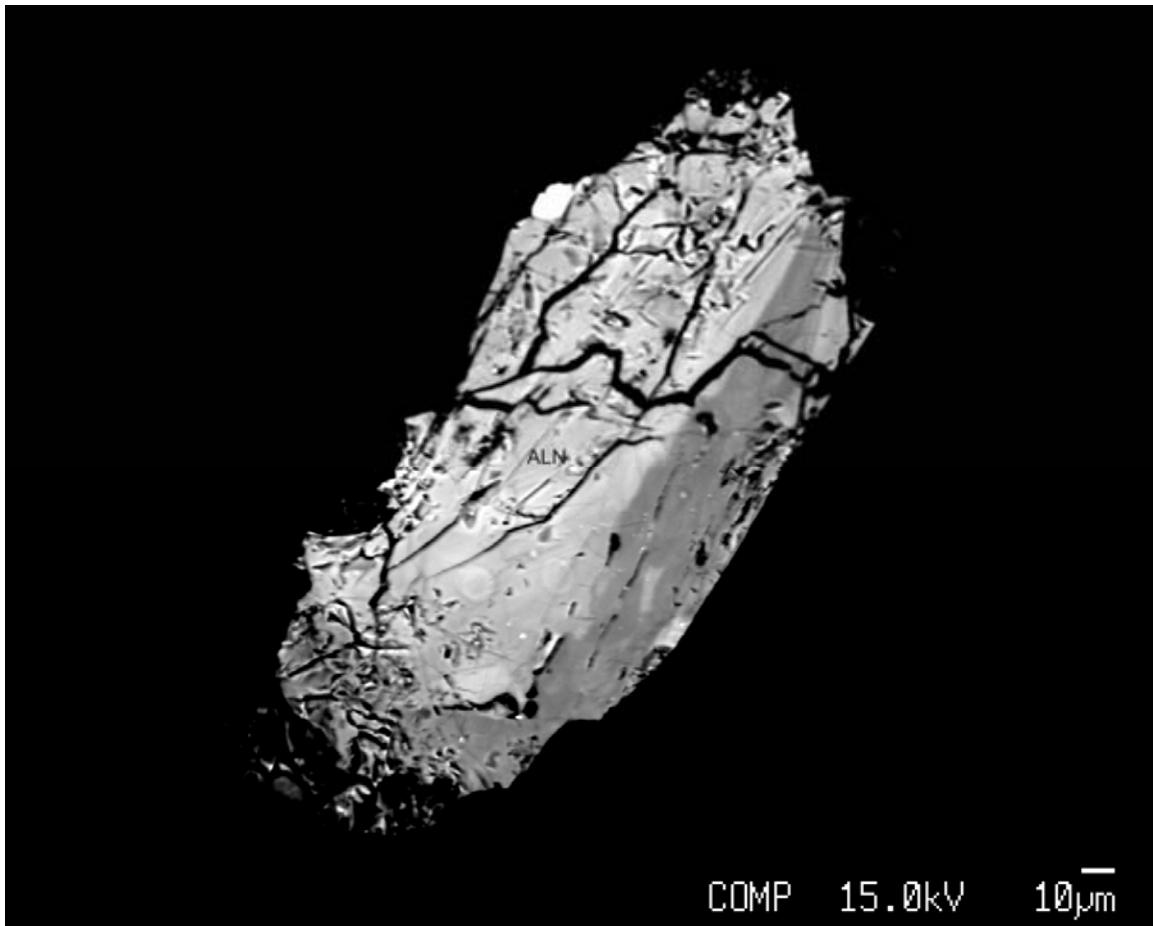
*Epidootiryhmää* näytteissä edusti lähinnä *klinozoiisiitti* ( $Ca_2Al \cdot Al_2O \cdot OH[Si_2O_7][SiO_4]$ ) ja sitä rautarikkaampi *epidootti* ( $CaFe^{3+}Al_2O \cdot OH[Si_2O_7][SiO_4]$ ) (Liite 10).



Kuva 20. SEM-kuva klinozoiisiittisulkeumasta korundissa, joka on reunoiltaan muuttunut margariitiksi.

*Klinozoisiitti* oli melko usein selvästi reagoinut korundin kanssa muodostaen margariitti-kehän sulkeuman ympärille (Kuva 20.) Myös sekä Paaraskallan näytteessä että Haisujupukan korundikiilleliuske sisälsivät merkittäviä määriä epidootia.

Allaniittia  $((Ca,Ce)_2(Fe^{2+},Fe^{3+})Al_2O \cdot OH[Si_2O_7][SiO_4])$  esiintyi yhden mineraalisulkeuman verran Moberg D3 -näytteessä (Kuva 21, Liite 10).



Kuva 21. SEM-kuva vyöhykkeellisestä allaniittisulkeumasta. Vaaleat osat ovat rikkaampia Ce:sta kuin tummat.

*Alumiinisilikaattia* ( $AlSi_2O_5$ ) esiintyi ainoastaan Mobergin D7-näytteessä. Sitä oli EPMA:n näytöltä hyvin vaikea havainnoida sillä se oli sävyltään juuri korundin kaltainen, mutta voimakkaalla kontrastilla se pystyttiin saamaan näkyviin. Mineraaliseurueen (mm. granaatti) perusteella alumiinisilikaatti pystyttiin päättelemään todennäköisesti sillimaniitiksi.

### 7.3.6 Sulfaattisulkeumat

*Anhydriittiä* ( $CaSO_4$ ) esiintyi Zellbergin näytteessä yhden sulkeuman verran

*Baryyttiä* ( $BaSO_4$ ) esiintyi satunnainen sulkeuma Mobergin D9-näytteessä.

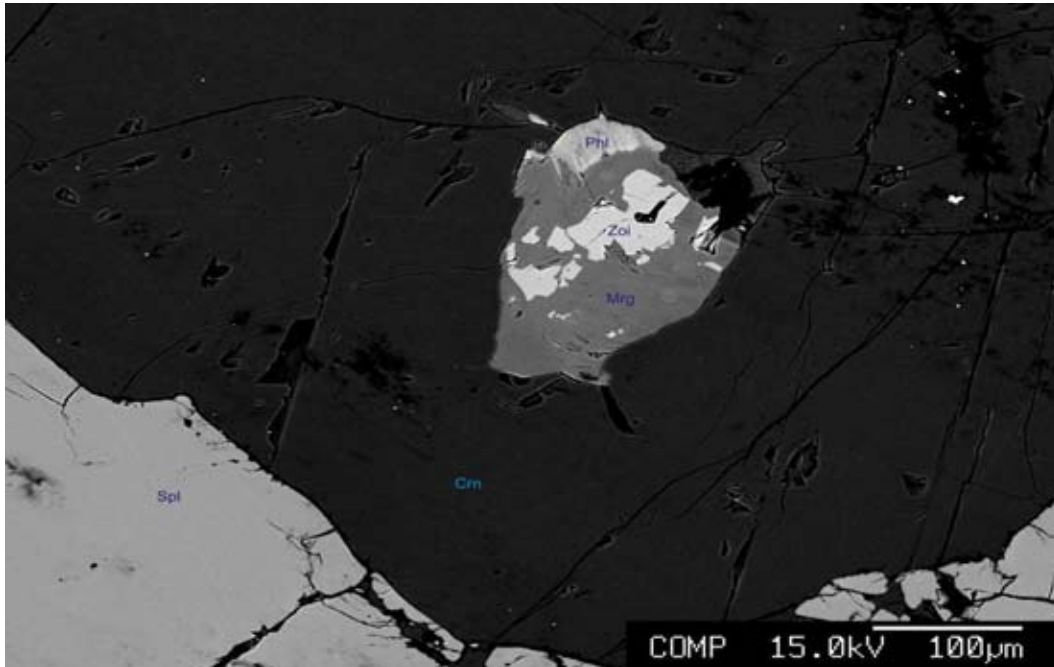
### 7.3.7 Alkuaineet

Grafiittia ( $C$ ) esiintyi yhden sulkeuman verran Tuntematon Iso O2-näytteessä.

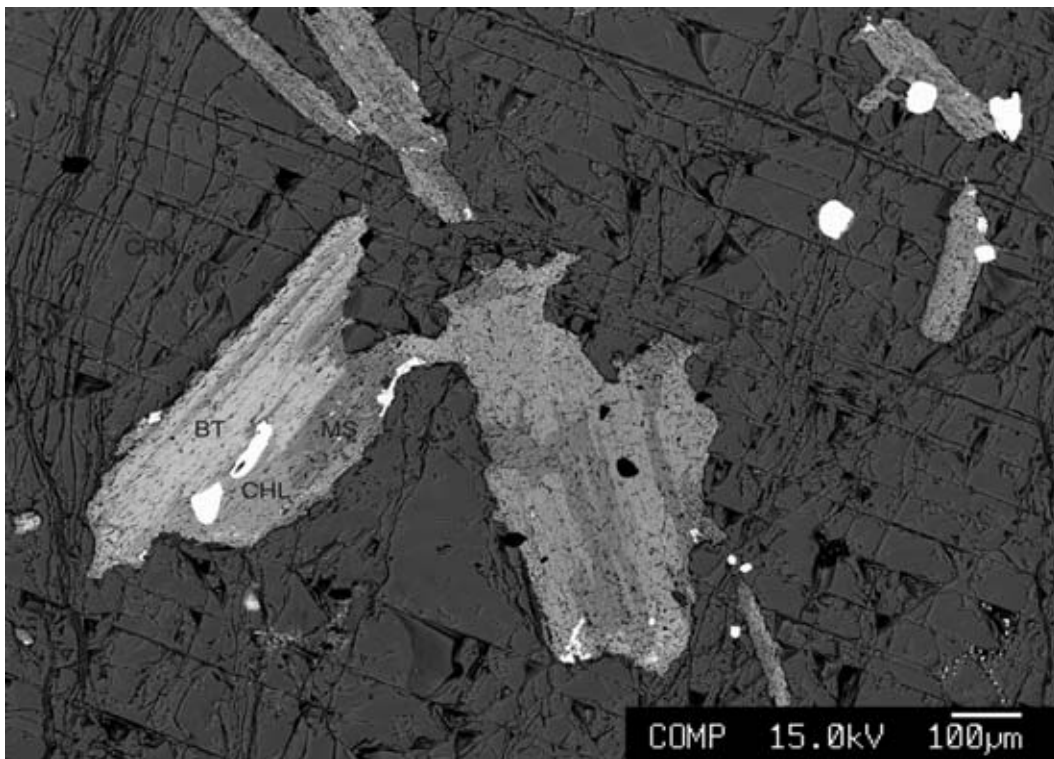
## 7.4 Sulkeumaseurueet

Suurin osa näytteiden mineraaliseurueista muodostui verkkosilikaateista. Tyypillisesti keskenään esiintyi jotkut seuraavista mineraaleista; biotiitti, muskoviitti, margariitti tai kloriitti. Myös muita mineraaleja kuten epidoottiryhmän mineraaleja tai rutiilia esiintyi mineraaliseurueissa satunnaisesti verkkosilikaattien kanssa (Kuva 22). Rauta- ja tai rautatitaanioksidit muodostivat melko yleisesti myös sulkeumaseurueita, etenkin schiller-tyyppin korundeissa (Liite A).

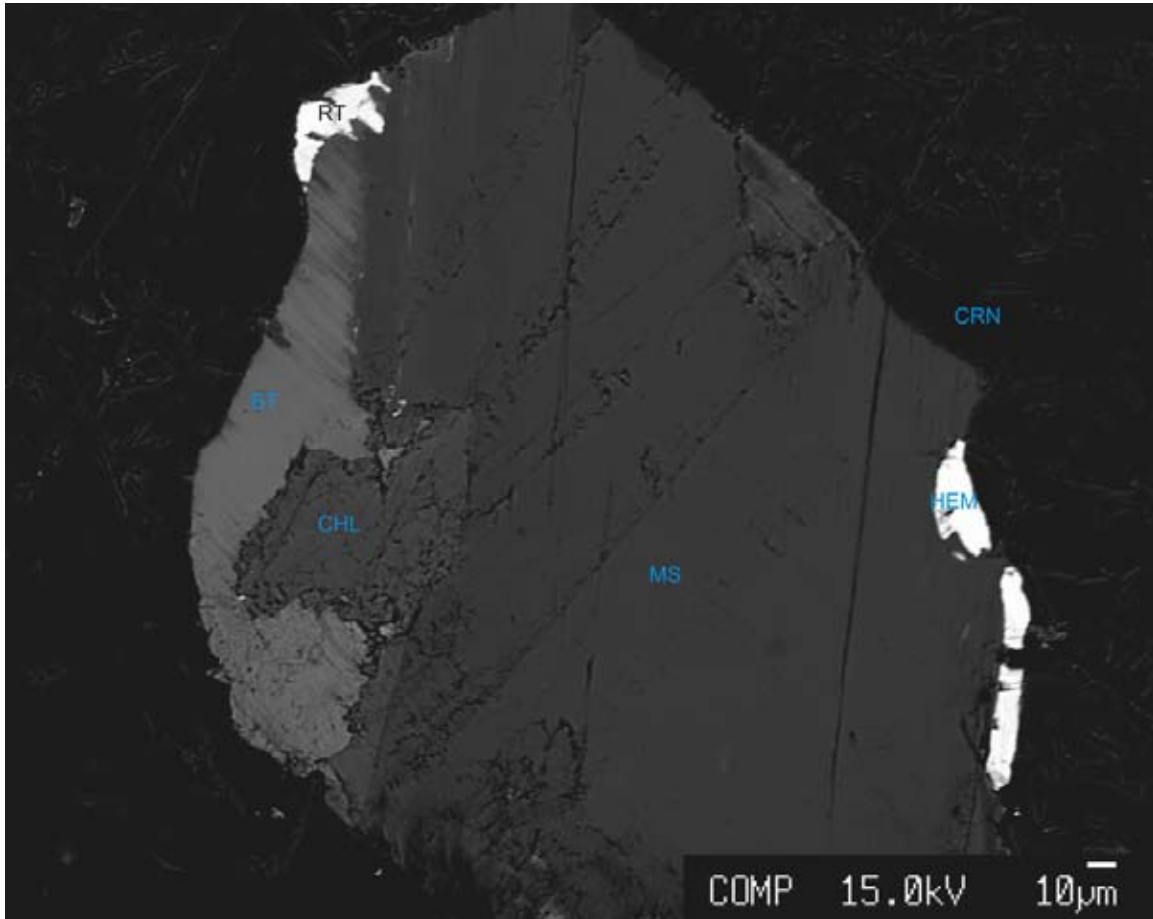
Yleisimmän korundissa olevan mineraalisulkeumaseurueen muodosti biotiitti-muskoviitti-kloriittiseurue (Kuvat 23 ja 24). Margariitti-muskoviitti-kloriitti mineraaliseuruetta tavattiin myös varsin yleisesti. Yleensä mineraalit esiintyivät sulkeumissa epämääräisen, paikoin sotkuisenkin muotoisena. Yleensä mineraalien kontaktipinnat eivät olleet teräviä ja tasaisia, vaan ennemminkin jossain määrin vaihtuvia ja ainakin osa seurueiden mineraaleista voidaan tulkita muuttumistuloksiksi. Bt-ms-chl-sulkeumaseurue sisälsi melko usein lisäksi rutiili- tai hematiittisulkeumia.



