

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

Report of Investigation 175

2008



## Koillis-Kainuun kallioperä

Summary: Pre-Quaternary rocks of Northeast Kainuu



**GTK**

Perttu Mikkola

**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS**

Tutkimusraportti 175

**GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND**

Report of Investigation 175

*Perttu Mikkola*

**KOILLIS-KAINUUN KALLIOPERÄ**

*Summary: Pre-Quaternary rocks of Northeast Kainuu*

Espoo 2008

**Mikkola, P. 2008.** Koillis-Kainuun kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of Northeast Kainuu. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation 175*, 53 pages, 47 figures, 1 table, 5 appendices.

Eastern Finland office of Geological Survey of Finland mapped the bedrock of Northeast Kainuu in scale 1:200 000 during 2003–2008. Most of the bedrock in the area belongs to the Archean Karelian Province of the Fennoscandian Shield. South-north trending Suomussalmi and Kuhmo greenstone belts consist mainly of basic and ultrabasic volcanic rocks. Acid and intermediate volcanites together with sediments exist, but are less voluminous. Most of the material within the greenstone belts is aged 2.8 Ga, while the oldest known parts are 2.95 Ga. Outside the greenstone belts, the majority of the rocks consist of TTG suite rocks with crystallization ages varying from 2.95 to 2.72 Ga. TTGs were followed by 2.72 Ga old rocks of the sanukitoid suite and 2.7 Ga old quartz diorites. The quartz diorites were followed by large scale migmatization 2.7 Ga ago. In addition to the granitoids, the Archean bedrock outside the greenstone belt consists of amphibolites and migmatites of unknown protolith. Amphibolites are small remnants of the greenstone belts, old dykes or small mafic intrusions. Nurmes type paragneisses, deposited and migmatized 2.7 Ga ago, occur in the western parts of the area. All other Archean rocks are cut by 2.69 Ga old leucogranitoid veins and veinlets.

Porphyric leucogranite intrusions and dykes belong to the group of 2.44 Ga old A-type granitoids described from east Finland. Numerous pyroxene and hornblende diabases aged 2.44–1.98 Ga cut the Archean complex. The westernmost edge of the area consists of Paleoproterozoic Kainuu Schist Belt deposited on the Archean basement. The schist belt is mainly made of clastic sediments with minor volcanic parts. The schist belt and the basement near its contact are intruded by 2.2 Ga gabbroic sills. Faults younger than the diabases are seen as long narrow lakes or valleys.

The text is in Finnish, with figure and table captions and summary in English.

Keywords (GeoRef Thesaurus, AGI): areal geology, bedrock, metamorphic rocks, migmatites, greenstone belts, plutonic rocks, diabase, Paleoproterozoic, Archean, Suomussalmi, Puolanka, Hyrynsalmi, Kainuu, Finland

*Perttu Mikkola*  
*Geological Survey of Finland*  
*P.O. BOX 1237*  
*FI-70211 Kuopio, Finland*

*E-mail: [perttu.mikkola@gtk.fi](mailto:perttu.mikkola@gtk.fi)*

ISBN 978-952-217-060-6 (PDF)  
ISSN 0781-4240

Vammalan Kirjapaino Oy 2008

**Mikkola, P. 2008.** Koillis-Kainuun kallioperä. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 175*, 53 sivua, 47 kuvaa, 1 taulukko, 5 liitettä.

Geologian tutkimuskeskuksen Itä-Suomen yksikkö suoritti alueellisen kallioperäkartoituksen mittakaavassa 1:200 000 Koillis-Kainuun alueella vuosina 2003–2008. Kartta-alueen kallioperä kuuluu suurimmaksi osaksi Fennoskandian kilven arkeiseen Karjalan provinssiin. Pohjois-eteläsuuntaiset Suomussalmen ja Kuhmon vihreäkivivyöhykkeet koostuvat pääasiassa emäksisistä ja ultraemäksisistä vulkaniiteista, intermediäärisistä ja happamia vulkaniitteja sekä sedimenttejä esiintyy selvästi vähemmän. Suurin osa vihreäkivivyöhykkeen kivistä on 2,8 miljardin vuoden ikäisiä, vanhimmat tunnetut osat ovat kuitenkin 2,95 miljardin vuoden ikäisiä. Vihreäkivivyöhykkeen ulkopuolella pääosa kivistä on TTG-sarjan graniitoideja, joista saadut kiteytymisiät vaihtelevat 2,95–2,72 miljardin vuoden välillä. Alueella esiintyy 2,72 miljardin vuoden ikäisiä sanukitoidisarjan graniitoideja sekä 2,7 miljardin vuoden ikäisiä kvartsidioriittisia kiviä. Granitoidien laaja-alainen migmatisaatio on tapahtunut noin 2,7 miljardia vuotta sitten. Granitoidien lisäksi vihreäkivivyöhykkeen ulkopuolella esiintyy amfiboliitteja ja alkuperältään epäselviä migmatiitteja. Amfiboliitit ovat todennäköisesti pieniä vihreäkivivyöhykkeiden riekaleita, vanhoja juonia ja pieniä mafisia intrusioita. Alueen länsiosissa esiintyy myös Nurmes-tyypin paragneissejä, jotka ovat kerrostuneet ja migmatisoituneet noin 2,7 miljardia vuotta sitten. Kaikkia alueen arkeisia kiviä leikkaavat leukogranitoidijuonet ja -suonet, joiden ikä on 2,69 miljardia vuotta.

Alueen porfyriiset leukograniitti-intruusiot ja juonet kuuluvat Itä-Suomesta kuvattuihin 2,44 miljardin vuoden ikäisiin A-tyypin graniitoideihin. Arkeista pohjaa leikkaavat lukuisat pyrokseeni- ja sarvivälkediabaasit, jotka ovat iältään 2,44–1,98 miljardia vuotta. Alueen länsilaidan kallioperä kuuluu proterotsooiseen Kainuun liuskejaksoon, joka koostuu arkeisen kuoren päälle kerrostuneista klastisista sedimenteistä ja vähäisistä vulkaanisista osista. Liuskejaksoon ja arkeiseen pohjaan kontaktin läheisyydessä on tunkeutunut 2,2 miljardia vuotta sitten gabroja kerrosjuoniksi. Diabaaseja nuoremmat siirrokset näkyvät monin paikoin pitkinä ja kapeina järvinä tai laaksoina.

Asiasanat (Geosanasto, GTK): aluegeologia, kallioperä, metamorfiset kivet, migmatiitit, vihreäkivivyöhykkeet, syväkivet, diabaasi, geokemia, paleoproterotsooinen, arkeinen, Suomussalmi, Puolanka, Hyrynsalmi, Kainuu, Suomi

*Perttu Mikkola*  
*Geologian tutkimuskeskus*  
*PL 1237*  
*70211 Kuopio*

Sähköposti: [perttu.mikkola@gtk.fi](mailto:perttu.mikkola@gtk.fi)

## SISÄLLYSLUETTELO – CONTENTS

1	JOHDANTO .....	5
2	TUTKIMUSALUE, -MENETELMÄT JA -AINEISTOT .....	5
2.1	Kartta-alueen rajausta ja koordinaatisto .....	5
2.2	Aikaisemmat tutkimukset ja niiden hyödyntäminen kartassa .....	7
2.3	Havaintoaineisto .....	7
2.4	Pro gradu -työt .....	8
2.5	Työvaiheet ja tekijät .....	8
2.6	Tallennusmenetelmät .....	10
2.7	Aineiston arkistointi .....	10
3	GEOLOGIA .....	10
3.1	Kallioperän yleispiirteet .....	10
3.2	Kivilajit .....	11
3.2.1	Arkeiset migmatiitit .....	11
3.2.2	Arkeiset syväkivet .....	17
3.2.3	Arkeiset vihreäkivet .....	24
3.2.4	Varhaisproterotsooiset intrusiiviset kivilajit .....	28
3.2.5	Kainuun liuskejakson kivilajit .....	32
3.2.6	Kvartsijuonet .....	33
3.2.7	Iältään määrittelemättömät ultramafiset kivet .....	34
3.3	Geokemia .....	34
3.4	Muuttuminen ja proterotsooisen deformaation vaikutus .....	41
3.5	Taloudelliset aiheet .....	45
3.6	Jatkotutkimusaiheita .....	46
3.7	Retkeilykohteita .....	46
3.8	Kiitokset .....	48
4	SUMMARY .....	47
	KIRJALLISUUSLUETTELO .....	51

### LIITTEET:

Liite 1. Aeromagneettinen kartta

Liite 2. Analyysinäytteiden ja valokuvien ottopaikat

Liite 3. Geokemian diagrammeissa käytetyt kalliogeokemian tietokannan analyysit

Liite 4. Geokemian analyysit, näytteiden koordinaatit ja kivilajit

Liite 5. Koillis-Kainuun kallioperäkartta 1:200 000

## 1 JOHDANTO

Tämä raportti ja sen liitteenä oleva kallioperäkartta kuvaavat Koillis-Kainuun kallioperää mittakaavassa 1:200 000. Raportti liitteineen on saatavilla vain verkkojulkaisuna ja ladattavissa Geologian tutkimuskeskuksen verkkosivuilta (<http://www.gtk.fi/>).

Kartasta työstetään myös versio osaksi valtakunnallista kallioperäkattatietokantaa (mittakaava 1:200 000), jonka ensimmäisen version on suunniteltu valmistuvan vuoden 2009 lopussa. Asiasisällöltään ja kivilajien nimeämiseltään tämä raportti liitekarttoineen on varsin lähellä tulevan karttatietokannan ratkaisuja, mutta tiettyjä eroavaisuuksia esiintyy. Erot johtuvat karttatietokannan määrittelyjen valmistumisesta vasta tämän työn loppuvaiheissa. Tietyissä asioissa kartta ja raportti ovat lähempänä vuosina 1948–2007 mitakaavassa 1:100 000 laadittua karttasarjaa.

Kartoitustyö on tehty osana Väli-Suomen kallioperäkartoitushanketta Geologian tutkimuskeskuksen

Itä-Suomen yksikössä. Töistä on koko ajan vastannut kirjoittaja ja siihen on osallistunut kallioperäkartoitushankkeen tutkimusavustajia, geologeja sekä kausiapulaisina toimineita geologian opiskelijoita.