Kuva 22. Zoisiitti on voimakkaasti muuttunut margariitiksi ja flogopiitiksi Miessiinäytteessä.



Kuva 23. SEM – kuva biotiitti – muskoviitti – kloriitti mineraaliseurueesta. Kirkkaat sulkeumat ovat rutiilia, monatsiittia ja zirkonia. Palsi-Latva-näyte.



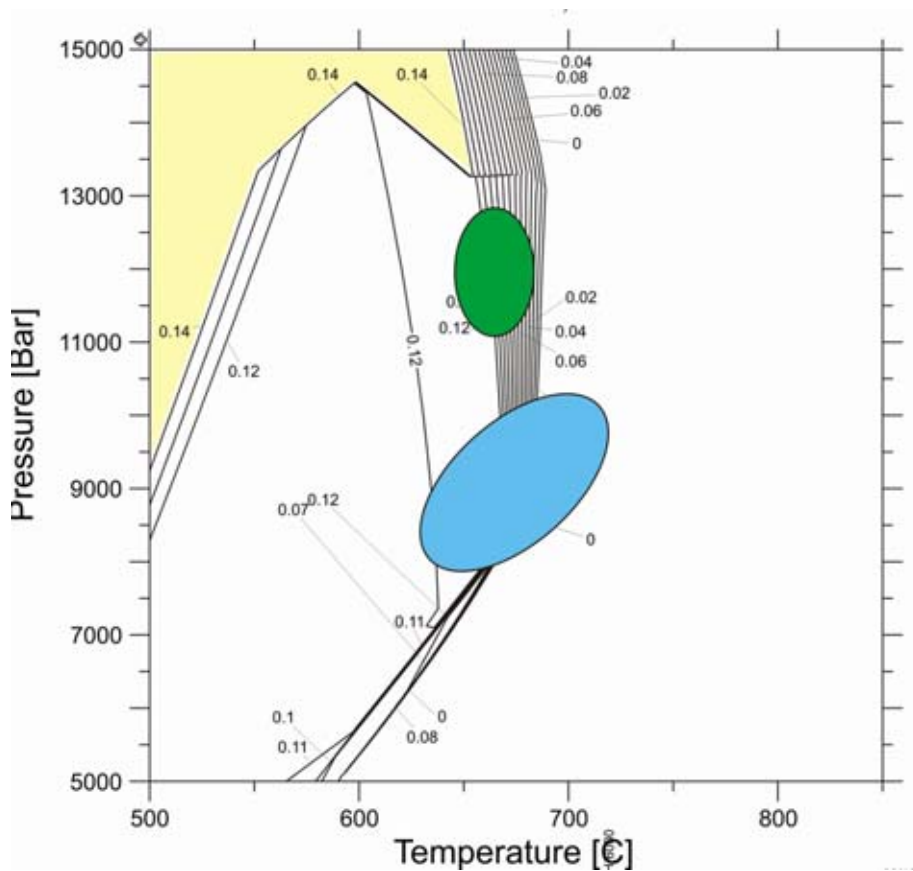
Kuva 24. SEM – kuva biotiitti-muskoviitti-kloriitti sulkeumaseurueesta korundissa. Moberg D4-näyte.

## 8. NÄYTEKORUNDIEN SYNTY JA SYNTYLOLOSUHTEET

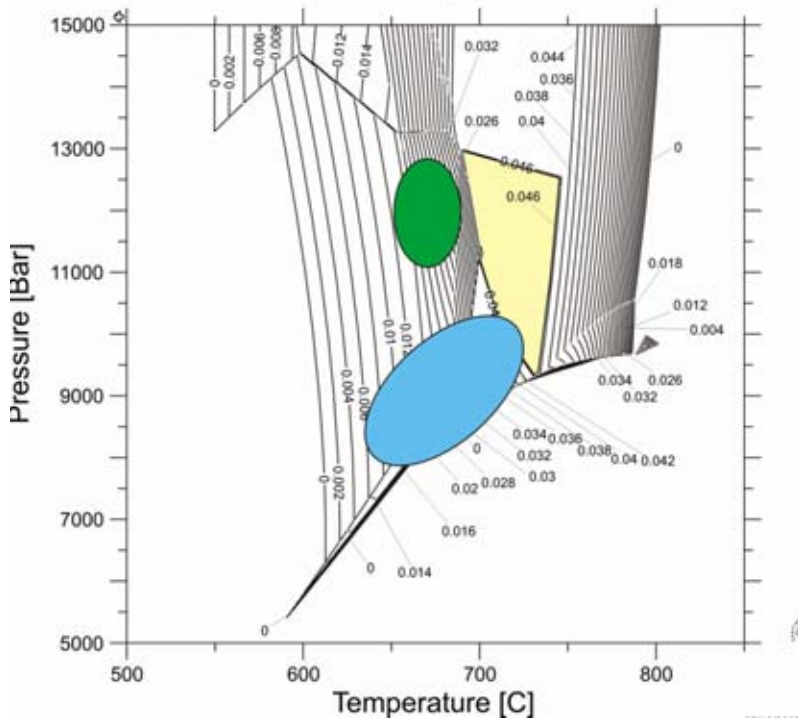
Miessil-näytettä, joka sisälsi runsaasti spinelliä ja jossain määrin klinozoisittiä, pystyttiin käyttämään hyväksi mietittäessä kyseisen näytteen mineraaliseurueiden tasapainottumisolosuhteita ja edelleen korundiin syntyolosuhteita. P/T-olosuhteet on laskennallisesti saatu kivelle, jonka koostumukseksi on oletettu melko tyypillinen vihreäkivi, jossa on alumiinia siinä määrin että korundia voi muodostua kiveen porfyroblasteiksi. Numeraalisesti kiven koostumus voidaan ilmoittaa  $SI(1230)AL(1147)FE(137)MG(1206)CA(262)NA(51)K(19)O(?)H(6000)$ . Vedyn määrä kasvatettiin riittävän suureksi, jotta mallikivessä olisi  $H_2O$ -fluidi koko ajan läsnä.



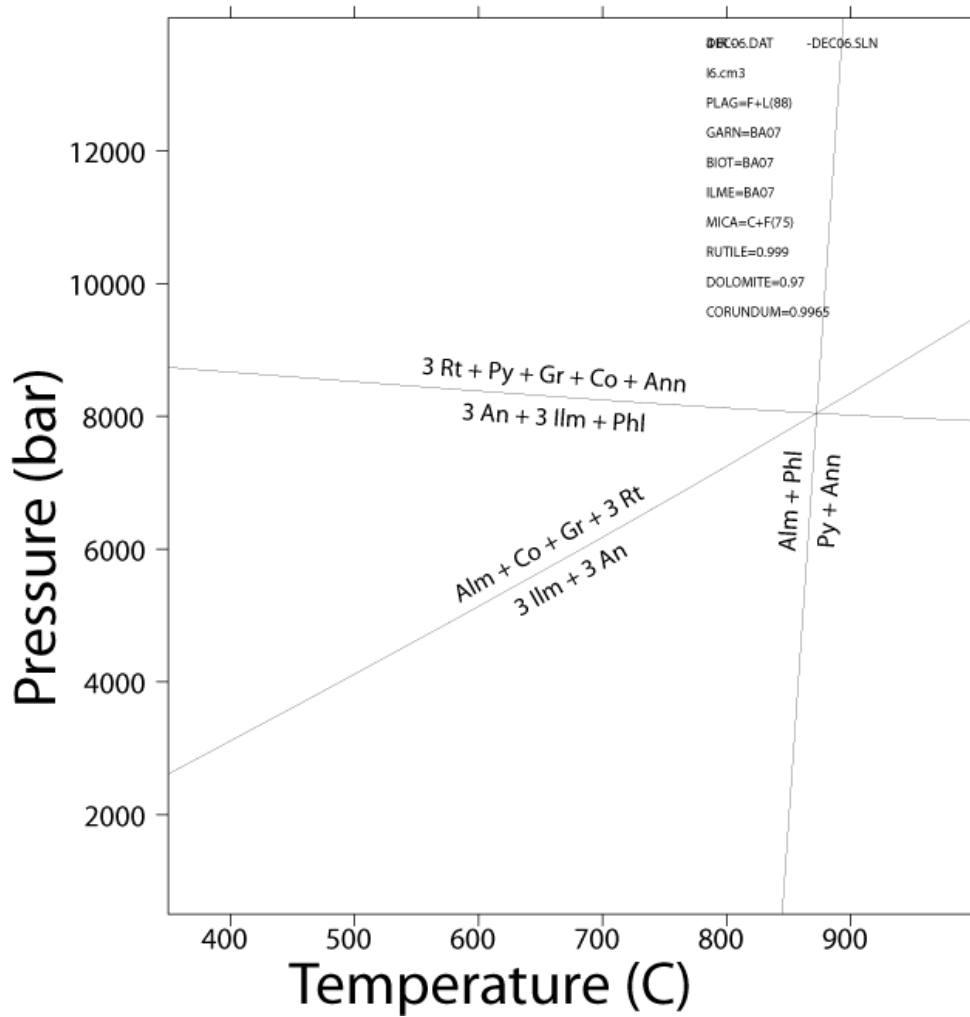
Seuraavassa THERIK-DOMINO-ohjelmalla (De Capitani, 2005) lasketussa kuvasarjassa (Kuvat 25, 26 ja 27) on esitetty klinozoisitiin, korundin ja spinellin tilavuusosuudet yllämainitussa mallikivessä. Kuvien keltaisella paine-lämpötila-alueella kulloinkin tarkasteltavan mineraalin määrä on mallikivessä suurin. Vihreä ellipsoidi edustaa Vaulon ultraemäksisen intruusion metamorfoosiolosuhteita (Tuisku & Makkonen, 1999). Sininen ellipsoidi puolestaan edustaa Korvatunturin muodostuman olosuhteita (Tuisku et al., 2006).



Kuva 25. Korkean paineen olosuhteissa klinotsoisiittia esiintyy mallikivessä runsaasti.



TWQ-ohjelmistoa käyttäen saatiin näytteestä I6 laskettua metamorfoosilämpötilaksi noin 850 °C ja –paineeksi hieman alle 8 kbar, mikä vastaa hyvin Tuiskun ja kumppaneiden granuliittijakson lounaisosasta laskemia metamorfoosiolosuhteita (kuva 28).



Kuva 28. Näytteestä I6 TWQ-ohjelmalla lasketut metamorfoosiolosuhteet.

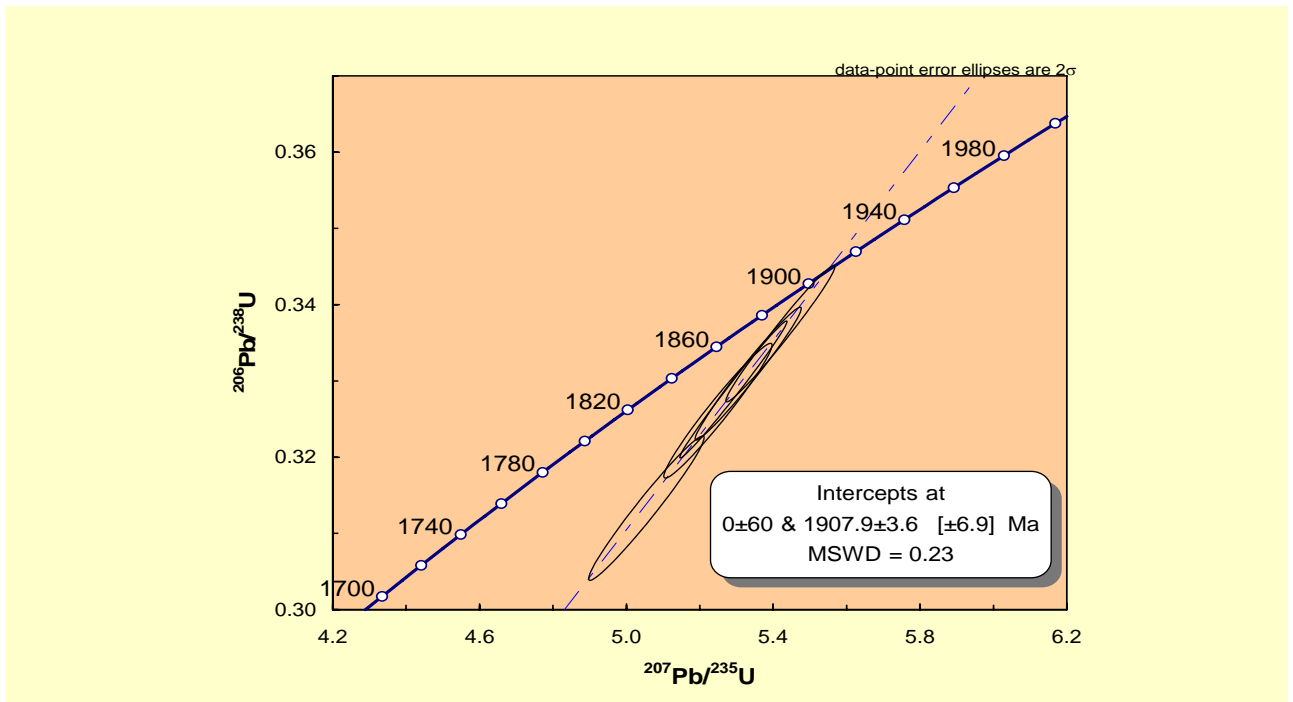
## 9. IÄNMÄÄRITYKSET

Kaikkiaan kuusi sopivaa zirkoni- sekä monatsiittisulkeumia sisältävää korundinäytettä valittiin Tukholmaan analysoitaviksi NORDSIM ionimikroanalysaattorilla (Taulukko 2). Näytteet valittiin lähinnä korundin sulkeumien koon ja edustavuuden perusteella.

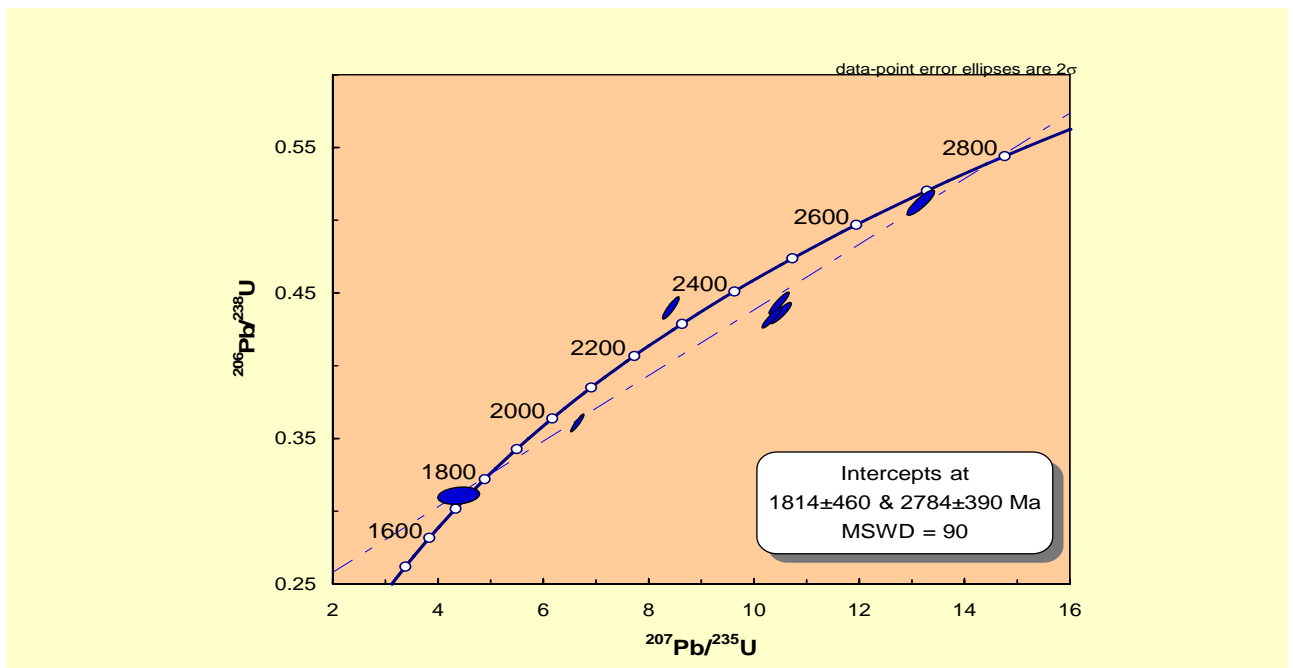
<b>NÄYTE</b>	<b>NÄYTEPAIKKA</b>	<b>KORUNDITYYPPI</b>
D4	Moberg	Schiller
I12	Miessi, Ollila	Schiller
N8	Köysihaara	Vaalea rubiini
I13	Miessi, Ollila	Harmaa
H	Miessi, Turkka	Valkoinen
I8	Miessi, Ollila	Safiiri

Taulukko 2. SIMS-analyysiin valitut korundinäytteet.

Isotooppisuhteiden analyysit onnistuivat melko hyvin ja tulosten tulkinnan seurauksena saatiin korundien zirkonisulkeumille kolme selvää ikäryhmää, arkeinen (noin 2500 – 2800 Ma), proterotsooinen (noin 1940 Ma) sekä toinen, hieman myöhäisempi proterotsooinen ikä (noin 1910 Ma) (Liite 11). Näytteistä schiller-korundit olivat ainoita, joissa oli arkeisia zirkonisulkeumia, Köysihaaran rubiinissa ja Miessin Harmaassa korundissa zirkonin ikä oli noin 1940 Ma ja Miessin valkoisessa korundissa sekä safiirissa 1910 Ma. Tärkeimpiä ikäryhmiä edustavat konkordiadiagrammit ovat Kuvissa 29 ja 30.



Kuva 29. Erittäin pienellä virhemarginaalilla onnistunut proterotsoisten zirkonisulkeumien iänmääritys näyttää selkeästi että sulkeumat ovat muodostuneet granuliittitutumisen yhteydessä (I8).



Kuva 30. Schiller-korundin zirkonisulkeumille voidaan havaitaan useita eri ikiä (näyte D4). Yläleikkaus, noin 2800 Ma, edustanee arkeisen tonaliittigneissin muodostumisessa syntyneitä zirkoneita. Alaleikkauksessa, noin 1800 Ma suurella virhemarginaalilla, lyijy on poistunut todennäköisesti granuliittikaaren metamorfoosin aikana.

## 10. POHDINTAA

Tutkittuani noin 60 korundinäytettä sain melko kattavan kuvan Lapin korundien mineralogiasta ja kemiasta ja voin varmuudella todeta, että kaikki korundit eivät ole peräisin samasta lähteestä. Tätä seikkaa puoltaa toki jo löytöalueiden etäisyydet toisiinsa, mutta siihen viittaavat myös kemismin monimuotoisuus sekä erilaisten distinktiivisten korundityyppien löytyminen. Korundien sisältämät mineraalisulkeumat puolestaan viittaavat siihen seikkaan, että granuliittivyöhykkeen maalajeista löydetyistä näytekoruundeista suurin osa ei ole paikallisia. Sulkeumien mineralogia, mm. kloriitin yleisyys, viittaavat yleisesti ottaen emäksisempään lähtökiveen, kuten esimerkiksi vihreäkiveen tai amfiboliittiin. Myös maalajeissa esiintyvät huomattava vierasperäisen aineksen määrä kertoo sen että korundit eivät välttämättä ole paikallisia.

Termodynamiikan laskelmien perusteella voidaan pitää mahdollisena että ainakin Miessil-näyte voisi olla jopa paikallinen, näytteen löytöpaikan sijoituessa granuliittikaaren reunavyöhykkeelle lännessä. Laskennalliset paine- ja lämpötilaolosuhteet vahvistavat että kyseinen näytekorundin mineraaliseurueet eivät ole tasapainottuneet LGB:n granuliittituumisen olosuhteissa vaan pikemminkin olosuhteet sopisivat paremmin reunavyöhykkeen amfiboliiteille. Myös näytteessä esiintyvät mineraalisulkeumat, kuten esimerkiksi sarvivälke viittaavat myös melko emäksiseen kiveen.

Näytekorundit voidaan luokitella sijainnin mukaan neljään luokkaan (Kuva 31, LiiteA):

Luokka 1: (näytteet G, H, I, J, K ja L)

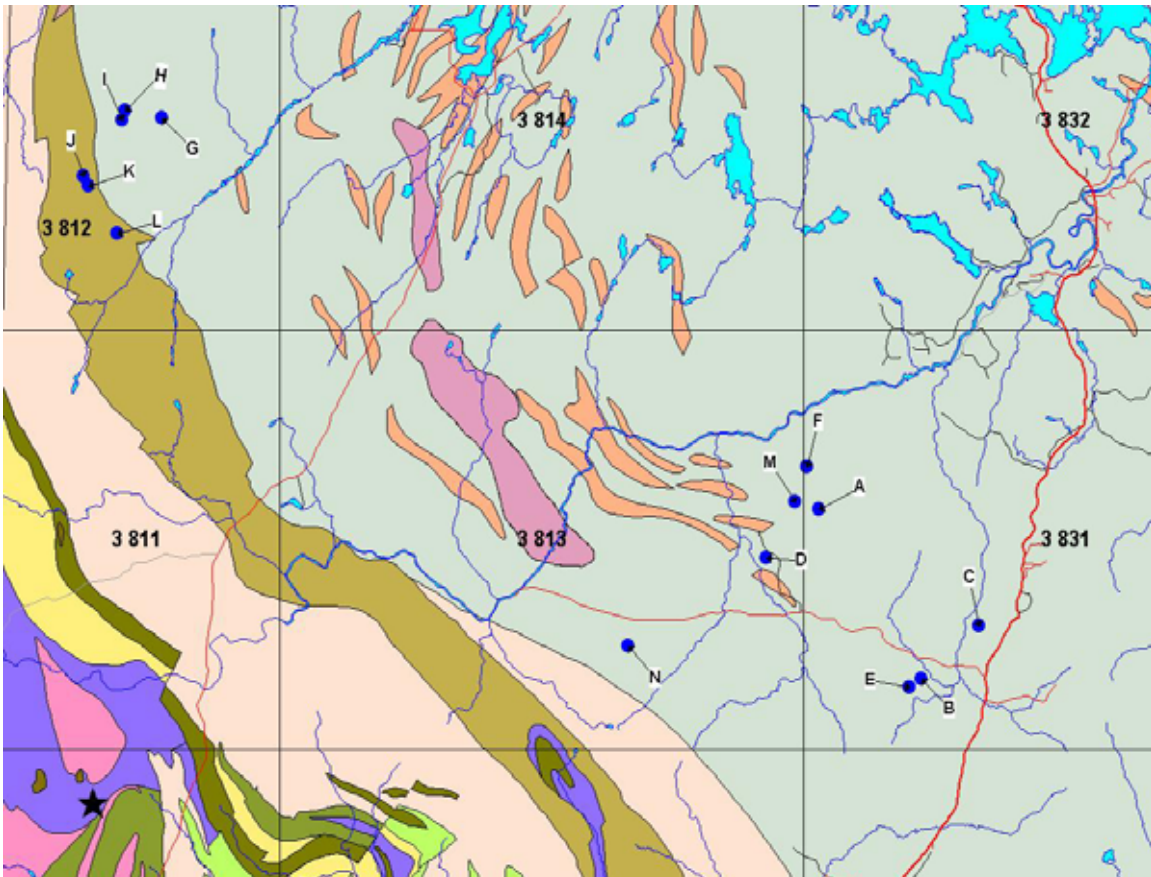
Luokka 2: (näytteet N): Köysihaaran korundit

Luokka 3: (näytteet A, D, F ja M)

Luokka 4: (näytteet B, C ja E)

1. luokkaan kuuluvat näytteet sijaitsevat geologian tutkimuskeskuksen (GTK) kallioperäkartan mukaan aivan granuliittikaaren reunalla tai amfiboliittisella

reunavyöhykkeellä. Maantieteellisesti kyseiset korundinäytteet ovat löytyneet Miessijoen sivuhaaroilta. Näytteet J, K ja L sijoittuvat kallioperäkartan mukaan granuliittikaarta reunustavalle amfiboliittivyöhykkeelle, aivan kaaren kontaktin läheisyyteen. Näytteet I, H ja G ovat selkeästi granuliittikaaren alueelta löydettyjä.



Kuva 31. Näytekorundien löytöpaikat, pohjalla GTK:n kallioperäkartta. Tähti merkitsee Kittilän Paaraskallan korundiesiintymää. Korkeuskäyrät ja vesistöt © Maanmittauslaitos, Lupa nro 49/MML/07.

Suuri osa 1. luokkaan kuuluvista näytteistä muistuttaa toisiaan. Merkittävin osa luokkaan kuuluvista näytteistä on Schiller –tyyppiä, mineralogian ollessa muita luokkia selvästi Fe- ja Ti-rikkaampi. Hematiittia, magnetiittia, ilmeniittia ja rutiilia esiintyi varsin runsaasti. Lisäksi zirkoneja ja monatsiitteja esiintyi paljon. Myös apatiittia tavattiin Tyypilliseen tapaan verkkosilikaatteja on runsaasti lähes joka näytteessä. Schiller –tyypin lisäksi esiintyy vaaleita korundeja sekä punertavia rubiineja. Luokan mineralogia on kaiken kaikkiaan melko yhteneväinen ja voidaan ajatella että schiller -tyypin korundit olisivat

paikallisia tai lähes paikallisia. Tätä ajatusta voisi osaltaan vahvistaa myös se että makroskooppisessa tarkastelussa schiller –tyypin korundit vaikuttavat melko hyvin säilyneiltä, eivätkä ole voimakkaasti pyörityneitä (mm. kuvat 2 ja 8). Yleisesti ottaen myös 1. luokassa margariitin määrä on muita luokkia alhaisempi, mikä voisi viitata korundin heikompaan muuttumiseen.