Tämän raportin lisäksi kertynyttä aineistoa on käytetty yhteen valmistuneeseen (Heilimo 2006) ja kahteen tekeillä olevaan (Samppa Bernelius ja Paula Salminen, Helsingin yliopisto) pro gradu -työhön. Alueen kivistä on pidetty työn aikana muutamia esitelmiä (Mikkola 2007, Mikkola ja Huhma 2008) ja julkaistu artikkeli Kaapinsalmen sanukitoidista (Heilimo ja muut 2007). Kartta-alueen kivistä on lisäksi vielä tekeillä tai suunnitteilla TTG-sarjan geokemiaa, ikämääriä, leukogranitoidien geokemiaa sekä porfyyrisiä leukogranitteja käsittelevät erillisjulkaisut. Tulevien erillisjulkaisujen johdosta tiettyjä asioita (geokemia, ikämääriä) käsitellään tässä raportissa melko suppeasti.

## 2 TUTKIMUSALUE, -MENETELMÄT JA -AINEISTOT

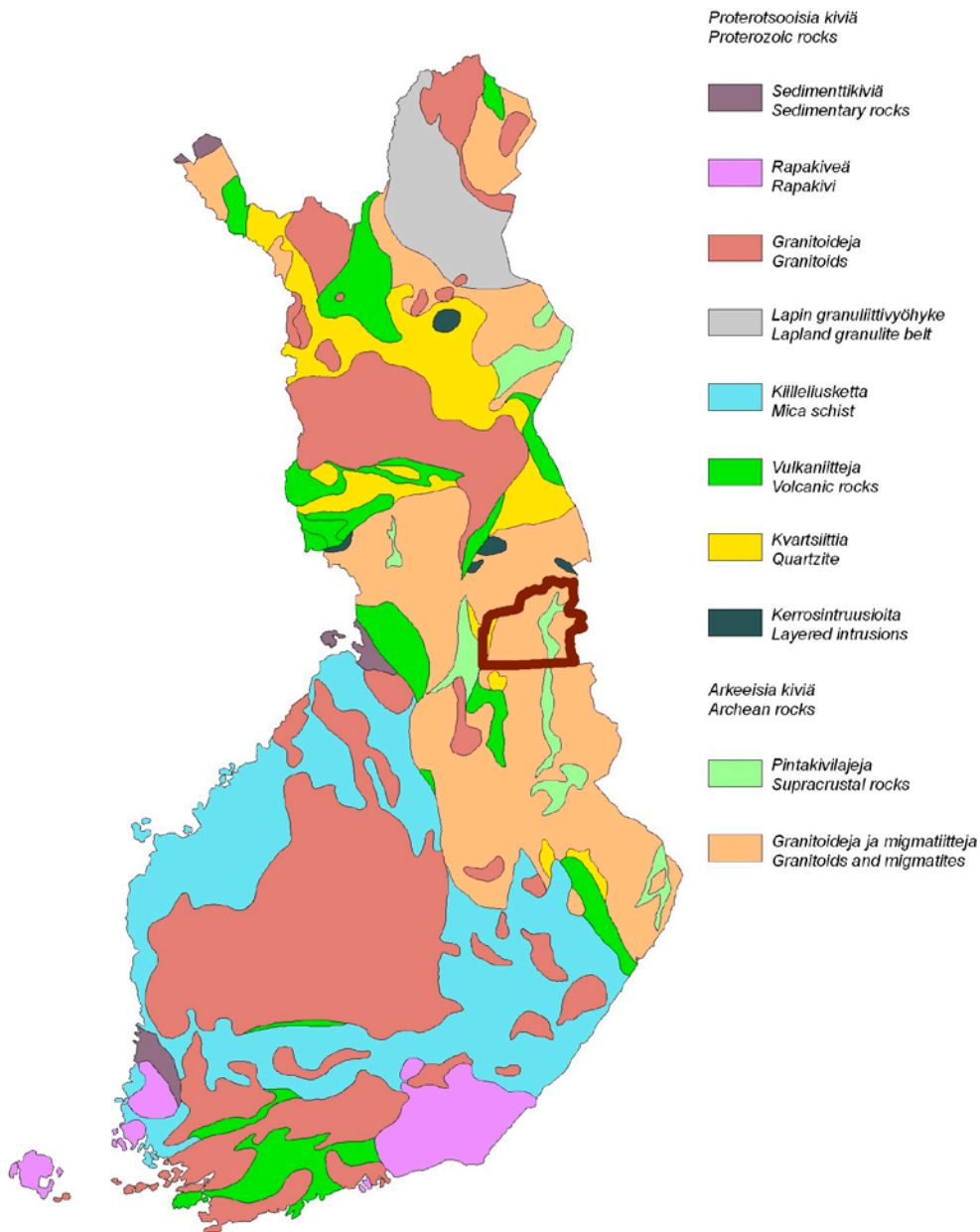
### 2.1 Kartta-alueen rajausta ja koordinaatisto

Kartoitettu alue on kooltaan noin 5 540 km<sup>2</sup> ja se sijoittuu suurimmalta osaltaan Suomussalmen kunnan alueelle, läntiset osat kuuluvat Puolangan ja Hyrynsalmen kuntiin. Geologisesti tutkimusalueesta noin 4 900 km<sup>2</sup> kuuluu erilaisten migmatiittien ja granitoidien hallitsemaan osaan arkeisesta pohjakompleksista. Noin 300 km<sup>2</sup> kuuluu sekä arkeiseen Suomussalmi–Kuhmo-vihreäkivivyöhykkeeseen että proterotsooiseen Kainuun liuskejaksoon. Kuvassa 1 on esitetty kartoitusalueen rajat Suomen kallioperäkartalla.

Uuden UTM-karttalehtijaon mukaisesti alue sijoittuu lehdille R51, R52, R53, R54, S51 ja S53. Vanhan kansallisen karttajärjestelmän mukaisesti alue

sijaitsee karttalehdillä 3444 Lylykylä, 3533 Näljänkä, 4422 Suomussalmi, 4424 Raate, 4511 Kiannanniemi, 4512 Peranka, 4513 Juntusranta ja 4514 Hossa. Kyseisiltä karttalehdiltä ei ole tehty 1:100 000-mittakaavaisia kallioperäkartoja. Tutkimusalue määriteltiin alun perin kattamaan edellä mainituista karttalehdistä osa, joka kuuluu Suomussalmen, Hyrynsalmen ja Puolangan kuntiin. Lopullisessa kartassa on oikaistu kunnanrajojen pienimmät mutkat.

Tässä raportissa liitteineen on käytetty uutta EU-REF-FIN (UTM35) koordinaatistoa. Myös karttalehtiruudut on annettu uuden eurooppalaisen jaon mukaisina.



Kuva 1. Kartoitusalue ruskealla rajattuna Suomen kallioperäkartalla. Pohjakartta yksinkertaistettu Korsmanin ja muiden (1997) kartasta.

Figure 1. Mapped area bordered with brown on the bedrock map of Finland. Base map simplified from Korsman et al. (1997).

## 2.2 Aikaisemmat tutkimukset ja niiden hyödyntäminen kartassa

Alueen kallioperä on aiemmin kartoitettu mittakaavassa 1:400 000 ja se kuuluu pääasiassa lehteen D5 Suomussalmi (Matisto 1954) ja läntiseltä reunaltaan lehteen C5+B5 Oulu ja Tornio (Enkovaara ja muut 1952). Näihin lehtiin on tehty myös karttalehtiselitykset (Matisto 1958, Enkovaara ja muut 1953).

Ensimmäisen alueellisen kallioperäkartoituksen jälkeen tutkimukset alueella ovat kohdistuneet lä-

hinnä vihreäkivivyöhykkeelle sen malmipotentialisuuden johdosta. Oulun yliopiston geologian laitoksen malmiprojektit työskentelivät alueella 1970- ja 1980-luvuilla (Paakkola ja muut 1981, Piirainen 1985). Lisäksi Outokumpu Oy ja myöhemmin sen töitä jatkaneet yhtiöt ovat tutkineet vihreäkivivyöhykettä paikoin erittäin perusteellisesti (OKURAPORTIT).

GTK:n Itä-Suomen yksikön Itä-Suomen arkeiset alueet -hanke I työskenteli vihreäkivivyöhykkeellä käytännössä koko 1990-luvun (Luukkonen ja muut 2002). Projektin tuloksena tehtiin yksityiskohtainen, mutta julkaisematon kartta vihreäkivivyöhykkeen alueesta. Kartan vihreäkivivyöhykettä esittävä osa perustuu Itä-Suomen arkeiset alueet -hankkeen kartasta Erkki Luukkosen vuonna 2007 tekemään versioon, jota on mittakaavan johdosta voimakkaasti yleistetty. Alkuperäinen yksityiskohtainen kartta tallennetaan aikanaan GTK:n karttatietokantaan projektikarttana. Erityisesti vihreäkivivyöhykkeestä kiinnostuneen kartan käyttäjän kannattaa käyttää tuota tarkempaa versiota. Mittakaavassa 1:200 000 pystytään esittämään vain vihreäkivivyöhykkeen pääpiirteet. Lisäksi tulossa on uusi yhteenveto Tipasjärven, Kuhmon ja Suomussalmen vihreäkivijaksojen geologiasta (Papunen ja muut 2008).

Vihreäkivivyöhykkeen ulkopuolella töitä ovat suorittaneet lähinnä muutamat ulkomaiset timantintetsintäyhtiöt, joiden Kauppa- ja teollisuusministeriön

valtausraporttiarkistoon (VALTRAP) toimittamista valtausraporteista käytettiin 22:ta. Useimpiin käytettyihin raportteihin liittyvät kairasydämet olivat lisäksi nähtävissä Lopen kairasydänarkistolla, jossa ne käytiin raportoimassa.

Kainuun liuskejakson alueesta oli töiden alkaessa olemassa julkaisun liitekartta (Laajoki 1991) mitta-kaavassa 1:100 000. Lisäksi työn aikana valmistui Kainuu–Outokumpu-alueen tektonostratigrafinen kartta (Kontinen 2008). Liuskejakson alueella tehtiin tämän takia vain vähäisiä töitä kontaktialueiden selventämiseksi. Näiltä osilta kartta on geofysiikan (kerrosjuonet) avulla tarkennettu yhdistelmä Laajoen (1991, 2005) ja Kontisen (2008) töistä, sekä Asko Kontisen kanssa käydyistä keskusteluista.