2. Luokkaan kuuluu Köysihaaran korundinäytteet. Ne sijoittuvat geologisesti melko lähelle granuliittikaaren reunaan lounaassa, mutta ovat selkeästi kuitenkin löytyneet granuliittikaaren alueelta. Köysihaaran korundit muodostavat kemismiltään distinktiivisen ryhmän, jossa ei esiinny lainkaan rauta- tai rautatitaanioksida tai schillersulkeumia. Verrattuna 1. luokkaan, myös zirkonia ja monatsiittia tavattiin harvakseltaan. Vallitseva mineraali näissä näytteissä oli selkeästi margariitti. Lisäksi esiintyi runsaasti kloriittia, muiden verkkosilikaattien määrän ollessa melko vähäinen. Näytteet olivat yleisesti ottaen melko puhdasta alumiinioksidia, eikä niissä esiintynyt sulkeumia runsaasti. Tästä Köysihaaran näytteiden sijainnista ja yhtenevästä kemismistä voidaan päätellä että ne ovat todennäköisesti peräisin samalta lähtöalueelta.

3. Luokan korundinäytteet ovat löytyneet Ivalojoen sivuhaaroilta, lähinnä Multatunturin ja Palsitunturin alueelta. Geologisesti näytteiden löytöalue sijoittuu selvästi granuliittialueelle. Tältä alueelta on löydetty merkittävä osa korundinäytteistä, lähinnä Palsin ja Mobergin alueilta. Alueen korundit ovat hyvin vaihtelevia, yleisin ryhmä on schiller-tyypin korundit, joita oli viisi kappaletta. Lisäksi esiintyi joitakin vaaleita korundeja, kaksi rubiinia sekä yksi sinertävä safiiri. Tästä kemiallisesta variaatiosta on helppo tehdä se johtopäätös että alueen maaperän korundit ovat peräisin useista lähteistä. Mobergin rubiininäytteet ovat mineralogialtaan ja kemismiltään niin samankaltaisia että ne ovat hyvin suurella todennäköisyydellä peräisin samasta lähteestä. Schiller-korundit muodostavat pienen problematiikan, sillä ne sijaitsevat kymmeniä kilometrejä itäkaakkoon 1. luokan korundien löytöalueilta. Toisaalta mikäli 1. luokan korundit ovat paikallisia tai lähes paikallisia, voidaan pitää mahdollisena, että korundeja olisi kyseiseltä alueelta kulkeutunut Fennoskandian jäätikkökuljetuksen varhaisemmassa vaiheessa kun jäätikön kulkusuunta oli tutkimusalueelle luoteesta kaakkoon (Forsström & Tuisku 1993). Mobergin schiller-korundit vaikuttavat yleisesti ottaen pyörityneemmiltä kuin luokan 1.



korundit. Mobergin D6 näytteen mineraalisulkeumat viittaavat vahvasti siihen, että korundi on lähtöisin granuliittikaaren kallioperästä. Sulkeumamineraalit kuten granaatti, sillimaniitti, biotiitti, zirkoni ja monatsiitti ovat hyvin tyypillisiä granuliiteille Lapissa. Lisäksi näytteessä ei esiinny lainkaan margariittia, eli kyseessä on varsin erikoinen näyte ja se on melkoisella varmuudella peräisin omasta lähteestään granuliittikaarelta. Mobergin D1 näyte oli mielenkiintoinen, johtuen anomalisesta Ni-pitoisuudesta korundin kemiassa. Näytteestä tavattiin satunnainen Ni-oksidi, bunseniitti. Näytteessä esiintyi verkkosilikaateista ainoastaan kloriittia. Zirkonia ja monatsiittia ei tavattu lainkaan. Tällainen mineralogia mielestäni viittaisi melko emäksiseen lähtökiveen. Se ei mineralogialtaan muistuttanut muita Mobergin alueen korundeja tai luokan 3. muita korundeja. Muista luokan 3. korundeista on vaikea tehdä suurempia päätelmiä.

4. luokan korundit sijoittuvat selvästi granuliittikaaren maaperään, Härkäselän alueelle, itse Härkäselkä-tunturin kaakkoispuolella.. Luokkaan ei kuulunut schiller-korundeja, eikä hematiittia juuri tavattu sulkeumina. Tosin Yläkuivakurun Fe-rikkaassa korundissa oli jossain määrin havaittavissa schiller-tyyppistä rakennetta, muttei aivan niin kehittyntä kuin schiller-korundeissa yleensä. 4. Luokkaan kuului lisäksi Uusihaaran rubiini, Hangasojan vaalea, hyvin puhdas korundi sekä Suolaojan kaksi korundia. Suolaojan korundit olivat mineralogialtaan ja ulkoasultaan hyvin samankaltaisia ja mitä todennäköisimmin peräisin samasta lähteestä. (Kuva 32.)



Kuva 32. Suolaojan korundit. Molemmissa Suolaojan korundissa voidaan havaita vyöhykkeellisyttä. Muutenkin ulkoasut ovat varsin samankaltaisia. Myös korundien kemismit vastaavat toisiaan melko hyvin.

Suolaajan korundien mineralogiat erosivat siinä että toisessa näytteessä ei tavattu margariittia.

SIMS:lla tehdyt iänmääritykset edustivat kolmea eri ikää. Arkeista sekä proterotsooisia ~1940 Ma:n sekä ~1910 Ma:n ikiä. Molemmat arkeisia zirkoneja sisältävät näytekorundit olivat schiller-korundeja. Schiller-korundien runsas oksidi-sulkeumamäärä viittaa lähtömateriaalin voimakkaaseen rapautumiseen. Titaani-, rauta- ja alumiinioksidit ovat verrattain immobiileja mineraaleja ja muodostavat bauksiittien päämineraaliryhmän eli voidaan pitää mahdollisena että schiller-korundit ovat peräisin arkeisen pohjan lateriittisesta rapaumasta. Granuliittikaarelta ja sen ympäristöstä ei ole arkeista regoliittia löydetty. Zirkonisulkeumien iänmäärityksissä on aiemmin havaittu (Tuisku & Huhma 2006), että granuliittikaaren detritaaliset zirkonit esiintyvät konkordantisti. Schiller-korundien zirkonit puolestaan ovat diskordantteja. Tästä on mahdollista päätellä että schiller-korundit eivät ole todennäköisesti peräisin granuliitista vaan niiden zirkonit ovat todella alkuperäiseltä iältään arkeisia. Korundit eivät olisi näin ollen peräisin granuliittikaarelta vaan tuntemattomasta arkeisen kuoren rapaumasta. 1940 Ma ikäiset zirkonit muodostavat pienen problematiikan siinä mielessä että alueelta ei tunneta sen ikäistä metamorfoosia. Tämänikäistä zirkonia sisältävät korundit voisivat olla magmaattisia, tunnetaanhan alueelta suurin piirtein tätä ikäluokkaa olevaa magmatismia, jossa muodostui nykyinen Nuttion serpentiniitti (Lehtonen, M. et al., 1998). Muuta tämän ikäluokan magmaattista muodostumaa alueelta ei löydy. Noin 1910 Ma ikäiset zirkonisulkeumat ovat granuliittiutumisen kanssa samanikäistä, joten näiden korundien synty liittyy granuliittikaaren tai sen reunavyöhykkeen metamorfoosiin.

## **11. KIITOKSET**

Suurin kiitos graduni valmistumisesta kuuluu ohjaajalleni Dosentti Pekka Tuiskulle jonka apu ja neuvot olivat ensiarvoisen tärkeitä.

Isääni, Jarmo Lahtista, haluan kiittää kartta-aineistosta sekä gradua koskevasta tuesta ja neuvoista.

Janne Kannistolle ja Risto Häkkiselle suuri kiitos siitä että saimme tutkielmaan suuren määrän erityyppisiä korundinäytteitä.

Olli ”nopsajalka” Lindiä tahdon kiittää erittäin mielenkiintoisesta ja antoisasta opastuksesta korundien löytöpaikoilla Ivalojoen kulta-alueella.

Hituran kaivoksen johtajaa Markus Ekbergiä ja päägeologi Olli-Pekka Isomäkeä haluan kiittää kärsivällisyydestä tutkielman valmistumisen suhteen.

Suuret kiitokset K. H. Renlundin säätiölle tämän tutkimuksen rahoittamisesta. Säätiön tuki oli ensiarvoisen tärkeää etenkin korundien zirkonisulkeumien laboratoriotutkimuksissa.

Avopuolisoani Hanna-Leenaa haluan kovasti kiittää tuesta ja kannustuksesta, ilman niitä tämä gradu ei olisi nähnyt päivänvaloa.

## **12. KIRJALLISUUS**

**Barbey, P. & Raith, M., 1990.** The granulite belt of Lapland. In: D. Vielzeuf, Ph. Vidal (Eds.), Granulites and crustal evolution. NATO ASI Series, Ser. C, Mathematical and Physical Sciences, 311, 111-132.

**Berman, R. G., 1991.** Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique with petrological applications. The Canadian Mineralogist, 29, 833-855.

**Bucher, K., de Capitani, C. & Grapes, R., 2005.** The development of a Margarite-corundum blackwall by metasomatic alteration of a slice of mica schist in ultramafic rock, Kvesjöen, Norwegian Caledonides. *The Canadian Mineralogist*, 43, 129-156.

**Chatterjee, N. D., Leistner, H., Terhart, L., Abraham, K., & Klaska, R., 1982.** Thermodynamic mixing properties of corundum-eskolaite,  $\alpha$ -(Al,Cr<sup>+3</sup>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, crystalline solutions at high temperatures and pressures. *American Mineralogist*, 67, 725-735.

**de Capitani, C., 2005.** Theriak-Domino Software, a program collection to calculate and plot thermodynamic functions, equilibrium assemblages and rock-specific equilibrium assemblage diagrams. University of Basel, Institut of Mineralogy and Petrography.

**de Capitani, C. & Brown, T. H., 1987.** The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 2639-2652.

**Deer, W. A., Howie R. A. & Zussman, J., 1962.** Rock forming minerals. Vol. 5. Non-Silicates. 371 s.

**Deer, W. A., Howie R. A. & Zussman, J., 1966.** An introduction to rock forming minerals. Longman, London. 696 s.

**Eskola, P., 1952.** On the granulites of Lapland. *American Journal of Science*, Bowen volume 1, 133-171.

**Forsström, L. & Tuisku, P., 1993.** Lapin irtokullan paikallisuudesta ja kulkeutumisesta. Summary: On the local nature of Lapland placer gold and its transport. *Geologi* 45, 71-76.

**Haapala, I., Siivola, J., Ojanperä, P. & Yletyinen, V.** Red corundum, sapphirine and kornerupine from Kittilä, Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 43, 221-231.

**Hackman, V., 1905.** Die Chemische Beschaffenheit von Eruptivgesteinen Finlands und der Halbinsel Kola. Bulletin de la Commission Geologique de Finlande 15, 143 s.

**Hanski, E. & Huhma, H., 2005. Central Lapland greenstone belt. In:** Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö O.T. (Eds.), Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B. V., Amsterdam, pp. 139-194.

**Kievlenko, E. Y., 2003.** Geology of Gems. English Edition, edited by A. Soregaroli. Ocean Pictures Ltd., Littleton, Colorado, 432 s.

**Kinnunen, K., 1992.** Laattatektoninen malmimalli voi selittää Lapin irtokultaesiintymien synnyn. Summary: Plate-tectonic model proposed for the evolution of placer gold in Finnish Lapland. Geologi 44, 115-123.

**Kinnunen, K., 1995.** New methods for photography through the microscope : application to gem materials. In: Geological Survey of Finland, Current Research 1993-1994. Geological Survey of Finland. Special Paper 20, 185-187.

**Kojonen, K., Ojala, V.J., Tarkian, M. & Törnroos, R., 2006.** New observations of Au and PGE nuggets in the Ivalojoiki and Lemmenjoiki areas, Finnish Lapland. Bulletin of Geological Society of Finland, Special Issue 1, 2006, s. 71.

**Korja, T., Tuisku, P., Pernu, T. & Karhu, J., 1996.** Field, petrophysical and carbon isotope studies on the Lapland Granulite Belt: implications for deep continental crust. Terra Nova 8, 48-58.

**Korkalo, T., 2006.** Gold and copper deposits in Central Lapland, Northern Finland, with special reference to their exploration and exploitation. Acta Universitatis Ouluensis, A 461, 122 s.

**Lehtonen, M., Airo, M-L., Eilu, P., Hanski, E., Kortelainen, V., Lanne, E., Manninen, T., Rastas, P., Räsänen, J., & Virransalo, P., 1998.** Kittilän vihreäkivialueen geologia. Lapin vulkaniittiprojektin raportti. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 144 s.

**Ludwig, K., 2003.** Users manual for isoplot 3.00. A geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley geochronology center special publication No. 4.

**Meriläinen, K., 1976.** The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 281, 129 s.

**Morishita, T., Arai, S., & Ishida, Y., 2007.** Occurrence and chemical composition of amphiboles and related minerals in corundum-bearing mafic rock from the Horoman Peridotite Complex, Japan. Lithos 95, 425-440.

**Parkinson, J., 1947.** Outlines of the geology of the Mtito Andei-Tsavo area, Kenya Colony. Rep. Geological Survey Kenya, no. 13 (M.A. 11-56)

**Ranson, W. A., 2000.** Margarite-corundum phyllites from the Appalachian orogen of South Carolina: Mineralogy and metamorphic history. American Mineralogist, 85, 1617-1624.

**Saarnisto, M. & Tamminen, E., 1985.** Lapin kultaprojektin loppuraportti. Lapin kultaprojekti, raportti N:o 3. Oulun yliopisto, 88 s.

**Stigzelius 1954.** Gold Occurrences in lapland. Geoteknillisiä Julkaisuja 55, 109-116.

**Tamminen, E., 1986.** Ivalojoen alueen kultahippujen kemiallinen koostumus, mineralogia ja geologinen tausta. Pro gradu –tutkielma, Oulun yliopisto, geologian laitos, 84 s.

**Tuisku, P., Korja, T., Pernu, T. & Karhu, J. 1994.** Geological and geophysical features of the Lapland Granulite Belt - implications for properties, structure and processes of the continental middle and lower crust. Controls of Metamorphism, IGCP-304 Meeting, Liverpool 12-14 September 1994, Abstracts, s. 49.

**Tuisku, P. & Makkonen, H. V., 1999.** Spinel-bearing symplectites in palaeoproterozoic ultramafic rocks from two different geological settings in Finland: Thermobarometric and tectonic implications. Geologiska Förening i Stockholm Förhandlingarna 121, 293-300.

**Tuisku, P., Mikkola, P. & Huhma, H., 2006.** Evolution of Migmatitic Granulite Complexes: Implications from Lapland Granulite Belt, Part I: Metamorphic geology. Bulletin of the Geological Society of Finland, 78, 71-105.

**Tuisku, P. & Huhma, H., 2006.** Evolution of Migmatitic Granulite Complexes: Implications from Lapland Granulite Belt, Part II: Isotopic dating. Bulletin of the Geological Society of Finland, 78, 143-175.

**Törnroos, R., Johansson, B. & Kojonen, K., 2006.** Alluvial nuggets of platinum-group minerals and alloys from Finnish Lapland. Geological Survey of Finland, Special Paper 26, s. 63.

**Vaasjoki, M., Korsman, K. & Koistinen, T., 2005.** Overview. In: Lehtinen, M., Nurmi, P. A., Rämö, O. T. (Eds.), The Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier B. V., Amsterdam, 1-18.

**Yoder, H. S. & Eugster, H. P., 1955.** Synthetic and natural muscovites. Geochimica Cosmochimica Acta, 8, 225-242.

**Liite A. Näyteluettelo ja korundin seurana esiintyvä mineraaliseurue**

NÄYTE	TUNNUS	PARAGENEESI
Miessi1	1	Spl-Bt-Mrg-Chl-Czo-Hbl
Haisujupukka		Mag-Mrg-Bt-Ms-Pl-Pmp-Ep-Zrn-Cal-Ap
Intia		Pl-Hbl
Paaraskalla		Chl-Ms-Ep-Pl-Scp-Hbl
Zellberg A	A	Hem-Ilm-Rt-Mag-Bt-Zrn-Cal-Mnz-Anh
Uusihaara B	B	Mrg-Chl-Bt-Ms
Hangasoja C	C	Rt-Cbe-Mrg-Kfs-Zrn-Mnz
Ylä-Kuivakuru C9	C	Hem-Mag-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Moberg D1	D	Chl-Bun
Moberg D10	D	Mrg-Ms-Ep-Pl
Moberg D11	D	Hem-Ilm-Rt-Mgr-Chl-Ms-Zrn
Moberg D12	D	Hem-Ilm-Rt-Mag-Bt-Ms-Zrn
Moberg D13	D	
Moberg D2	D	
Moberg D3	D	Bt-Mrg-Chl-Aln-Zrn
Moberg D4	D	Hem-Ilm-Rt-Mag-Thn-Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Mnz-Cbe?
Moberg D5	D	Ilm-Rt-Ghn-Pph-Un-Bt-Mrg-Chl-Zrn-Mnz
Moberg D6	D	Rt-Bt-Chl-Ms-Zrn-Grt-Sil-Mnz
Moberg D7	D	Mrg-Zrn-Ap
Moberg D8	D	Rt-Py-Bt-Zrn
Moberg D9	D	Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Ap-Brt
Suolaaja E1	E	Rt-Bt-Mrg-Chl-Zrn
Suolaaja E2	E	Rt-Bt-Chl-Zrn
Palsioja F	F	Hem-Rt-Mrg-Ms-Ep-Ab-Zrn-Mnz
Palsioja F	F	Mrg
Jäkälä-äytsi G	G	Rt-Mrg-Chl-Ms(Cr)-Pg-Zrn
Miessi-Turkka H	H	Ghn-Un-Mgr-Pl-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I1	I	Hem-Ilm-Rt-Mag-Chl-Ms-Zrn-Mnz-Ap
Miessi-Ollila I10	I	Hem-Rt-Mag-Bt-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I11	I	Ilm-Bad-Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Mnz-Ap
Miessi-Ollila I12	I	Hem-Ilm-Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I13	I	Ilm-Rt-Mrg-Chl-Ep-Zrn-Mnz-Ap
Miessi-Ollila I14	I	NÄYTE ON KVARTSIA
Miessi-Ollila I15	I	Rt-Bt-Chl-Zrn-Mnz-Ap
Miessi-Ollila I15	I	Ap
Miessi-Ollila I2	I	Hem-Mag-Bt-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I3	I	Bt-Chl-Ms-Zrn-Ap
Miessi-Ollila I4	I	EI ANAL
Miessi-Ollila I5	I	Cbe-Spl-Ghn-Py-Mrg-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I6	I	Ilm-Rt-Bt-Chl-Ms-Pl-Zrn-Grt-Dol-Mnz-Ap
Miessi-Ollila I7	I	NÄYTE ON KVARTSIA JA GRANAATTIA
Miessi-Ollila I8	I	Ilm-Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Ollila I9	I	Hem-Ilm-Mag-Ms-Zrn-Mnz
Miessi-Marttila J1	J	
Miessi-Marttila J2	J	Hem-Ilm-Bt-Ms-Zrn-Mnz
Miessi, Isola K1	K	Pl-Ms-Sme
Miessi, Isola K2	K	Hem-Ghn-Ms-Zrn
Pusku L1	L	Hem-Ilm-Ms-Zrn-Mnz-Ap
Pusku L2	L	
Palsi, Latva M	M	Ilm-Rt-Bt-Chl-Ms-Zrn-Mnz
Köysihaara N1	N	
Köysihaara N2	N	Mrg-Chl-Bt
Köysihaara N3	N	Mrg-Chl-Hbl
Köysihaara N4	N	Bt-Mrg-Chl-Ms-Zrn
Köysihaara N6	N	Mrg-Chl
Köysihaara N7	N	Mrg-Chl-Czo-Ged-Zrn-Mnz-Ap
Köysihaara N8	N	Mrg-Zrn
Tuntematon O2 pieni	O	Hem-Rt-Mrg-Chl-Zrn-Mnz-Ap-Gr
Tuntematon O1 iso	O	Rt-Ghn-Mrg-Chl-Zrn-Cal



Liite 1 Korundien koostumuksia

Paikka Koodi näyte	Haisujupukka	Hangasoja	Hangasoja	Intia	Jakala-Äytsi	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara
	C	C	C	2	G	N	N	N	N	N	N	N	N
AnalNo	1	2	6	1	3	1	2	6	9	3	6	1	2
SiO2	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
TiO2	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
Al2O3	97.34	97.82	99.33	95.00	101.85	101.93	100.33	100.71	100.94	101.77	103.10	101.40	100.68
V2O3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02
Cr2O3	0.11	0.01	0.03	0.61	1.51	0.10	0.06	0.14	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00
FeO	1.05	0.41	0.58	0.54	0.57	0.30	0.27	0.15	0.16	0.17	0.14	0.00	0.72
MgO	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.01		0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
ZnO	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.01	0.08	0.00	0.05
F	0.00	0.00	0.00		0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03		
Total	98.63	98.34	100.02	96.21	104.11	102.42	100.73	101.09	101.44	102.02	103.43	101.40	101.61

Paikka Koodi näyte	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Miessi	Miessi-Isola	Miessi-Martila	Miessi-Martila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila
	N	N	N	1	K	J	J	I	I	I	I	I	I
AnalNo	6	7	8	1		1	2	1	2	3	4	5	6
	3	20	2	4	1	1	1	1	1	3	2	1	1
SiO2	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01		0.72	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO2	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.05	0.03	0.05	0.01	0.01
Al2O3	98.57	99.47	99.10	103.76	98.22	93.66	99.62	99.41	102.32	101.37	91.49	100.65	102.45
V2O3	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04		0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00
Cr2O3	0.00	0.03	0.11	0.47	0.02	0.10	0.12	0.02	0.00	0.00	0.09	0.04	0.00
FeO	0.69	0.33	0.23	0.12	0.56	1.43	1.39	1.28	0.37	0.44	0.20	0.28	0.34
MgO	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03
MnO	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00		0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.04	0.02
Na2O	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00		0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00		0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
NiO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00		0.07	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	0.00
ZnO	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00		0.05	0.05	0.00	0.04	0.00	0.14	0.04
F		0.00	0.00	0.00	0.11		0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.35	99.96	99.52	104.48	98.96	95.22	102.11	100.83	102.82	101.88	91.92	101.22	102.92

Liite 1 Korundien koostumuksia

Paikka	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Turkka	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg
Koodi	I	I	I	I	I	I	I	H	D	D	D	D	D	D
näyte	9	10	11	12	13	13	15		1	1	4	5	5	5
AnalNo	1	1	5	3	1	5	2	1	1	9	1	8	10	15
SiO2		0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
TiO2	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Al2O3	96.06	99.88	100.67	99.63	102.08	102.22	98.11	102.06	96.97	99.32	97.79	93.85	95.75	91.08
V2O3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Cr2O3	0.02	0.05	0.06	0.07	0.03	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.05	0.00	0.01	0.00
FeO	1.22	1.31	0.97	1.41	0.23	0.69	0.34	0.34	0.12	0.10	1.14	0.14	0.21	0.20
MgO		0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
MnO		0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O		0.01	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03
K2O		0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO		0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
NiO		0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
ZnO		0.00	0.05	0.11	0.06	0.00	0.08	0.01	0.05	0.04	0.04	0.04	0.00	0.07
F		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.31	101.30	101.78	101.28	102.48	103.00	98.70	102.50	97.30	99.56	99.08	94.10	95.99	91.42

Paikka	Miessi-Ollila	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Paaraskalla	Palsi-Latva	Palsi-Latva
Koodi	I	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		M	M
näyte	8	5	5	5	5	7	10	11	12	13	3			
AnalNo	5	20	22	26	27	1	1	2	4	2	8	1	6	11
SiO2	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
TiO2	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.04	0.00	0.03	0.20	0.22	0.00	0.22	0.08
Al2O3	102.14	92.05	76.51	104.06	102.94	103.18	98.79	100.52	101.56	95.83	102.55	105.55	100.01	100.62
V2O3	0.07	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Cr2O3	0.07	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.06	0.00	0.03
FeO	0.23	0.22	0.17	0.26	0.24	0.10	0.19	1.01	1.26	0.74	0.23	0.29	0.57	0.61
MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
MnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.10	0.06
K2O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.00
CaO	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
NiO	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
ZnO	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	102.53	92.38	76.82	104.46	103.19	103.46	99.08	101.63	102.98	96.89	103.02	106.02	100.96	101.47

Liite 1 Korundien koostumuksia

Paikka	Palsi-Latva	Palsioja	Palsioja	Palsioja	Pusku	Pusku	Suolaoja	Suolaoja	Tuntem(huon)	Tuntem(huon)	Tuntem(huon)	Tuntem(huon)	Tuntematon	Tuntematon
Koodi	M	F	F	F	L	L	E	E	O	O	O	O	O	O
näyte					1	1	1	2	2	2	2	2	1	1
AnalNo	13	1	2	3	1	3	3	1	2	5	6	1	5	6
SiO2	0.05	0.03	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.02	0.00
TiO2	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00
Al2O3	96.91	96.40	94.12	99.93	92.27	99.30	103.87	100.42	92.66	92.33	93.81	81.71	94.18	95.95
V2O3	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.00
Cr2O3	0.03	0.06	0.04	0.09	0.05	0.00	0.00	0.01	0.13	0.12	0.07	0.09	0.01	0.02
FeO	0.62	1.42	1.28	1.13	1.25	0.92	0.13	0.48	1.40	1.28	1.28	12.72	0.53	0.57
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
MnO	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01
Na2O	0.21	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.02
K2O	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01
NiO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
ZnO	1.02	0.10	0.08	0.01	0.00	0.00	0.03	0.04	0.07	0.03	0.00	0.02	0.00	0.04
F	0.00	0.01	0.08	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00					0.00	0.00
Total	98.98	98.06	95.83	101.41	93.57	100.22	104.10	101.02	94.29	93.80	95.27	95.35	94.79	96.62

Paikka	Palsi-Latva	Tuntematon	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Ylä-Kuivakuru	Tuntematon	Zellberg	Zellberg
Koodi	M	O	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	O	A	A
näyte		2											a	1		
AnalNo	12	1	3	3	4	7	8	6	11	12	13	2	4	1	1	8
SiO2	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.06
TiO2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.22	0.08	0.03	0.03	0.00	0.05	0.01	0.00	
Al2O3	99.92	104.19	100.62	100.62	81.22	102.48	86.47	100.01	100.62	99.92	96.91	101.25	90.97	98.20	99.05	
V2O3	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	
Cr2O3	0.00	0.06	0.17	0.17	0.07	0.26	0.27	0.00	0.03	0.00	0.03	0.08	0.00	0.02	0.00	
FeO	0.78	1.46	0.25	0.25	0.19	0.20	0.18	0.57	0.61	0.78	0.62	1.13	0.79	2.25	1.73	
MgO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	
MnO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	
Na2O	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.02	0.21	0.02	0.05	0.00	0.02	
K2O	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.02	0.10	0.02	0.00	0.00	0.02	
CaO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	
ZnO	0.04	0.06	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	1.02	0.02	0.03	0.02	0.09	
F	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	100.84	105.85	101.17	101.17	81.55	103.03	86.94	100.96	101.47	100.84	98.98	102.53	91.94	100.54	100.98	