GTK:n litogeokemiaprojektin (Rasilainen ja muut 2007) alueelta tekemät 98 analyysiä olivat myös alusta asti käytettävissä havaintolomakkeineen. Mahdollisuuksien mukaan analyysinäytteiden paikat käytiin tarkistamassa maastossa ja hienäytteillä samoista kallioista varmistettiin kivilajimääryityksiä.

### 2.3 Havaintoaineisto

Ennen maastotöiden aloitusta alueelta oli GTK:n tietokannoissa noin 4 550 rakennuskivi- ja malmitutkimuksien sekä kallioperäkartoituksen yhteydessä tehtyä kallioperähavaintoa. Näitä käytettiin työssä soveltuvin osin.

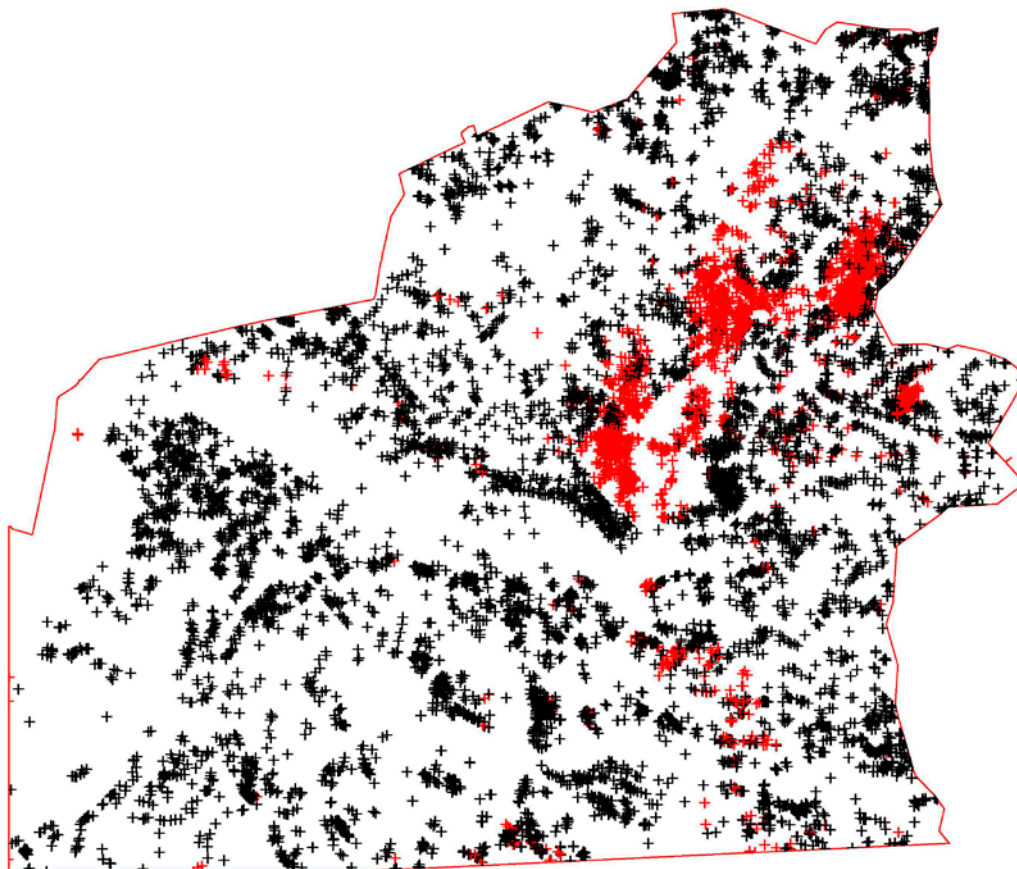
Projektin aikana tehtiin 8 095 kallioperähavaintoa ja kerättiin noin 3 500 kiviä. Huonosti tai korkeintaan kohtuullisesti paljastuneilla alueilla kiertettiin kaikki Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan merkityt paljastumat. Huonoiten paljastuneilla alueilla suoritettiin myös jonkin verran paljastumien etsintää. Parhaiten paljastuneilla alueilla kartoitus toteutettiin profiileina rakenteiden yleisen kulun poikki. Koko alueelle laskettuna tehtiin 1,6 uutta havaintoa

neliökilometrille. Kuvassa 2 on esitetty paljastumahavaintojen jakautuminen alueelle. Hankkeen omien havaintojen lisäksi käytössä oli myös geologi Mauri Niemelän kesällä 2003 Kuhmon vihreäkivijakson pohjoispäästä ja sen ympäristöstä vuolukivitutkimusten yhteydessä tekemät 87 paljastumahavaintoa.

Kaikki hieet valmistettiin GTK:n Kuopion hielaboratoriossa. Kemialliset analyysit (XRF, ICP-MS, hiilianalysointori) tehtiin Geologian tutkimuskeskuksen geolaboratoriossa (1.9.2007 alkaen Labtium Oy).

Koko kartoitusalueelta oli käytettävissä GTK:n matalalentogeofysiikka, jota prosessoiti hankkeen tarpeisiin geofysikko Jouni Lerssi GTK:n Itä-Suomen yksiköstä.





Kuva 2. Havaintopisteiden sijoittuminen kartoitusalueella, punaisilla rasteilla merkittynä Win-Kalpeassa olleet ennen vuotta 2003 tehdyt havainnot ja mustilla rasteilla merkittynä kartoituksen aikana tehdyt uudet havainnot.  
*Figure 2. Distribution of the observation locations. Red crosses mark the observations done before 2003 and black crosses mark the observations done during the mapping.*

## 2.4 Pro gradu -työt

Helsingin yliopiston geologian laitoksella on valmistunut hankkeen keräämiin aineistoihin perustuen Esa Heilimon pro gradu -työ (2006), jossa hän tutki Kaapinsalmen sanukitoidi-intruusion geokemiaa, petrografiaa ja suhdetta ympäröiviin kiviin. Työssä osoitettiin Kaapinsalmen intruusion selvä sanukitoidinen luonne sekä rajattiin se ja sitä reunustavat erityyppiset granitoidit. Työn keskeisimmät tulokset on esitetty myöhemmin erillisjulkaisussa (Heilimo ja muut 2007).

Viimeistelyvaiheessa on Samppa Berneliuksen (Helsingin yliopisto) pro gradu -työ, jossa tutkitaan

puolestaan alueen diabaaseja, erityisesti niiden mineralogialla ja termobarometriaa sekä näiden mahdollisista käyttöä proterotsooisten lohkoliikuntojen tutkimiseen alueella.

Lisäksi kesken on vielä Likamännikön alkalikivi-intruusiota käsittelevä pro gradu -työ (Paula Salmi, Helsingin yliopisto), jossa tullaan kuvaamaan kyseinen erikoisuus mineralogian, mineraaliekemian, geokemian ja isotooppitutkimuksen keinoin ja pyritään mahdollisuuksien mukaan selvittämään sen syntyä ja kehitystä.

## 2.5 Työvaiheet ja tekijät

Vuoden 2003 alussa koottiin kaikki saatavilla ollut tieto alueelta ja laadittiin siitä kartan ensimmäinen versio. Kesällä 2003 suoritettiin teiden varsilta lisäksi koko alueen kattavan alustavan kartoituksen, myös järjestelmälliset kenttätyöt aloitettiin pienimittakaavaisesti kesällä 2003. Pääosa kenttätöistä tehtiin vuosina 2004–2006. Kenttätöihin eri vuosina osallistuneiden geologien, tutkimusavustajien ja kau-

siapulaisten nimet, nimimerkit ja heidän tekemiensä havaintojen lukumäärä on esitetty taulukossa 1. Kunkin henkilön työskentelyalueet on esitetty kuvassa 3. Kenttätöihin käytettiin viiden kesän aikana yhteensä 79 henkilötyökuukautta.

Karttaa on laadittu jatkuvan tekemisen periaatteella, eli sitä muokattiin tietokoneen näytöllä tehtyjen havaintojen mukaan, jo kenttäkauden kuluessa.

Taulukko 1. Kenttätöihin osallistuneet henkilöt, heidän nimimerkkinsä ja vuosittaiset havaintomääränsä.  
 Table 1. Persons who participated in the mapping, their initials and yearly number of observations.

Nimi	Nimimerkki	2003	2004	2005	2006	2007	Yhteensä
Brita Birgitta Telenvuo	BBT\$		298	298	346		942
Esa Ilari Pohjolainen	EIPO		309	434			743
Esa Petteri Heilimo	EPHE		372	360	393		1125
Heta Maria Lampinen	HMLA		332				332
Jukka Jari Eskelinen	JJES			169	243		412
Keijo Kalevi Kinnunen	KKK\$	263	275	223	274		1035
Kaisa Riitta Ilona Romu	KRRO		192		38		230
Mikko Antero Nikkilä	MANI		262				262
Maria Matilda Favorin	MMFA			304			304
Mauri Luukkonen	MTL1	263					263
Paula Elisa Salminen	PESA					75	75
Perttu Ilari Mikkola	PIM\$	683	283	194	201	21	1382
Reino Olavi Kesola	ROK\$		96	20	73		189
Samppa Olavi Bernelius (os. Mäkelä)	SOMA				290	70	360
Tuomo Tapani Karinen	TTK1		206	141			347
Viena Irmeli Huovinen	VIHU			94			94
		1209	2625	2237	1858	166	8095



Kuva 3. Kenttätöihin osallistuneiden henkilöiden kartoitusalueet, harmaalla merkityillä alueilla ei aiempien tutkimusten johdosta tehty järjestelmällisiä maastotöitä.  
 Figure 3. Areas mapped by various persons. Due to previous works, no systematic fieldwork was carried out on areas marked grey.

Tällöin kausiapulaisten havainnot olivat tuoreessa muistissa ja heidän kanssaan pystyttiin keskustelemaan kivilajeista ja niiden suhteista. Talvikausina karttaa tarkennettiin edelleen hieiden ja analyysien perusteella.