Liite 2 Hematiittien ja ilmeniittien koostumuksia

Paikka	Tuntem(huon)	Tuntematon	Tuntematon	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Tuntematon	Miessi-Ollila
Koodi	O	O	O	D	D	D	D	D	O	I
näyte	2	2	2	12	12	12	11	4	2	13
AnalNo	3	7	8	5	6	8	4	13	6	6
Mineraali	Hem	Hem	Hem	Hem	Hem	Hem	Hem	Ilm	Ilm	Ilm
SiO2	0.04	0.04	0.01	0.05	0.03	0.00	0.39	0.04	0.03	0.00
TiO2	8.65	6.77	0.66	6.88	2.01	16.09	0.18	40.34	18.40	51.82
Al2O3	0.08	0.13	0.03	0.15	0.05	0.05	0.68	0.05	0.03	0.08
V2O3	0.48	0.51	0.28	0.52	0.31	0.55	0.46	0.36	0.54	0.27
Cr2O3	0.24	0.14	0.26	0.37	0.24	0.28	0.65	0.09	0.24	0.00
FeO	78.65	82.30	90.10	78.05	85.96	71.69	81.28	43.29	71.06	45.55
MgO	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.09
MnO	0.11	0.01	0.00	0.01	0.00	0.35	0.01	3.91	0.02	2.43
Na2O	0.04	0.00	0.00	0.07	0.02	0.07	0.10	0.09	0.00	0.03
K2O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.03	0.07	0.00	0.06	0.08	0.02	0.18	0.09	0.00	0.00
Total	88.33	90.00	91.38	86.17	88.75	89.11	84.01	88.27	90.32	100.29

Paikka	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Zellberg	Zellberg	Zellberg	Zellberg
Koodi	D	D	D	D	D	A	A	A	A
näyte	12	4	4	4	4	3	5	6	17
AnalNo	7	7	10	11	14	3	5	6	17
Mineraali	Ilm	IlmHem	IlmHem	IlmHem	IlmHem	IlmHem	IlmHem	IlmHem	IlmHem
SiO2	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.00
TiO2	43.17	10.37	13.56	9.72	15.08	9.90	8.78	11.40	9.41
Al2O3	0.03	0.08	0.05	0.01	0.01	0.06	0.09	0.10	0.08
V2O3	0.32	0.36	0.33	0.30	0.39	0.33	0.02	0.37	0.33
Cr2O3	0.05	0.21	0.24	0.18	0.12	0.21	0.22	0.17	0.22
FeO	48.87	68.85	67.45	69.61	66.80	80.57	82.58	80.34	79.02
MgO	0.17	0.00	0.03	0.04	0.06	0.09	0.05	0.02	0.07
MnO	1.29	0.45	0.53	0.89	0.58	0.11	0.01	0.06	0.16
Na2O	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.02	0.07	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00
ZnO	0.16	0.00	0.03	0.07	0.00	0.00	0.03	0.04	0.05
Total	94.14	80.37	82.26	80.92	83.09	91.28	91.87	92.50	89.36

Liite 3 Spinelliryhmän mineraalien koostumuksia

Paikka	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi	Moberg	Moberg	Moberg
Koodi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	D	D	D
näyte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5
AnalNo	5	6	7	8	9	15	16	17	18	28	29	1	3	11
Mineraali	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl
SiO2	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01
TiO2	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Al2O3	69.40	68.97	70.30	69.90	69.71	65.36	63.92	68.59	67.83	66.37	65.77	57.78	60.22	56.59
V2O3	0.03	0.04	0.00	0.00	0.02	0.04	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02
Cr2O3	0.18	0.37	0.24	0.44	0.48	0.75	1.43	1.25	1.56	1.55	1.23	0.03	0.00	0.00
FeO	12.72	11.92	12.35	12.30	12.61	13.84	14.07	15.54	15.75	14.93	14.18	9.28	7.65	6.02
MgO	21.28	20.30	20.73	21.10	20.87	17.06	16.66	17.06	17.51	16.50	16.47	3.32	2.22	1.79
MnO	0.15	0.17	0.18	0.17	0.19	0.16	0.24	0.20	0.20	0.11	0.15	0.23	0.28	0.13
Na2O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.00	0.04	0.05	0.03	0.12	0.83	0.95	0.91
K2O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
NiO	0.10	0.16	0.13	0.07	0.18	0.11	0.09	0.01	0.12	0.05	0.12	0.02	0.05	0.00
ZnO	0.70	0.68	0.66	0.61	0.72	0.72	0.67	0.84	0.92	0.72	0.83	26.43	28.45	27.23
Total	104.58	102.64	104.62	104.66	104.76	98.13	97.15	103.55	103.95	100.30	98.92	97.95	99.83	92.72

Paikka	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Tuntematon	Miessi-Turkka	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Haisujupukka	Miessi-Ollila	Moberg	Zellberg	Zellberg
Koodi	D	D	D	D	O	H	I	I		I	D	A	A
näyte	5	5	5	5	1		5	5		10	4		
AnalNo	12	13	14	16	9	2	2	3	3	4	12	12	13
Mineraali	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag
SiO2	0.10	0.05	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.23	0.04	0.01	0.01	0.00
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.16	5.29	5.03
Al2O3	56.26	56.86	56.14	54.84	56.90	60.34	59.90	62.54	0.30	0.08	0.10	0.22	0.26
V2O3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.19	0.16	0.02	0.15	0.29	0.00	0.15
Cr2O3	0.05	0.04	0.01	0.00	0.02	0.01	0.06	0.00	0.00	0.32	0.61	0.05	0.02
FeO	10.28	7.18	6.67	9.39	3.46	3.97	6.56	21.44	89.28	86.00	83.49	82.72	82.96
MgO	3.46	2.56	2.20	3.05	0.86	1.10	1.20	5.71	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
MnO	0.16	0.15	0.14	0.21	0.11	0.51	0.06	0.41	0.00	0.02	0.00	0.06	0.03
Na2O	0.66	0.88	0.86	0.76	1.25	1.14	1.03	0.32	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00
K2O	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.09	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
ZnO	23.04	25.77	26.34	29.35	31.89	38.35	34.15	11.92	0.04	0.02	0.20	0.00	0.00
Total	94.12	93.55	92.37	97.64	94.56	105.49	103.47	102.54	89.94	86.69	84.94	88.35	88.48

Liite 4 Margariittien koostumuksia

Paikka	Haisujupukka	Hangasoja	Hangasoja	Jäkälä-Äytsi	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara
Koodi		C	C	G	N	N	N	N	N	N	N	N	N
näyte					2	2	2	2	3	3	3	3	4
AnalNo	2	1	3	5	1	3	7	8	1	2	4	4	
SiO2	31.87	30.70	31.77	32.11	30.76	30.53	31.04	31.11	30.71	30.39	31.73	31.54	
TiO2	0.03	0.03	0.08	0.00	0.06	0.05	0.03	0.08	0.07	0.04	0.00	0.07	
Al2O3	50.61	48.78	50.30	45.56	50.12	50.82	51.00	50.01	50.62	50.88	51.12	50.56	
V2O3	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.01	0.06	0.03	
Cr2O3	0.05	0.03	0.01	0.22	0.21	0.07	0.05	0.13	0.09	0.06	0.00	0.00	
FeO	0.34	0.23	0.21	0.45	0.54	0.22	0.20	0.16	0.12	0.16	0.15	0.67	
MgO	0.20	0.15	0.16	0.22	0.73	0.13	0.16	0.18	0.19	0.17	0.25	0.57	
MnO	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Na2O	0.87	1.44	1.51	2.02	1.62	0.64	0.82	1.20	0.60	0.46	0.99	1.61	
K2O	0.14	0.27	0.27	0.17	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.08	0.25	
CaO	11.85	11.28	11.08	9.57	11.16	12.59	12.47	11.94	13.13	12.98	11.95	10.50	
NiO	0.08	0.07	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	
ZnO	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.05	0.00	
F	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	96.06	92.99	95.53	90.77	95.22	95.14	95.81	94.83	95.67	95.21	96.37	95.81	

Paikka	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara
Koodi	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
näyte	4	4	4	4	4	6	6	7	7	7	7	7	7
AnalNo	5	7	8	10	11	4	6	3	5	7	8	9	
SiO2	31.50	31.42	31.36	31.91	34.12	31.23	31.27	30.12	30.85	29.53	30.10	30.74	
TiO2	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.09	0.00	0.01	0.06	0.11	0.02	0.02	
Al2O3	51.61	49.96	50.53	51.25	48.05	50.82	52.82	48.99	50.31	48.92	42.91	50.19	
V2O3	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	
Cr2O3	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.04	
FeO	0.05	0.16	0.12	0.20	0.31	0.66	0.27	0.49	0.45	0.38	4.19	0.26	
MgO	0.09	0.05	0.04	0.07	0.08	0.63	0.07	0.32	0.21	0.36	7.34	0.12	
MnO	0.02	0.02	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01	0.09	0.00	
Na2O	1.91	1.61	1.43	1.72	1.22	1.60	1.63	1.04	0.65	1.11	0.83	1.10	
K2O	0.02	0.30	0.28	0.14	2.40	0.12	0.05	0.02	0.02	0.03	0.27	0.01	
CaO	10.00	10.62	10.50	10.39	8.60	9.10	9.92	11.66	13.15	11.83	7.57	11.57	
NiO	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	
ZnO	0.01	0.01	0.03	0.00	0.08	0.14	0.04	0.06	0.03	0.08	0.02	0.03	
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	95.25	94.26	94.34	95.74	94.96	94.42	96.13	92.83	95.79	92.42	93.33	94.08	

Liite 4 Margariittien koostumuksia

Paikka	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila
Koodi	N	N	N	N	1	1	1	I	I	I	I	I
näyte	7	7	7	8	1	1	1	5	8	11	12	12
AnalNo	10	11	12	1	14	24	27	5	1	3	1	4
SiO2	31.06	30.39	30.54	32.37	31.38	31.80	30.46	31.17	31.31	30.77	31.51	32.56
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05
Al2O3	49.07	50.37	50.47	48.01	51.61	50.78	51.81	51.02	50.50	51.28	48.32	51.62
V2O3	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.04	0.05	0.02	0.05	0.08	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.09	0.21	0.23	0.12	0.11	0.00	0.07	0.05	0.03
FeO	0.25	0.22	0.28	0.52	0.29	0.35	0.40	0.35	0.45	0.35	0.89	0.64
MgO	0.20	0.16	0.30	0.66	0.02	0.58	1.00	0.20	0.23	0.04	0.06	0.08
MnO	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Na2O	1.34	1.07	1.00	2.68	0.08	1.34	1.17	0.73	1.43	1.54	0.65	0.92
K2O	0.00	0.01	0.07	0.06	0.04	0.00	0.03	0.16	0.10	0.05	0.02	0.18
CaO	11.41	11.79	11.67	8.94	13.41	11.32	11.67	12.46	11.30	10.96	11.80	12.37
NiO	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.08	0.00	0.06	0.02	0.07	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	93.32	94.14	94.43	93.45	97.10	96.56	96.73	96.70	95.42	95.14	93.30	98.48

Paikka	Miessi-Ollila	Miessi-Turkka	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg
Koodi	I	H	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
näyte	13		4	5	5	5	5	5	5	7	10	10
AnalNo	4	3	2	2	5	9	21	23	2	2	3	6
SiO2	30.62	31.05	30.29	33.06	30.66	30.69	31.79	32.70	31.28	38.73	33.21	32.28
TiO2	0.03	0.16	0.02	0.02	0.03	0.00	0.08	0.05	0.00	0.00	0.01	0.08
Al2O3	51.00	50.40	48.91	47.25	48.27	41.77	44.82	48.73	51.30	42.93	49.26	53.26
V2O3	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
Cr2O3	0.02	0.01	0.10	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
FeO	0.32	0.42	0.31	0.56	0.41	0.45	0.46	0.38	0.07	0.51	0.09	0.70
MgO	0.04	0.36	0.06	0.92	0.80	0.63	0.59	0.68	0.05	0.40	0.05	0.65
MnO	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
Na2O	0.37	1.51	0.99	2.94	2.11	2.81	2.47	2.92	0.86	1.25	0.91	1.62
K2O	0.07	0.07	0.05	0.08	0.01	0.05	0.07	0.07	0.00	3.72	0.23	0.23
CaO	12.87	10.96	11.27	7.64	9.07	8.25	9.22	8.31	5.52	6.89	11.80	10.10
NiO	0.01	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.04	0.01	0.05	0.07	0.03
ZnO	0.00	0.03	0.04	0.04	0.00	0.05	0.02	0.00	0.05	0.04	0.00	0.07
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Total	95.38	94.98	92.09	92.52	91.45	84.71	89.59	93.89	89.14	94.53	95.66	99.06

Liite 4 Margariittien koostumuksia

Paikka	Moberg	Suolaaja	Tuntem(huon)	Tuntem(huon)	Tuntematon	Tuntematon	Tuntematon	Tuntematon	Tuntematon	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara
Koodi	D	E	O	O	O	O	O	O	O	B	B	B	B
näyte	3	1	2	2	1	1	2	2	2				
AnalNo	7	2	7	8	10	11	3	5	1	6	1	6	
SiO2	31.95	32.03	30.34	29.56	30.24	30.97	31.14	26.91	30.92	31.03	30.92	31.03	
TiO2	0.05	0.03	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.05	0.02	0.04	0.02	0.04	
Al2O3	53.94	51.87	46.34	44.98	49.46	47.21	50.46	48.06	50.40	51.29	50.40	51.29	
V2O3	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	
Cr2O3	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02	0.12	0.08	0.01	0.08	0.01	
FeO	0.44	0.31	0.37	0.36	0.28	0.08	0.26	0.47	0.17	0.14	0.17	0.14	
MgO	0.37	0.22	0.13	0.11	0.20	0.04	0.03	0.05	0.25	0.20	0.25	0.20	
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	
Na2O	1.47	1.44	1.15	1.25	1.13	1.15	0.83	0.70	0.88	0.72	0.88	0.72	
K2O	0.23	0.06	0.00	0.01	0.08	0.36	0.09	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02	
CaO	10.43	11.45	11.61	11.70	11.07	10.74	12.31	12.11	12.38	12.63	12.38	12.63	
NiO	0.09	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	
ZnO	0.00	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	
F	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	98.98	97.47	90.09	88.06	93.02	90.59	95.15	88.56	95.14	96.18	95.14	96.18	

Paikka	Ylä-Kuivakuru
Koodi	C
näyte	a
AnalNo	4
SiO2	31.06
TiO2	0.02
Al2O3	51.20
V2O3	0.02
Cr2O3	0.03
FeO	0.38
MgO	0.06
MnO	0.00
Na2O	1.34
K2O	0.08
CaO	11.64
NiO	0.01
ZnO	0.05
F	0.03
Total	95.92



Liite 5 Kloriittien koostumuksia

Paikka	Jäkälä-Äytsi	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Miessi	Miessi	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila
Koodi	G	N	N	N	N	N	N	1	1	I	I	I	I
näyte		2	3	4	6	7	7	1	1	1	1	1	2
AnalNo	4	2	5	9	5	13	14	10	22	3	4	5	4
SiO2	23.51	22.49	27.83	23.16	36.76	27.15	27.25	27.49	27.69	23.73	24.05	21.86	25.30
TiO2	0.08	0.01	0.05	0.01	0.65	0.06	0.13	0.09	0.00	0.08	0.02	0.00	0.06
Al2O3	23.05	24.39	24.04	31.45	34.35	24.17	23.90	25.88	26.02	24.64	24.83	28.31	25.26
V2O3	0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02
Cr2O3	0.19	0.09	0.20	0.00	0.01	0.00	0.08	0.12	0.09	0.08	0.11	0.06	0.04
FeO	20.91	17.80	7.01	17.29	3.65	11.45	11.22	4.39	4.37	30.69	24.98	30.73	20.87
MgO	14.29	16.60	27.53	16.35	8.44	24.65	23.85	31.01	29.16	9.32	14.22	8.49	16.11
MnO	0.17	0.28	0.11	0.34	0.01	0.14	0.12	0.05	0.00	0.02	0.10	0.00	0.03
Na2O	0.00	0.07	0.04	0.00	1.86	0.02	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.02
K2O	0.08	0.05	0.06	0.01	0.02	0.04	0.06	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00
CaO	0.02	0.04	0.00	0.03	0.94	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.03	0.00	0.08	0.01	0.02	0.05	0.09	0.07	0.10	0.02	0.12	0.03	0.04
ZnO	0.15	0.04	0.10	0.08	0.00	0.15	0.13	0.11	0.12	0.10	0.00	0.02	0.17
F	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl								0.00	0.00				
Total	82.54	81.89	87.10	88.75	86.71	87.93	86.91	89.21	87.57	88.78	88.48	89.51	87.92

Paikka	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Miessi-Öllila	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg
Koodi	I	I	I	I	I	I	D	D	D	D	D	D	D
näyte	3	3	6	8	11	12	1	1	1	1	4	4	5
AnalNo	2	5	6	2	4	2	2	3	5	8	3	8	4
SiO2	27.35	26.66	23.75	24.44	22.40	22.46	28.30	27.67	24.29	26.64	24.52	24.00	25.09
TiO2	0.05	0.06	0.03	0.01	0.05	0.00	0.03	0.00	0.03	0.04	0.11	0.10	0.02
Al2O3	24.96	25.23	24.29	25.48	27.04	28.02	19.65	21.85	30.63	23.34	24.05	25.83	24.53
V2O3	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.10	0.03
FeO	7.74	8.44	28.53	22.33	27.32	29.15	4.99	4.89	7.56	5.51	20.42	24.61	15.50
MgO	26.47	26.00	10.85	15.79	10.33	10.46	29.38	27.81	22.72	30.79	16.57	11.97	19.14
MnO	0.07	0.03	0.07	0.18	0.16	0.24	0.04	0.02	0.37	0.15	0.25	0.29	0.27
Na2O	0.02	0.00	0.07	0.01	0.18	0.07	0.05	0.00	0.00	0.03	0.03	0.08	0.07
K2O	0.02	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.09	0.02
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10
NiO	0.05	0.05	0.00	0.01	0.02	0.00	0.12	0.09	0.20	0.21	0.05	0.03	0.08
ZnO	0.07	0.02	0.07	0.18	0.11	0.00	0.02	0.01	0.08	0.00	0.06	0.14	0.07
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl													
Total	86.77	86.49	87.76	88.45	87.69	90.46	82.58	82.37	85.91	86.75	86.14	87.27	84.91

Liite 5 Kloriittien koostumuksia

Paikka	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Paaraskalla	Paaraskalla	Palsi-Latva	Palsi-Latva	Suolaaja	Tuntematon
Koodi	D	D	D	D	D	D	D			M	M	E	O
näyte	5	5	5	5	6	11	3					1	1
AnalNo	6	18	19	24	4	3	9	2	4	5	9	1	1
SiO2	26.25	23.47	25.02	25.39	22.50	26.32	26.83	28.34	28.55	27.36	24.65	26.46	25.23
TiO2	0.00	0.09	0.00	0.05	0.16	0.08	0.00	0.09	0.00	0.06	0.08	0.05	0.04
Al2O3	23.98	25.63	23.49	25.37	24.95	22.24	25.58	22.83	23.21	23.68	24.63	26.03	21.29
V2O3	0.00	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.05
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
FeO	13.46	15.17	15.38	15.68	31.89	23.27	11.75	8.15	8.34	18.63	19.96	15.03	12.11
MgO	20.30	18.52	19.02	19.40	6.40	16.30	23.58	26.60	26.98	15.17	17.19	21.30	21.01
MnO	0.16	0.25	0.19	0.22	0.11	0.25	0.13	0.04	0.11	0.10	0.10	0.09	0.13
Na2O	0.05	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.02	0.10
K2O	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	1.08	0.08	0.00	0.07
CaO	0.02	0.09	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.12	0.08	0.02	0.04
NiO	0.04	0.04	0.14	0.09	0.00	0.06	0.05	0.00	0.04	0.06	0.05	0.07	0.08
ZnO	0.00	0.01	0.13	0.03	0.01	0.07	0.03	0.30	0.00	0.05	0.00	0.07	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl													0.09
Total	84.27	83.33	83.37	86.30	86.07	88.65	88.04	86.42	87.31	86.38	86.90	89.14	80.23

Paikka	Tuntematon	Tuntematon	Tuntematon	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Ylä-Kuivakuru
Koodi	O	O	O	B	B	B	B	B	C
näyte	1	2	2						a
AnalNo	2	2	4	2	5	5	7	9	3
SiO2	24.95	24.21	26.44	27.19	27.58	27.36	17.14	24.65	23.26
TiO2	0.04	0.00	0.12	0.00	0.00	0.06	0.02	0.08	0.02
Al2O3	20.88	25.99	25.21	24.98	24.93	23.68	18.11	24.63	26.81
V2O3	0.02	0.05	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.03
Cr2O3	0.03	0.07	0.04	0.08	0.05	0.04	0.01	0.00	0.01
FeO	12.46	21.49	22.83	8.42	7.65	18.63	9.12	19.96	26.35
MgO	20.57	15.80	10.13	27.40	27.01	15.17	11.10	17.19	12.01
MnO	0.15	0.00	0.18	0.09	0.09	0.10	0.07	0.10	0.16
Na2O	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.11	0.05	0.04
K2O	0.09	0.03	0.20	0.00	0.00	1.08	0.05	0.08	0.02
CaO	0.01	0.00	0.20	0.00	0.03	0.12	0.06	0.08	0.00
NiO	0.08	0.09	0.07	0.07	0.01	0.06	0.02	0.05	0.02
ZnO	0.11	0.10	0.10	0.02	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01
F	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00								
Total	79.44	87.84	85.56	88.28	87.38	86.38	55.81	86.90	88.73

Liite 6 Muskoviittien koostumuksia

Paikka	Haisujupukka	Jäkälä-Äytsi	Köysihaara	Miessi-Isola	Miessi-Isola	Miessi-Martila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila
Koodi	G	N	K	K	J	I	I	I	I	I	I	I	I	I
näyte		4			2	1	2	2	3	3	5	6	8	10
AnalNo	5	6	2	3	4	2	2	2	1	6	6	7	4	3
SiO2	46.02	44.47	45.00	46.45	46.14	44.97	43.88	47.20	45.60	45.32	43.62	48.86	46.78	44.79
TiO2	0.75	0.12	0.15	0.05	0.01	0.00	0.08	0.02	0.31	0.32	0.15	0.05	0.25	0.70
Al2O3	33.93	33.33	36.74	34.38	33.59	33.08	36.39	35.36	37.35	36.94	37.19	38.11	38.26	35.61
V2O3	0.05	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.14	0.07	0.01	0.09
Cr2O3	0.16	1.75	0.01	0.03	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.18	0.03	0.05	0.04
FeO	2.62	1.27	2.51	1.24	7.18	3.97	2.96	0.97	1.22	1.53	0.46	1.87	0.90	2.19
MgO	0.36	0.39	2.12	1.32	0.76	0.25	0.74	1.03	0.38	0.63	0.24	0.64	0.43	0.35
MnO	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.04	0.00
Na2O	0.46	0.30	0.10	0.37	0.21	0.11	0.72	0.57	1.69	1.68	0.46	0.93	0.89	0.43
K2O	10.49	10.43	10.63	10.57	4.31	9.81	10.75	10.63	9.03	9.04	9.96	9.29	9.07	10.63
CaO	0.00	0.04	0.02	0.00	0.30	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	0.04	0.00
NiO	0.01	0.01	0.03	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00
ZnO	0.04	0.00	0.10	0.02	0.15	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.10	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.10	0.00	0.51	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	94.88	92.39	97.40	95.01	93.20	92.36	95.63	95.86	95.65	95.55	92.53	99.90	96.75	94.82

Paikka	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Paaraskalla	Palsi-Latva	Palsi-Latva
Koodi	I	I	D	D	D	D	D	D	D	D	D		M	M
näyte	11	12	4	4	4	4	6	6	10	11	12			
AnalNo	2	5	5	6	9	20	3	6	4	1	3	9	2	3
SiO2	42.83	45.61	43.64	43.80	43.84	45.66	45.15	48.58	45.33	46.26	44.59	47.79	43.41	45.05
TiO2	0.17	0.54	0.13	0.50	0.27	0.31	0.03	0.02	0.15	0.78	0.88	0.00	0.44	0.34
Al2O3	35.89	31.05	35.96	34.18	34.30	35.18	36.38	36.65	36.65	35.14	35.37	39.17	32.16	35.49
V2O3	0.08	0.11	0.00	0.01	0.03	0.06	0.01	0.04	0.00	0.08	0.07	0.00	0.04	0.00
Cr2O3	0.11	0.10	0.01	0.07	0.03	0.07	0.02	0.03	0.04	0.17	0.07	0.05	0.00	0.03
FeO	2.05	4.11	2.61	2.67	2.80	2.73	0.86	1.23	0.62	2.53	2.79	0.09	1.99	1.84
MgO	0.30	1.10	0.59	0.48	0.47	0.61	0.44	0.55	0.20	0.47	0.51	0.06	0.39	0.49
MnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00
Na2O	0.34	0.40	0.54	0.51	0.71	0.60	0.83	1.45	1.06	0.55	0.69	0.09	0.28	0.31
K2O	10.42	10.90	8.92	10.04	9.78	10.21	9.48	6.09	8.99	10.52	9.69	11.29	10.91	10.66
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.99	0.00	0.02	0.01	0.18	0.01	0.03
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08	0.08	0.04	0.00	0.17
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	92.19	93.92	92.43	92.25	92.30	95.51	93.21	95.65	93.08	96.60	94.77	99.20	89.62	94.42

Liite 6 Muskoviittien koostumuksia

Paikka	Palsi-Latva	Palsioja	Palsioja	Pusku	Pusku	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Ylä-Kuivakuru	Jakälä-Äytsi
Koodi	M	F	F	L	L	B	B	B	C	G
näyte				1	1				a	
AnalNo	8	5	6	2	4	2	3	8	1	1
SiO2	41.99	45.97	46.32	44.86	45.01	43.41	45.05	41.99	45.72	45.17
TiO2	0.29	0.60	0.55	0.01	0.01	0.44	0.34	0.29	0.14	0.11
Al2O3	25.42	35.16	35.27	34.67	33.59	32.16	35.49	25.42	36.63	39.82
V2O3	0.07	0.04	0.08	0.02	0.01	0.04	0.00	0.07	0.06	0.10
Cr2O3	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07	0.42
FeO	2.09	3.09	3.16	1.51	4.24	1.99	1.84	2.09	1.88	0.61
MgO	0.26	0.28	0.31	0.07	0.01	0.39	0.49	0.26	0.15	0.18
MnO	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.88	0.53	0.60	0.21	0.21	0.28	0.31	0.88	0.35	5.15
K2O	10.10	10.50	10.05	10.93	11.00	10.91	10.66	10.10	10.68	1.60
CaO	0.00	0.06	0.08	0.09	0.01	0.01	0.03	0.00	0.02	2.35
NiO	0.00	0.01	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
ZnO	0.13	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.17	0.13	0.04	0.00
F	0.00	0.44	0.51	0.77	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
Total	81.22	96.79	96.97	93.19	94.52	89.62	94.42	81.22	95.74	96.37