Karttaan liittyviin töihin talvikuukausina osallistuivat lisäksi lähinnä tutkimusavustajat Keijo Kinnunen ja Mauri Luukkonen. Kinnunen valmisti suurimman osan tarvituista hieistä yhdessä Kuopion hielaboratorion muun henkilökunnan kanssa. Luukkonen puolestaan suoritti näytteiden petrofysikaaliset mittaukset, tallensi havaintoja, avusti näytteiden käsittelyssä ja muissa sisätöissä aina tarpeen mukaan. Tutkimusavustaja Tarja Neuvonen tallensi osan havainnoista. Määräaikaisina palkattuina olleet

geologit Tuomo Karinen (syksyt 2004 ja 2005) ja Esa Heilimo (kevät 2007) suorittivat hietutkimuksia, käsittelivät analyysyjä, kävivät läpi timanttiyhtiöiden valtausraportteja sekä tekivät muita kartan tekoon liittyviä töitä.

Talvella 2006–2007 kävin vielä läpi koko kertyneen havainto- ja näytemateriaalin revidointitarpeen määrittämiseksi. Samalla aloitin kartan työstämisen ”oikeaksi” kallioperäkartaksi päällemerkintöineen ja kuvaustekniikkoineen. Kesällä 2007 suoritettiin vielä jonkin verran tarkentavaa kartoitusta, koko alueen kattanut revidointikartoitus sekä Likamännikön tarkemmat paljastumatutkimukset. Liitekarttojen layouteista sekä moninaisista teknisistä viimeistelyistä huolehti kartanpiirtäjä Raija Väänänen.

## 2.6 Tallennusmenetelmät

Vuosina 2003–2006 havainnot tallennettiin tietokantoihin pääosin PcKalpea-ohjelmistoa käyttäen. Kausiapulaisten havainnot tallennettiin kenttäkauden aikana tukikohdassa, jolloin ne pystyttiin siirtämään syksyllä valmiiksi tarkastettuina WinKalpea-tietokantaan. Havaintokohteiden paikannukset tehtiin koko työn ajan GPS-laitteilla (Garmin 12XL) ilman differentiaalikorjausta. Havaintopisteiden koordinaatit siirrettiin GPS-laitteiden ja PcKalpean välillä käyttäen Waypoint-ohjelmaa sekä GTK:n ArcView-

ekstensioita. Kartoittajat ohjeistettiin myös tallettamaan päivittäiset kulkureittinsä tietokoneelle mahdollista myöhempää tarvetta varten.

Kesällä 2006 osa havainnoista (PIM\$, JJE\$) tehtiin käyttäen Geotietoytimen (GTY) maastoliittymän ensimmäistä ArcPad-pohjaista versiota ja Panasonic Toughbook -maastotallenninta. Kesän 2007 revidointi- ja tarkennuskartoituksessa oli käytössä uusi ArcMap-pohjainen versio Geotietoytimen maastoliittymästä (Kapalo).

## 2.7 Aineiston arkistointi

Kartoitustyön aikana kertynyt aineisto arkistoidaan GTK:n sisäisten ohjeiden mukaisesti työn valmistuttua. Havaintoaineisto on tallennettu kokonaisuudessaan tarkistettuna GTK:n kallioperähavaintotietokantaan. Teetetyt ohutheet säilytetään Itä-Suomen yksikön hiarkistossa. Kivinäytteistä toimitetaan Lopen kairasydänarkistoon kaikki, joista on teetetty

hie ja/tai analyysi sekä lisäksi valikoidut tyyppinäytteet alueelta. Likamännikön alueen kairasydämet keväältä 2008 on toimitettu Lopelle ja niiden raportit tallennetaan kairatietokantaan, kuten myös Lopella raportoitujen timantinetsintäyhtiöiden kairasydämistä laaditut raportit. Kartan sähköinen versio tallennetaan GTK:n projektikarttatietokantaan.

# 3 GEOLOGIA

## 3.1 Kallioperän yleispiirteet

Kartan esittämä alue sijaitsee Fennoskandian kilvellä, arkeisella Karjalan kratonilla. Kuhmon ja Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeet kulkevat alueen poikki etelä-pohjois-suuntaisena 1–10 kilometriä leveänä nauhana Suomussalmen kirkonkylän itäpuolitse. Kiannanniemen kylän pohjoispuolella Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeestä haarautuu itään Tormuan liuskejakso, joka Venäjän rajan läheisyydessä kääntyy pohjoiseen. Vihreäkivivyöhyke

koostuu komatiittisista kumulaateista, emäksisistä vulkaniiteista ja vähäisemmistä määristä happamampia vulkaniitteja sekä sedimenttikiviä. Kartan etelälaidassa on Kuhmon vihreäkivijakson pohjoispää, joka kivilajeiltaan muistuttaa Suomussalmen vastaavia kiviä.

Vihreäkivivyöhykkeiden ulkopuolella arkeinen pohjakompleksi koostuu protoliitiltään vaihtelevista migmatiiteista, osin migmatisoituneista TTG-gneis-

seistä, sanukitoidisarjan granitoideista, paragneiseistä ja leukogranitoideista. Arkeiset rakenteet ovat tyypillisesti likimain pohjois-etelä-suuntaisia ja vain paikallisia poikkeamia tästä trendistä esiintyy.

Kartta-alueen länsilaidassa sijaitsevan proterotsooisien Kainuun liuskejakson kontaktit pohjakompleksiin ovat tektoniset, tai ainakin jossain määrin tektonisoituneet. Liuskejakso koostuu klastisista sedimenteistä, kerrosjuonista ja vähäisistä mafisista vulkaniiteista.

Alueen lounaiskulmassa sijaitsee Rasinkylän porfyriininen leukogranitiitti-intruusio ja Ämmänsaaren luoteispuolella saman ikäiseksi tulkittu Ryysyrannan intruusio. Lisäksi alueella tavataan saman koostumuksisia porfyriisiä graniittijuonia. Intruusio ja juonet vastaavat mineralogialtaan ja koostumukseltaan muita Itä-Suomesta kuvattuja varhaisproterotsooisia A-tyyppin granitoideja ja ovat oletettavasti myös samanikäisiä eli noin 2,44 miljardia vuotta (tämän jälkeen Ga).

Alueen arkeista kallioperää leikkaavat lukuisat diabaasijuonet, jotka ovat iältään 2,44–1,98 Ga. Pääosa juonista on kaakko-luode-suuntaisia, jonkin verran esiintyy myös etelä-pohjoisia ja itä-läntisiä

juonia. Kainuun liuskejakson lähellä proterotsooinen deformaatio on paikoin kääntänyt juonien suuntaa.

Proterotsooinen deformaatio ei ole alueella luonteeltaan läpikotaista, lukuun ottamatta Kainuun liuskejakson kontaktialuetta. Muualla deformaatio keskittyy kapeisiin ruhjevyöhykkeisiin, joissa ja joiden ympäristössä esiintyy vaihtelevissa määrin metasomaattista muuttumista.

Arkeisen pohjan alueella maasto on muodoltaan melko loivasti kumpuilevaa ja paikalliset korkeuserot ovat vain muutamia kymmeniä metrejä, korkeuden merenpinnasta vaihdellen useimmiten 200 ja 300 metrin välillä. Kainuun liuskejakson kvartsiittiset vaarat alueen länsilaidassa kohoavat jopa 200 metriä ympäristöään korkeammalle. Korkein paikka on Siikavaaran huippu 387 metriä merenpinnan yläpuolella ja matalimmat alueet ovat Korpiojen rannat noin 130 metriä merenpinnan yläpuolella. Paljastuneisuus alueella vaihtelee voimakkaasti kuten kuvasta 2 voi todeta. Laajat hiekkakankaat ja toisaalta matalat soistuneet alueet ovat käytännössä kokonaan peitteisiä, lisäksi Kainuun liuskejakson muodostamat korkeatkin vaarat ovat huonosti tai erittäin huonosti paljastuneita.

## 3.2 Kivilajit

### 3.2.1 Arkeiset migmatiitit

#### 3.2.1.1 Tonalittigneissi

Nimeä tonalittigneissi on alueella käytetty alkuperältään epäselvistä, migmatiittisista kivistä. Näiden joukossa on oletettavasti yhtä lailla runsaasti leukosomia sisältäviä amfiboliitteja, syväkiviä kuin paragneissejäkin. Tonalittigneissiä esiintyy koko kartan alueella, mutta vihreäkivivyöhykkeen länsipuolella se on kuitenkin huomattavasti itäpuolta runsampi.

Useimmiten migmatiittinen rakenne on vaihtelevasti raitainen (kuva 4), vaihettuen sulamisasteen kasvaessa schlierenin kautta edelleen nebuliittiseen

(kuva 5). Päämineraaleina esiintyy vaihtelevasti plagioklaasia, kvartsia, biotiittia, sarvivälkettä ja sekundääristä epidoottia. Aksessorisina mineraaleina esiintyvät kalimaasälpä, titaniitti, apatiitti, muskoviitti, opaakit, karbonaatti, kloriitti, rutiili ja zirkoni. Mineralogia vaihtelee suuresti pienelläkin alueella. Ominaista kiville ovat muodoltaan pyöreähköt amfiboliittiset sulkeumat, joiden koko on tyypillisesti muutamia kymmeniä senttejä.

Kenttähavaintojen perusteella osa tonalittigneissien ja amfiboliittien migmatisaatiosta on TTG-sarjan magmatismen viimeisiä vaiheita vanhempaa (kuva 6). Tämän vanhemman migmatisaation ikää ei alueelta ole toistaiseksi koetettukaan määrittää.



Kuva 4. Voimakkaasti raitainen tonaliittigneissi havaintokohteella PIMS-2003-497 (R5232E, E=564 864, N=7210 663). Tummissa raidoissa biotiitin ja sarvivälkkeen osuudet vaihtelevat ja kivi sisältää vaihtelevan kokoisia amfiboliittisulkeumia. Kuvan oikeassa laidassa leikkaava leukogranitiittinen juoni. Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 4. Strongly banded tonalite gneiss at observation location PIMS-2003-494. Amounts of biotite and hornblende vary in dark bands and the rock includes amphibolite enclaves of varying size. Crosscutting leucogranitic vein in the right side of the picture. Length of the compass 12 cm.*



Kuva 5. Nebuliittinen tonaliittigneissi havaintokohteella PIMS-2003-50 (S5314A, E=621 129, N=7258 327). Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 5. Nebulitic tonalite gneiss at observation location PIMS-2003-50. Length of the compass 12 cm.*



Kuva 6. Tonalittigneissin vanhempaa migmatisaatiota leikkaava TTG-sarjaan kuuluva tonaliitti havaintokohteella HMLA-2004-174 (R5421D, E=607 926, N=7227 169). Kompassin pituus 12 cm. Kuva: Heta Lampinen.  
*Figure 6. TTG series tonalite crosscutting older migmatization of tonalite gneiss at observation location HMLA-2004-174. Length of the compass 12 cm. Photo by Heta Lampinen.*

### 3.2.1.2 Amfiboliitti

Koko alueella tavataan muissa kivissä amfiboliittia sulkeumina, joiden koko vaihtelee muutamasta sentistä kilometrien pituisiin nauhamaisiin kappaleisiin. Luukkonen (1988, 2001) käyttää näistä kivistä nimeä raitainen amfiboliitti. Alkuperältään ne ovat vihreäkivijaksojen jäänteitä, arkeisia emäksisiä juonia tai pienehköjä emäksisiä intruusioita.