Liite 7 Biotiittien koostumuksia

Paikka	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Palsi-Latva	Palsi-Latva	Palsi-Latva	Haisujupukka	Miessi-Ollila	Moberg
Koodi	N	N	N	N	D	D	D	D	M	M	M		I	D
näyte	2	2	4	4	4	5	5	3					11	12
AnalNo	4	5	1	3	4	17	25	1	1	4	10	4	1	1
SiO2	26.62	19.74	34.93	27.47	31.46	34.84	35.49	35.72	34.51	35.42	36.98	35.48	35.08	34.38
TiO2	1.16	0.85	0.47	1.88	1.27	1.29	1.30	0.56	2.02	1.77	1.67	2.30	2.78	2.19
Al2O3	42.76	58.51	21.43	24.88	21.62	19.87	20.95	22.18	19.90	21.73	22.01	19.89	19.86	21.15
V2O3	0.07	0.00	0.00	0.04	0.07	0.00	0.02	0.04	0.05	0.06	0.01	0.11	0.07	0.13
Cr2O3	0.09	0.13	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.13	0.07	0.11
FeO	13.73	9.97	14.99	12.15	19.10	12.53	11.97	11.15	15.33	13.95	15.10	18.69	20.91	17.87
MgO	6.62	4.69	13.60	10.55	11.50	12.85	12.87	16.83	10.48	10.55	11.16	8.92	7.54	9.60
MnO	0.20	0.18	0.08	0.08	0.23	0.12	0.08	0.11	0.09	0.11	0.07	0.09	0.04	0.09
Na2O	0.11	0.12	0.05	0.06	0.07	0.20	0.16	0.14	0.12	0.15	0.32	0.03	0.34	0.20
K2O	6.29	4.56	9.63	7.30	4.29	9.48	9.51	9.17	9.73	10.13	9.95	9.66	9.28	8.86
CaO	0.00	0.03	0.02	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00
NiO	0.00	0.02	0.05	0.06	0.05	0.04	0.10	0.08	0.02	0.03	0.00	0.10	0.15	0.02
ZnO	0.08	0.09	0.00	0.12	0.07	0.08	0.00	0.02	0.02	0.00	0.12	0.01	0.01	0.03
Total	97.73	98.87	95.23	84.72	89.81	91.32	92.45	96.01	92.30	93.89	97.39	95.44	96.14	94.62

Paikka	Moberg	Suolaoja	Suolaoja	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Miessi-Ollila	Uusihaara	Uusihaara	Uusihaara	Moberg
Koodi	D	E	E	I	I	I	I	I	I	I	B	B	B	D
näyte	12	1	2	10	8	6	3	2	12					6
AnalNo	2	4	2	2	3	5	4	3	6	1	4	10	5	
SiO2	30.58	34.66	34.78	33.79	35.25	35.75	38.86	36.42	36.08	34.51	35.42	36.98	35.63	
TiO2	1.84	2.01	1.57	3.50	2.93	3.97	0.37	3.30	2.49	2.02	1.77	1.67	4.16	
Al2O3	17.74	22.60	21.77	20.68	20.10	19.22	21.24	18.83	19.16	19.90	21.73	22.01	18.77	
V2O3	0.09	0.05	0.04	0.06	0.06	0.12	0.02	0.12	0.08	0.05	0.06	0.01	0.07	
Cr2O3	0.03	0.02	0.04	0.06	0.06	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	
FeO	10.90	10.89	9.83	19.82	17.66	16.28	6.64	13.32	20.10	15.33	13.95	15.10	13.46	
MgO	8.61	13.47	15.85	6.77	9.38	10.72	18.24	12.79	9.86	10.48	10.55	11.16	12.01	
MnO	0.06	0.17	0.03	0.05	0.10	0.05	0.04	0.00	0.08	0.09	0.11	0.07	0.06	
Na2O	0.21	0.20	0.57	0.17	0.17	0.21	0.50	0.19	0.09	0.12	0.15	0.32	0.21	
K2O	6.62	6.81	6.66	8.84	9.27	9.24	8.60	8.30	9.30	9.73	10.13	9.95	9.30	
CaO	0.00	0.25	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.12	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	
NiO	0.00	0.11	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.02	0.03	0.00	0.06	
ZnO	0.06	0.24	0.07	0.10	0.00	0.05	0.09	0.16	0.16	0.02	0.00	0.12	0.11	
Total	76.72	91.46	91.40	93.88	94.99	95.64	94.64	93.60	97.51	92.30	93.89	97.39	93.89	

Liite 8 Hohkasilikaattien koostumuksia

Paikka Koodi näyte	Haisujupuk Paaraskall: Intia			Miessi-Ollil: Palsioja		Moberg	Miessi-Isol: Paaraskall: Hangasoja		Paaraskalla	
	7	7	2	I 6	F 7	D 10	K 2	C 8	4	6
AnalNo	7	7	2	3	7	6	2	8	4	6
Mineraali	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	Kfs	Scp
SiO2	66.491	62.814	46.149	57.291	68.329	46.381	70.821	45.933	64.66	52.545
TiO2	0	0	0	0	0.015	0	0.003	0.008	0.00	0
Al2O3	19.349	26.667	35.705	27.444	18.151	35.239	20.184	38.225	18.63	25.853
V2O3	0.028	0	0.038	0	0.014	0	0.046	0.004	0.00	0
Cr2O3	0	0.058	0.005	0.019	0	0.006	0	0	0.00	0.031
FeO	0.211	0	0.091	0.686	0.032	0.015	0.067	0.046	0.05	0
MgO	0	0.011	0	0.003	0	0	0.016	0.039	0.00	0
MnO	0.011	0	0.01	0.006	0	0.012	0.013	0.024	0.00	0.033
Na2O	11.133	8.076	1.024	6.078	11.602	0.726	11.56	0.377	0.88	7.072
K2O	0.146	0.008	0.009	0.439	0.061	0.013	0.055	0	15.82	0.205
CaO	1.227	6.971	18.4	8.817	0.069	18.935	0.363	20.215	0.00	12.49
NiO	0.012	0.027	0.071	0.006	0	0.042	0	0.008	0.03	0.051
ZnO	0	0	0.067	0.106	0.036	0	0	0	0.12	0
F	0	0	0	0	0.081	0	0.199	0	0.00	0
Total	98.61	104.63	101.57	100.90	98.39	101.37	103.33	104.88	100.17	98.28

Liite 9 Amfibolien koostumuksia

Paikka	Köysihaara	Köysihaara	Miessi	Miessi	Paaraskalla	Paaraskalla	Intia	Köysihaara
Koodi	N	N	1	1				N
näyte	3	3	1	1				7
AnalNo	6	7	12	23	3	5	1	6
Mineraali	Hbl	Hbl	Hbl	Hbl	Hbl	Hbl	Hbl	Ged
SiO2	45.65	46.61	41.80	41.28	48.09	46.23	44.94	50.37
TiO2	0.20	0.17	0.09	0.20	0.00	0.07	0.44	0.38
Al2O3	16.29	15.92	19.78	19.14	16.76	17.00	17.99	24.19
V2O3	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.05
Cr2O3	0.10	0.06	0.06	0.27	0.04	0.03	0.66	0.01
FeO	5.49	4.86	4.89	4.93	5.66	5.23	7.34	10.73
MgO	16.24	16.70	16.28	15.14	16.26	16.40	15.02	3.22
MnO	0.14	0.05	0.14	0.05	0.05	0.09	0.13	0.09
Na2O	1.65	1.49	1.84	2.28	1.45	1.42	2.17	0.19
K2O	0.18	0.21	0.64	0.93	0.23	0.21	0.41	0.52
CaO	11.75	12.07	13.04	12.80	11.93	11.70	11.24	0.75
NiO	0.03	0.07	0.10	0.01	0.00	0.00	0.06	0.04
ZnO	0.00	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.87
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl			0.00	0.07				
Total	97.75	98.23	98.64	97.14	100.55	98.39	100.48	91.41

Liite 10 Jalosilikaattien koostumuksia

Paikka	Miessi	Miessi	Miessi	Miessi-Ollil Moberg		Haisujupuk	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara	Köysihaara
Koodi	1	1	1	I	D		N	N	N	N	N	N
näyte	1	1	1	13	10		7	7	7	7	7	7
AnalNo	13	25	26	3	5	8	1	2	4	15	16	17
Mineraali	Czo	Czo	Czo	Czo	Czo	Ep	Ep	Ep	Ep	Ep	Ep	Ep
SiO2	40.48	41.09	39.68	39.60	40.03	36.53	39.23	40.32	39.81	38.79	39.19	38.75
TiO2	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.22	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00
Al2O3	33.51	33.69	34.26	32.79	26.80	20.86	31.05	33.45	32.63	30.43	31.90	29.37
V2O3	0.09	0.03	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.03
Cr2O3	0.10	0.15	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00
FeO	0.68	0.79	0.63	2.29	1.31	7.35	2.20	0.14	1.31	2.04	0.10	4.63
MgO	0.02	0.04	0.03	0.00	3.49	2.75	0.05	0.00	0.03	0.04	0.00	0.11
MnO	0.02	0.05	0.01	0.19	0.08	0.02	0.29	0.01	0.00	0.41	0.02	0.05
Na2O	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
K2O	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
CaO	24.56	24.45	24.42	24.17	23.49	23.19	23.80	24.73	25.25	24.09	24.39	24.22
ZnO	0.00	0.08	0.00	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08	0.02	0.04	0.00
Cl	0.00	0.00								0.03	0.01	0.06
Total	99.53	100.46	99.19	99.17	95.29	90.93	96.68	98.74	99.14	95.90	95.71	97.22

Paikka	Köysihaara	Miessi-Ollil Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Moberg	Miessi-Ollil	Miessi-Ollil	Moberg	Moberg	Moberg	
Koodi	N	I	D	D	D	D	I	I	D	D	D	
näyte	7	13	3	3	3	3	6	4	6	6	6	
AnalNo	18	2	2	3	4	5	2	1	2	7	8	
Mineraali	Ep	Ep	Aln	Aln	Aln	Aln	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Sil
SiO2	40.35	39.18	29.97	31.31	32.15	32.85	39.36	36.80	39.05	38.78	38.71	36.89
TiO2	0.00	0.00	0.05	0.13	0.05	0.07	0.06	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
Al2O3	33.89	28.73	20.60	22.06	23.75	24.30	23.19	21.04	22.61	22.64	22.42	62.33
V2O3	0.02	0.00	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14
Cr2O3	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.03	0.00	0.10
FeO	0.12	6.57	4.99	4.38	4.81	4.86	27.66	21.93	26.39	31.32	31.45	0.23
MgO	0.01	0.00	0.54	0.60	0.58	0.55	9.31	8.19	9.43	5.98	5.50	0.03
MnO	0.04	0.28	0.30	0.34	0.32	0.32	0.45	0.44	0.48	1.04	1.12	0.00
Na2O	0.06	0.00	0.20	0.12	0.26	0.25	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.05
K2O	0.03	0.01	0.05	0.05	0.07	0.07	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
CaO	24.27	23.83	14.92	17.43	14.82	14.72	1.76	1.41	1.66	2.02	1.98	0.00
ZnO	0.05	0.08	0.00	0.07	0.03	0.03	0.02	0.10	0.07	0.10	0.05	0.00
Cl	0.01											
UO2							0.19					
ThO2							1.85	1.88				
La2O3							3.91	3.39				
Ce2O3							8.58	8.45				
Y2O3							0.73	0.41				
Nd2O3							2.41					
Total	98.83	98.68	71.60	76.56	91.94	94.75	101.85	89.95	99.78	101.94	101.29	99.77



Liite 11 Näytteiden D4 ja I8 zirkonisulkeumien isotooppisuhteet ja niiden perusteella lasketut iät

Group	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\rho$	Disc. % conv.	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm\sigma$	$f_{206}\%$
D4	10.49508	0.78	0.4354	0.70	0.88831	-12.54769	0.17484	0.36	2604.5	6.0	2479.5	7.3	2329.9	13.6	0.22
D4	10.33025	0.76	0.4324	0.70	0.91664	-12.53365	0.17327	0.30	2589.5	5.1	2464.8	7.0	2316.5	13.5	0.29
D4	10.46024	0.77	0.4424	0.70	0.91447	-9.76921	0.17147	0.31	2572.1	5.2	2476.4	7.1	2361.5	13.9	0.13
D4	8.39718	0.80	0.4389	0.72	0.89678	7.24450	0.13875	0.36	2211.7	6.2	2274.9	7.3	2345.9	14.2	0.91
D4	6.60564	0.77	0.3592	0.71	0.91801	-8.93066	0.13339	0.31	2143.1	5.3	2060.1	6.8	1978.2	12.1	0.07
D4	4.34729	3.68	0.3087	0.77	0.21060	4.90575	0.10212	3.60	1663.0	65.1	1702.4	30.8	1734.5	11.8	3.29
D4	13.17158	0.81	0.5120	0.70	0.87042	-2.12375	0.18659	0.40	2712.3	6.5	2692.0	7.6	2665.1	15.3	0.03
I8	5.24518	1.15	0.3258	1.12	0.97236	-5.36285	0.11676	0.27	1907.2	4.8	1860.0	9.8	1818.0	17.7	0.01
I8	5.32781	1.11	0.3307	1.09	0.98020	-4.01053	0.11684	0.22	1908.4	3.9	1873.3	9.5	1841.8	17.4	0.01
I8	5.41575	1.12	0.3361	1.10	0.98276	-2.49791	0.11688	0.21	1909.1	3.7	1887.3	9.7	1867.7	17.9	0.01
I8	5.04811	1.28	0.3129	1.25	0.97569	-9.32991	0.11701	0.28	1911.1	5.0	1827.4	10.9	1754.9	19.2	0.02
I8	5.28762	1.13	0.3286	1.12	0.99065	-4.48868	0.11670	0.15	1906.2	2.8	1866.9	9.7	1831.7	17.9	0.00