Kivet ovat vaihtelevasti migmatisoituneita (kuvat 7 ja 8) ja melko vahvasti deformatuneita. Leukosomi on useimmiten raitoina liuskeisuuden tasossa tai loivasti breksioivana verkkona. Mitään varmuudella alkuperään viittaavia rakenteita kivistä ei ole tunnistettavissa. Muutamilla paljastumilla on havaittavissa koostumusvaihtelua, joka saattaa olla alkuperäistä kerroksellisuutta tai metamorfoosin ja muuttumisen aiheuttamaa raitaisuutta (kuva 8).

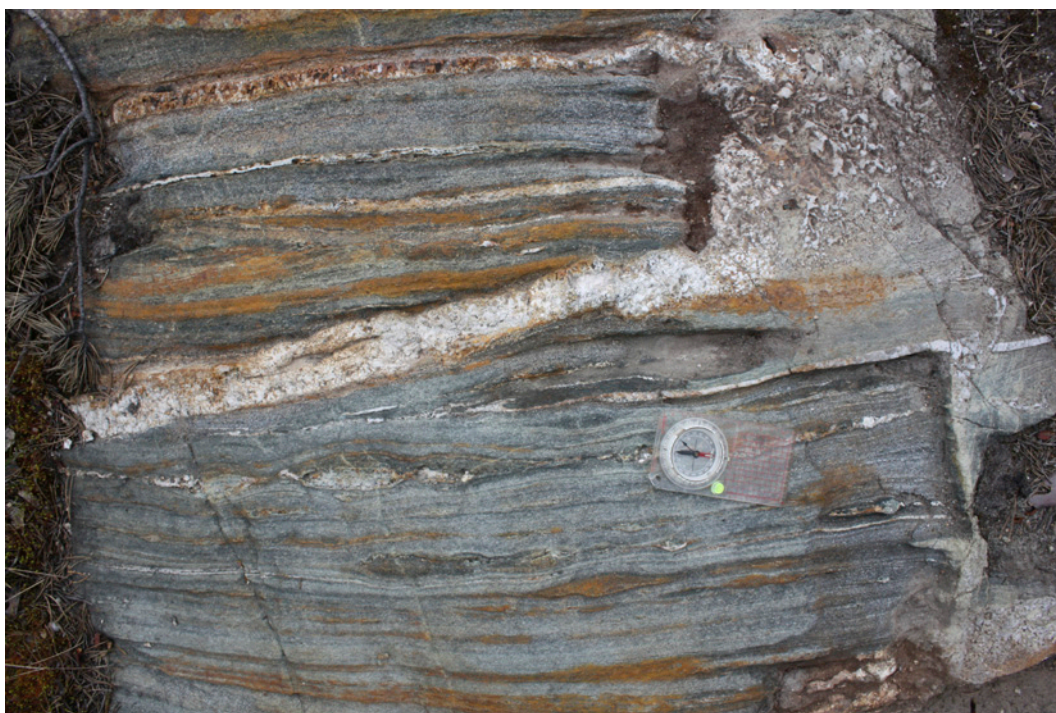
Mikroskoopilla tarkasteltuna amfiboliitit ovat rakenteeltaan tyypillisesti granoplastisia, pääasiassa

plagioklaasista ja sarvivälkkeestä koostuvia kiviä. Aksessorisina mineraaleina esiintyy tavallisesti kvartsi, biotiittia, epidootia, apatiittia, titaniittia, kloriittia ja opaakkeja. Tavallisimmat opaakkimineraalit ovat rautakiisut, magnetiitti ja ilmeniitti. Lisäksi muutamissa hieissä on granaattia tai klinopyrokseenia. Granaattipitoiset hieet ovat molemmat Ämmänsaaren länsipuolelta karttalehdeltä R5233. Klinopyrokseenia sisältävät näytteet sijoittuvat puolestaan vihreäkivivyöhykkeen itäpuolelle. Leukosomit ovat koostumukseltaan tyypillisesti trondhjemittisiä.

Kuten muuallakin, myös Koillis-Kainuun alueella on ilmeistä että amfiboliitit edustavat sekä vulkaanista että juonimateriaalia. Osa amfiboliiteista esiintyy niin selvän juonimaisesti syväkiven sisällä (kuva 17), että muut vaihtoehdot vaikuttavat epätodennäköisiltä. Toisaalta osassa on mahdollisesti nähtävissä kerroksellista koostumusvaihtelua (kuva 8) ja näillä paikoin amfiboliitit edustanevatkin vihreäkivivyöhykkeiden riekaleita.



Kuva 7. Verkkomaisesti migmatisoitunut amfiboliitti havaintokohteella PIMS-2003-364 (R5243G, E=590 951, N=7222 665). Trondhjemiittinen neosomi leikkaa hyvin heikosti raitaista amfiboliittia. Numeroteipin pituus noin 12 cm.  
*Figure 7. Migmatized amphibolite with agmatic structure at observation location PIMS-2003-364. Leucotonalitic neosome crosscuts very weakly banded amphibolite. Length of the tape circa 12 cm.*



Kuva 8. Migmatisoitumaton amfiboliitti, jota leikkaa leukogranitoidi havaintokohteella KKK1-2004-8 (R5234C, E=583 549, N=7211 560). Kivessä on havaittavissa kerroksellista koostumusvaihtelua, joka saattaa olla alkuperäistä kerroksellisuutta. Kompassin pituus 12 cm.  
*Figure 8. Unmigmatized amphibolite cut by leucogranitoid at observation location KKK1-2004-8. Rock has compositional differences that could mark the original bedding. Length of the compass 12 cm.*

### 3.2.1.3 Paragneissi

Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeen länsipuolella Näljängän korkeudelle asti esiintyy muiden arkeisten kivien seassa vaihtelevasti migmatiittisia, selvästi sedimenttiperaisiiä gneissejä. Suurimmat yhtenäiset alueet sijaitsevat kartta-alueen lounaisosissa. Ulkoasunsa, mineralogiansa ja kemiansa johdosta nämä kivet on rinnastettu etelämpää kuvattuihin Nurmestyyppin paragneisseihin, joiden kerrostumiseksi on detritaalisten zirkonien ja leikkaussuhteiden perusteella saatu 2,7 Ga (Kontinen ja muut 2007). Ahvelan länsipuolelta Riihivaaran kerrosmyötäisestä tonaliittijuonesta tehdyn ajoituksen (2702±14 Ma; H. Huhma, kirjallinen tiedonanto 2007) ja saman paljastuman nuorimman konkordantin detritaalistisen zirkonin (2717±2 Ma; P. Hölttä, kirjallinen tiedonanto 2008) perusteella kerrostuminen myös Koillis-Kainuussa on tapahtunut samoihin aikoihin.

Paragneissien tyypillisin migmatiittirakenne on voimakkuudeltaan vaihteleva raitaisuus (kuva 9). Mesosomin rakenne on normaalisti liuskeinen ja joskus tavataan raekoon ja koostumuksen kerroksellista vaihtelua, joka saattaa edustaa alkuperäistä kerrok-

sellisuutta (kuva 10). Paikoin esiintyy plagioklaasin porfyroplastista kasvua. Muutamalla paljastumalla Ämmänsaaren pohjoispuolella on mangaanirikasta granaattia.

Päämineraaleina esiintyvät poikkeuksetta plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti. Aksessorisina tavataan vaihtelevasti epidootia, apatiittia, titaniittia, opaakkia, kloriittia, zirkonia ja rutiilia. Kivien mikrokooppinen rakenne on vaihtelevasti lepido- ja granoplastinen. Leukosomit ovat koostumukseltaan trondhjemittisiä ja vastaavat mineralogialtaan migmatiittisten tonaliittien vastaavia.

Paikoin paragneissien lomassa tavataan amfiboliittisia välikerroksia, joiden vahvuus vaihtelee sentistä enimmillään noin 200 metriin (kuvat 9 ja 11). Nämä amfiboliitit ovat joko kerrostumisen aikaisia vulkaanisia välikerroksia tai myöhempiä juonia. Välikerrosten koon ja todellisen määrän arviointia vaikeuttaa se, että paragneissialueet ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta huonosti tai erittäin huonosti paljastuneita. Karttaan nämä välikerrokset on merkitty samalla vihreällä värillä kuin muutkin arkeiset amfiboliitit.



Kuva 9. Kerroksittain vaihtelevasti migmatisoitunut paragneissi havaintokohteella PIMS-2005-177 (R5142H, E=570 645, N=7191 822). Huomaa myös kuvassa oleva amfiboliittiraita. Kompassin pituus 12 cm.

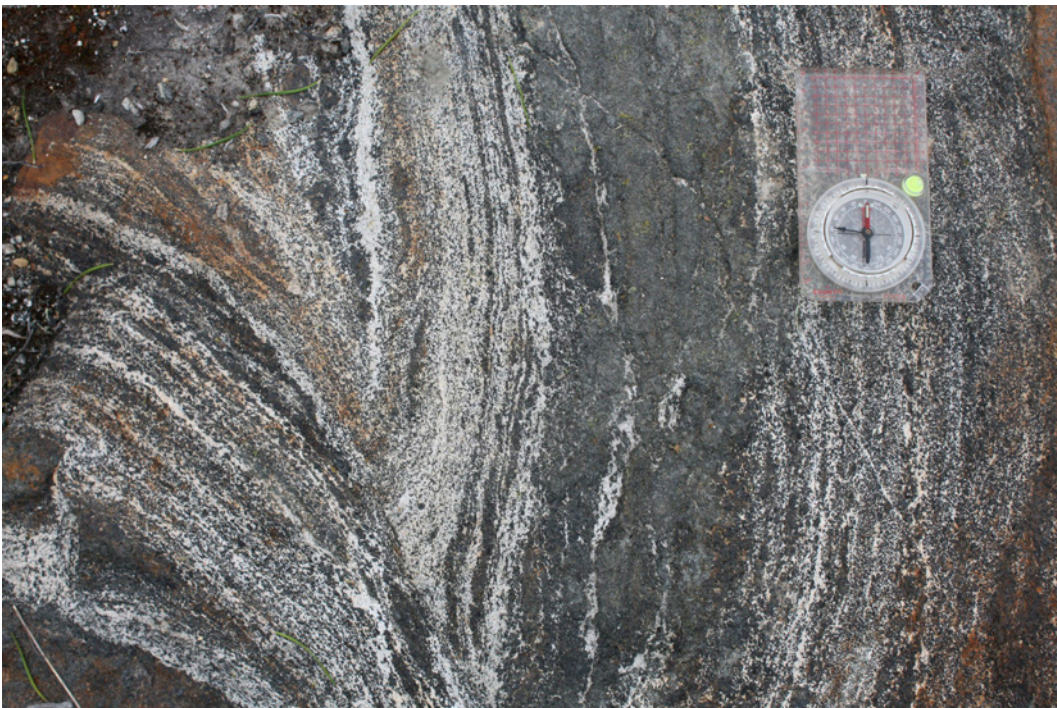
Figure 9. Variably migmatized paragneiss at observation location PIMS-2005-177. Also note the amphibolite band in the picture. Length of the compass 12 cm.





Kuva 10. Niukasti migmatisoitunut kiillegneissi havaintokohteella PIMS-2005-160 (R5142F, E=565 352, N=7192 665). Kuvassa näkyvä koostumusvaihtelu edustanee alkuperäistä kerroksellisuutta. Paljastumalla näkyy paragneisseille tunnusomainen hieman ruosteinen rapaumapinta. Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 10. Weakly migmatized paragneiss at observation location PIMS-2005-160. Compositional differences seen probably represent the original bedding. Also visible is the rusty weathering surface typical for paragneisses. Length of the compass 12 cm.*



Kuva 11. Vulkaniittista alkuperää oleva välikerros kiillegneississä havaintokohteella PIMS-2004-65 (R5231G, E=567 268, N=7194 226). Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 11. Volcanic interlayer in paragneisses at observation location PIMS-2004-65. Length of the compass 12 cm.*

### 3.2.2 Arkeaiset syväkivet

#### 3.2.2.1 Tonaliiitti ja granodioriitti: TTG-sarja

Kartta-alueen tavallisimpia kivilajeja ovat arkeiseen TTG-sarjaan (trondhjemiiitti-tonaliitti-granodioriitti) kuuluvat kivet. Näitä kivilajeja tavataan koko kartan alueella vaihtelevan kokoisina alueina. Paljastumalla kivet ovat voimakkuudeltaan vaihtelevasti suuntautuneita, usein melko vaaleita biotiittitonaliiitteja tai -granodioriitteja. Biotiittia on usein niin vähän (<10 %) että tonaliittiset kivet ovat IUGS:n luokitusten mukaisesti trondhjemiiitteja. Paikoin kivissä on niin paljon kalimaasälpää että ne ovat mineraalikoostumukseltaan graniitteja. Alueen TTG-kivien i'iksi on saatu zirkonista U-Pb-menetelmällä 2,95–2,72 Ga (Käpyaho ja muut 2007, Mikkola ja

Huhma 2008). Runsainta TTG-magmatismi on ollut 2,83–2,79 Ga sitten eli se on samanaikaista kuin vihreäkivivyöhykkeen päävaihe (Luukkonen ja muut 2002).

Migmatisoitumattomat TTG:t (kuva 12) ovat värittään useimmiten keski- tai vaaleanharmaita, vain harvoin punertavia. Mikroskooppinen rakenne on heikosti granoplastinen ja/tai muurilaastirakenteinen. Päämineraaleina esiintyy plagioklaasia, kvartssia, biotiittia, kalimaasälpä ja epidootia. Plagioklaasi on koostumukseltaan tavallisesti oligoklaasia. Paikoin kalimaasälpä on selvästikin myöhemmän kalime-tasomatoosin tulosta ja epidootti on sekundäärisiä. Aksessorisina mineraaleina esiintyy vaihtelevissa määrin ilmeniittia, hematiittia, magnetiittia, titaniittia zirkonia, rutiilia, apatiittia, sekundääristä kloriittia ja muskoviittia sekä paikoin sarvivälkettä.



Kuva 12. Suuntautunut tonaliitti havaintokohteella PIMS-2003-211 (R5422B, E=601 619, N=7240 890).  
Figure 12. Oriented tonalite at observation location PIMS-2003-211.

#### 3.2.2.2 Migmatiittinen tonaliitti ja granodioriitti: Päivärinta-tyyppi

Huomattava osa TTG-sarjan kivistä on migmatiitoinut myöhäisarkeisella ajalla. Tavallisin migmatiittirakenne on raitaisuus, joka on poimuttunut vaihtelevalla voimakkuudella. Alueen migmatiittisista tonaliiteista (kuva 13) on käytetty tyyppinimeä Päivärinta (Luukkonen ja muut 2002, Käpyaho ja muut 2007). Kartan eteläpuolisilla alueilla on puolestaan käytetty nimenä Säynäjävaara-tyyppiä (Luukkonen 1988). Mesosomien mineralogia vastaa

migmatisoitumattomien tonaliittien mineralogialla. Trondhjemiiittisen tai leukogranodioriittisen leukosomin päämineraaleina ovat kvartsi, plagioklaasi ja kalimaasälpä, aksessorisina esiintyy biotiittia, epidootia, muskoviittia ja kloriittia.

Leukosomin määrä vaihtelee sekä yksittäisellä paljastumalla että kilometrien kokoisina alueina. Maastohavaintojen perusteella leukosomin muodostuksen päävaihe liittyy suhteellisen myöhäisiin suuriin hiehtiin, joissa on muodostunut voimakkaammin sulaneita ja paremmin säilyneitä osia. Leukosomin muodostuksen päävaihe alueella on zirkonin



Kuva 13. Päivärinta-tyypin migmatiitti havaintokohteella PIMS-2003-455 (R5233H, E=590 626, N=7203 510). Biotiittitonalitiin on muodostunut trondhjemittiinen leukosomi, jota leikkaa nuorempi punertava leukogranodioriittinen leukosomi. Raitaisuus on voimakkaasti poimuttunut ja melko loiva-asentoinen. Kuvaussuunta on lännestä itään ja vasaranvarren pituus noin 60 cm.

*Figure 13. Päivärinta type migmatite at observation location PIMS-2003-455. Biotite tonalite is migmatized by trondhjemitic leucosome which in turn is crosscut by leucogranodioritic leucosome. Banding is strongly foliated and relatively flat. Picture is taken from west to east and length of the hammer circa 60 cm.*

U-Pb-menetelmällä tehtyjen ajoitusten mukaan ollut noin 2,7 Ga sitten (Käpyaho ja muut 2007, Mikkola ja Huhma 2008).

Migmatisoituneiden ja migmatisoitumattomien TTG-sarjan kivien väliin on merkitty tavallisen kivilajikontaktin sijaan kivilajin vaihtumisvyöhyke, koska vain harvoin näiden kahden kivilajin välinen kontakti on maastossa yksiselitteisesti havaittavissa. Tyypillisempää on, että leukosomin määrä kasvaa asteittain pidemmällä matkalla ja kivilaji vaihtelee migmatiittisen ja syväkivimäisen välillä.

### 3.2.2.3 Alkalikivi-intruusio

Kartta-alueen länsilaidassa Vaarannivan kylän eteläpuolella tavattiin kenttätöiden yhteydessä ympäristöstään täysin poikkeava Likamännikön alkalikivi-intruusio. Teräväkulmaiset ultramafiset murskaleet (kuva 14) esiintyvät vaihtelevan kokoisina kappaleina syveniittisessä perusmassassa. Myöhemmin murska-

leiden joukosta löytyi myös karbonatiittisia kappaleita. Likamännikköön kairattiin huhtikuussa 2008 GTK:n Poka-kalustolla 7 reikää yhteyspituudeltaan noin 290 metriä.

Paula Salminen tekee alueesta pro gradu -työtä Helsingin yliopiston geologian laitokselle. Työ valmistuneena talvella 2008–2009. Alustavien tulosten mukaan kvartsisyyeniittinen materiaali breksioi ultramafiittia ja karbonatiittia. Murskaleet muodostavat melko symmetrisen kehärakenteen, jossa eniten murskaleita on aivan intruusion keskellä ja ne vähenevät nopeasti laidoille päin kuljettaessa. Hydroterminen kvartsiutumisen ja breksioituminen on laajalle levinnyttä, lisäksi esiintyy intruusiota nuorempia siirroksia. Nykyinen maanpintaleikkaus on ilmeisesti edelleen lähellä intruusion katto-osaa ja mahdollinen suurempi karbonatiitti- tai ultramafiittiosue sijaitsee syvemmällä. Kvartsisyyeniitti on alustavien tulosten mukaan iältään 2,74 Ga (H. Huhma, suullinen tiedonanto 2008).



Kuva 14. Teräväkulmaisia ultramafisia kappaleita kvartsisyeniittisessä perusmassassa havaintokohteella PIMS-2006-193 (R5241E, E=564 563, N=7223 941). Kolikon halkaisija 2,5 cm.

*Figure 14. Angular ultramafic fragments in quartz syenitic groundmass at observation location PIMS-2006-193. Diameter of the coin 2.5 cm.*

#### 3.2.2.4 Sanukitoidisarja

Jo Sederholmin (1930) kallioperäkartassa Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeen kontaktiin Kiananniemen kylän pohjoispuolelle on merkitty muista pohjan granitoideista poikkeava intruusio. Tämä Kaapinsalmen tonaliitti on koostumukseltaan selvästi sanukitoidisarjan granitoideihin kuuluva ja sen intruusioiäksi on saatu zirkonista U-Pb-menetelmällä  $2717 \pm 7$  Ma (Heilimo ja muut 2007).

Kaapinsalmen tonaliitille on tunnusomaista paljain silmin havaittava sarvivälke. Paljastumilla sanukitoidi on TTG-sarjan kiviä selvästi tummempi ja useimmiten myös heikommin suuntautunut. Usein havaittavissa on tummia pienirakeisempia melatonaliittisulkeumia, joiden halkaisija on muutamasta sentistä muutamaa kymmeneen senttiin (kuva 15). Vihreäkivivyöhykkeen läheisyydessä kivessä esiin-

tyy myös melko runsaasti emäksistä vulkaniittia sulkeumina, joiden koko voi olla useita metrejäkin (kuva 15). Päämineraaleina ovat plagioklaasi, kvartsi, biotiitti, sarvivälke ja paikoin kalimaasälpä. Aksessorisina mineraaleina ovat titaniitti, apatiitti, zirkoni, allaniitti, opaakit, epidootti, muskoviitti, kloriitti ja karbonaatti.

Vihreäkivivyöhykkeen itäpuolella, Juntusranta–Ämmänsaari–Raate-kolmion sisällä, tavataan pieninä alueina kalimaasälpähajarakeista granodioriittia (kuva 16), joka myös kuuluu sanukitoidisarjaan. Kivi sisältää vaihtelevia määriä osin omamuotoista kalimaasälpää hajarakeina, joilla on paikoin havaittavissa ohut plagioklaasikehä. Perusmassan päämineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi, kalimaasälpä sekä biotiitti, aksessorisina tavataan epidoottia, titaniittia, sarvivälkettä, apatiittia, opaakkeja, kloriittia ja karbonaattia.



Kuva 15. Kaapinsalmen sanukitoidia havaintokohteella EPHE-2005-13. (R5422C, E=603 292, N=7234 234). Kuvassa näkyy intruusiolle tyypillisiä hienorakeisia tummanharmaita melatonalittisulkeumia ja yksi vihertävä vulkaniittikappale. Kuvassa olevan taittopihdin pituus 10 cm. Kuva: Esa Heilimo.

*Figure 15. Kaapinsalmi sanukitoid at location EPHE-2005-13 showing typical dark grey melatonalite inclusions and a greenish volcanic enclave. Length of the Leatherman 10 cm. Photo by Esa Heilimo.*



Kuva 16. Sanukitoidisarjaan kuuluva porfyryinen granodioriitti ja sitä leikkaava leucogranitoidisuoni havaintokohteella PIMS-2003-534 (R5411D, E=604 549, N=7200 098).

*Figure 16. Porphyritic granodiorite belonging to the sanukitoid suite cut by leucogranitoid veinlet at observation location PIMS-2003-534.*

### 3.2.2.5 Kvartsidioriitti: Riihivaara-tyyppi

Koko karttalehden alueella esiintyy TTG-sarjan granitoidien lisäksi syväkiviä, jotka mineralogiselta koostumukseltaan muodostavat sarjan dioriitista tonaliittiin. Tonaliittisenakin versiona tämä Riihivaara-tyypiksi nimetty on selvästi tummempi kuin ”normaali” arkeinen granitoidi (kuva 17). Rakenteiltaan kivi muistuttaa TTG-sarjan granitoideja, suuntautuneisuuden voimakkuus vaihtelee ja paikoin havaittavissa on migmatisaatiota (kuva 18), tosin vähemmän kuin TTG-sarjan kivissä. Pinta-alaltaan nämä kvartsidioriitit ovat useimmiten vain muutamia satoja metrejä suuntaansa. Pienten intruusioiden lisäksi tyyppi esiintyy myös muutaman metrin vahvaisina juonina muissa kivissä. Tyyppipaikalta tehdyn zirkonin U-Pb-ajoituksen mukaan Riihivaara-tyypin ikä on  $2702 \pm 14$  Ma (H. Huhma, kirjallinen tiedonanto 2007).

Hieissä päämineraalit ovat plagioklaasi, useimmiten kvartsi, biotiitti ja/tai sarvivälke. Aksessorisina tavataan titaniittia, kalimaasälpää, opaakkia, apatiittia ja zirkonia. Sekundäärisinä mineraaleina on epidootia, muskoviittia, kloriittia ja karbonaattia.

Kvartsidioriittiin liittyvä mielenkiintoinen erikoisuus on nähtävissä Aittokosken voimalaitoksen alakanavan ja alkuperäisen jokiuoman yhtymäkohdassa. Täysin terveeseen kvartsidioriitin kanssa vuorottelevat voimakkaasti rapautuneet linssit (kuva 19). Mineralogiselta ja kemialliselta koostumukseltaan terveessä ja rapautuneessa kivessä ei ole havaittavissa selkeitä eroja (analyysit 53 ja 54, liite 4). Rapautuneissa linseissä olevat trondhjemittiset neosomit ja niitä leikkaavat leukogranitoidit ovat täysin terveitä. Linssit noudattavat kulultaan kivessä näkyvää voimakasta venymää ja poimuakseleita. Yksi mahdollisuus rapautuneen perimmäiseksi syyksi onkin venymän muodostumisen ja poimutuksen aikaiset fluidin virtauskanavat, joissa kivi ei olisi muuttunut merkittävästi koostumukseltaan, mutta kiven rakenne olisi muuttunut jollain lailla herkästi rapautuvaksi. Rapautuneen iästä ei ole varmuutta, mutta se saattaa hyvinkin olla preglasiaalinen. Vastaavia rapautuneita kohtia on havaittavissa pitkin Aittokosken voimalaitoksen louhittua alakanavaa; niihin tutustuminen vaatii kuitenkin joko kalliokiipeilykokemusta tai veneen.



Kuva 17. Riihivaaran kvartsidioriittia tyyppipaikallaan havaintokohteella PIMS-2003-494 (R5231F, E=563 122, N=7204 486). Kiveä leikkaa noin 10 cm leveä leukogranitiittinen juoni. Kompassin pituus 12 cm.

Figure 17. Riihivaara type quartz diorite at its type location. Rock is cut by 10 cm wide leucogranitic dyke. Length of the compass 12 cm.



Kuva 18. Heikosti raitaista kvartsidioriittista kiveä havaintokohteella PIMS-2003-317 (R5243F, E=584 701, N=7228 024). Oikeassa laidassa arkeinen emäksinen juoni, jonka leveys noin 30 cm, lisäksi muutamia ohuita, liuskeisuutta loivasti leikkaavia leukogranitoideihin kuuluvia pegmatiitteja. Kuvaussuunta etelästä pohjoiseen. Kuva: Heta Lampinen.

*Figure 18. Weakly migmatized quartz diorite at observation location PIMS-2003-317. In the right side a mafic Archean dyke circa 30 cm wide. Also seen are narrow pegmatitic veins belonging to the leucogranitoid group, cutting the schistosity in low angle. Photo taken from south to north. Photo by Heta Lampinen.*



Kuva 19. Voimakkaasti rapautunut venymän suuntainen linssi havaintokohteella PIMS-2004-99 (R5144F, E=587 114, N=7190 587). Rapautuneen linssin pituus on noin 5 metriä.

*Figure 19. Strongly weathered lens parallel to the stretching lineation at observation location PIMS-2004-99. Length of the lens is circa 5 metres.*

### 3.2.2.6 Leukogranitoidit

Koko alueella tavataan TTG-sarjaa ja Riihivaa-  
ra-tyyppiä sekä niiden migmatisaatiota nuorempia  
(kuvat 13, 18 ja 20) leukokraattisia syväkiviä vaihtelevan kokoisina alueina. Alueiden koko vaihtelee muutamasta neliökilometristä sentin vahvuisiin leukosomiraitoihin. Isommista intruutioista ja juonista lähtee usein apofyysejä sivukivien puolelle (kuva 20). Vaamankalliolta Ämmänsaarella otetusta ikänäytteestä tehtyjen zirkonin yksikideajoitusten pohjalta kiven kiteytymiseksi tulkittiin  $2688 \pm 6$  Ma (Mikkola ja Huhma 2008), joka on virherajojen puitteissa yhtenevä Hyrynsalmelta ajoitetun Konivaara-tyypin (Luukkonen 1988) sekä usean Kuhmosta ajoitetun leukokraattisen intruusion kanssa (Käpyaho ja muut 2006). Edellä mainittujen tutkimusten mukaan leukogranitoideissa on mukana vaihteleva osuus vanhempaa kuoren materiaalia, Vaamankalliolla vanhimman perityn zirkonin  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -ikä on 3202 Ma.

Kartalle leukogranitoidia on merkitty paitsi alueina myös viivoina ja kaksoisliekillä. Suora viivasymboli osoittaa että leukogranitoidi esiintyy terävinä de-

formoitumattomina juonina kuten pääjuoni kuvassa 20. Kaksoisliekillä ilmaistu leukogranitoidi esiintyy epämääräisempinä mutkittlevina suonina kuten kuvassa 13.

Paljastumalla kivet ovat keskirakeisia, pegmatiittisia pesäkkeitä sisältäviä ja lievästi epähomogeenisia. Paikoin näkyvissä on vanhempaa materiaalia vaihtelevan terävyisinä sulkeumina. Mineralogisesti kivet vaihtelevat trondhjemiittista leukograniittiin, enemmistön ollessa leukograniitteja tai leukogranodioriitteja. Päämineraaleina esiintyy plagioklaasi, kvartsi ja useimmiten kalimaasälpä. Aksessorisia ovat biotiitti, epidootti, muskoviitti, apatiitti, titaniitti, opaakit, kloriitti ja zirkoni.

Kenttähavaintojen perusteella on selvää, että osa leukogranitoideista on proterotsooisia. Aittokoskella (R5144F) diabaasijuoni katkeaa siirrokseen, mutta viereinen leukogranitoidijuoni ei. Lisäksi Isovaarassa (R5243G) leukogranitoidi sisältää sulkeumina viereistä sarvivälkediabaasia. Proterotsooiset ja arkeiset leukogranitoidit eivät ole erotettavissa toisistaan rakenteiden tai mineralogian avulla. Oletettavasti suurin osa leukogranitoideista on kuitenkin arkeisia.



Kuva 20. Migmatiittista tonaliittia leikkaava leukograniittijuoni havaintokohteella PIMS-2003-405 (R5234F, E=586 992, N=7213 654). Isommasta leukogranitoidijuonesta lähtee migmatiittiin vaihtelevan vahvuisia apofyysejä liuskeisuuden tasoon, samassa tasossa on vanhempaa trondhjemiittista leukosomia. Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 20. Leucogranite dyke cutting migmatitic tonalite at observation location PIMS-2003-405. Apofyses of varying size from the dyke intrude the migmatite parallel both to the schistosity and the older trondhjemitic leucosome. Length of the compass 12 cm.*



### 3.2.3 Arkeaiset vihreäkivet

Kartan teon yhteydessä ei Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeellä tehty järjestelmällisiä maastotöitä, johtuen vuonna 2002 päättyneen Itä-Suomen arkeiset alueet -hankkeen tekemästä kattavasta työstä. Vihreäkivivyöhykkeestä kiinnostuneen lukijan kannattaakin tutustua Luukkosen ja muiden (2002) raporttiin, sekä Papusen ja muiden (2008) julkaisuun Tipasjärven, Kuhmon ja Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeiden rakenteesta, stratigrafiasta ja kehityksestä. Papunen ja muut (2008) ovat yhdistäneet tässä raportissa ja kartassa käytetyt Luoma- ja Saarikylä-ryhmät uudeksi Suomussalmi-ryhmäksi. Luoma-ryhmää vastaa uudessa stratigrafisessa luokittelussa Luoma-muodostuma. Saarikylä-ryhmä on jaettu Kilpasuo-, Tervonen-, Saarikylä- ja Huutoniemi-muodostumiksi. Kaiken kaikkiaan vihreäkivivyöhykkeen kivilajiseuranta on myöhempien liikuntojen johdosta varsin vaikeaselkoinen ja tulkinnanvarainen.

#### 3.2.3.1 Määrittelemättömät arkeiset vulkaniitit

Määrittelemättöminä vulkaniitteina kartalla on esitetty Kuhmon vihreäkivijakson pohjoispää ja päävyöhykkeiden ulkopuoliset riekaleet (Särkkäjoki kl R5423, Muikkusenroni kl S5311B ja Sorikanaho kl S5312A). Näiden rinnastaminen pääjaksolta kuvattuihin yksiköihin ei ole olemassa olleen tiedon perusteella ollut mahdollista.

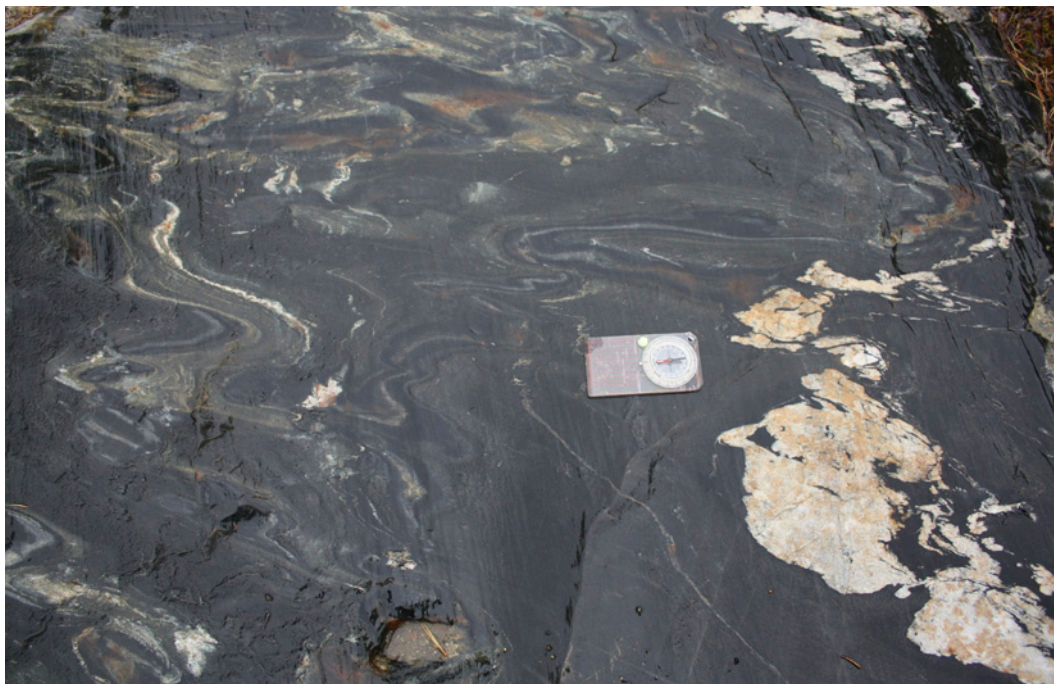
**Emäksinen vulkaniitti.** Emäksiset vulkaniitit ovat asultaan tyypillisesti kerroksellisesti koostumusvai-

televia ja melko voimakkaasti suuntautuneita (kuva 21). Amfiboliiteista nämä kivet erottuvat myös puuttuvan tai vähäisemmän migmatisaationsa johdosta. Päämineraalit ovat sarvivälke sekä plagioklaasi ja aksessorisina tavataan epidoottia, kvartssia, biotiittia, opaakkeja ja karbonaattia. Mikroskooppisesti vulkaniittien rakenne on vaihtelevasti grano- ja lepidoplastinen.

**Komatiitti.** Rinnastamattomana komatiittina kartalla on esitetty Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen pohjoispään komatiittiset linssit, sekä Suomussalmen Kirkonkylän pohjoispuolella Vuoriniemessä sijaitseva komatiittinen linssi. Ulkoasultaan komatiitit ovat vaihtelevasti raitaisia ja liuskeisia (kuva 22). Alkuperäiset rakenteet ovat kivistä deformaatioissa tuhoutuneet.

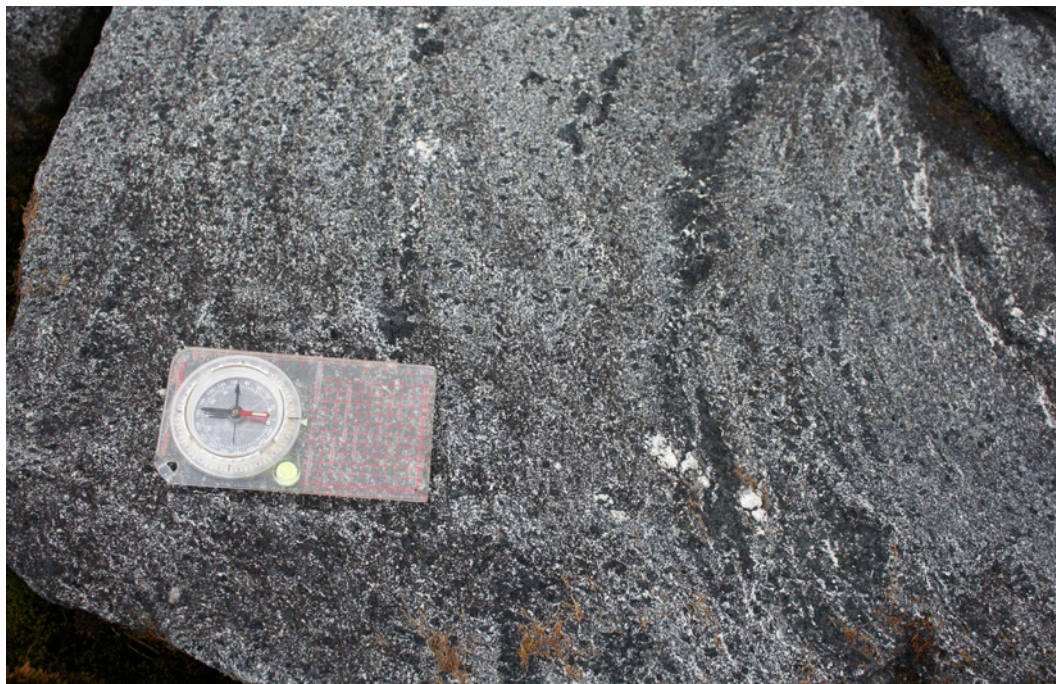
#### 3.2.3.2 Luoma-ryhmä

Vihreäkivivyöhykkeen vanhimmat osat kuuluvat Luoma-ryhmään (Papunen ja muut 2008: Luoma-muodostuma). Luoma-ryhmän kivet muodostavat pääosan Tormuan liuskejaksosta, joka on pääjaksosta itään Juntusrannan korkeudella erkaneva 2–3 kilometriä leveä vyöhyke, joka Juntusrannan kohdalla kääntyy pohjois-eteläiseksi samalla kaventuen. Matalalentogeofysiikan perusteella Tormuan liuskejakso päättyy vasta Hossan korkeudella, mutta pohjoiset osat ovat kuitenkin kokonaan laajojen hiekkakerrostumien peittämät. Kooltaan vähäisempiä alueita Luoma-ryhmän kiviä on pääjakson länsilaidalla, yhtäällä Saarikylän länsipuolella Luomajärvien ym-



Kuva 21. Emäksinen vulkaniitti Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen pohjoispäästä havaintokohteella PIMS-2003-533 (R5411C, E=607 206, N=7197 210). Kompassin pituus 12 cm.

Figure 21. Basic volcanite from the north end of the Kuhmo greenstone belt at observation location PIMS-2003-533. Length of the compass 12 cm.



Kuva 22. Deformoitunut komatiittinen vulkaniitti havaintokohteella EPHE-2006-384 (R5233H, E=594 669, N=7201 889). Kompassin pituus 12 cm.

*Figure 22. Deformed komatiitic volcanite at observation location EPHE-2006-384. Length of the compass 12 cm.*

päristössä ja toisaalla Kiannanniemen ja 5-tien välisellä alueella. Lisäksi Luukkonen ja muut (2002) rinnastivat Härkövaaran (10 km Juntusrannasta itään) kivet Luoma-ryhmän vastaaviin. Tätä rinnastusta on käytetty myös tässä työssä.

**Tholeiitti.** Luoma-ryhmään kuuluvat tholeiitit ovat voimakkaasti deformoituneita ja primäärirakenteet

ovat lähes täysin tuhoutuneita (kuva 23). Haamu- maisten rakennepiirteiden perusteella alkuperäksi on päätelty massiivisia, tyyny- ja tuubilaavoja. Geokemialtaan kivet ovat tyypillisiä arkeisia tholeiitteja (Luukkonen ja muut 2002).

**Hapan-/intermediäärinen vulkaniitti.** Luoma-ryhmän happamat ja intermediääriset osat muodos-

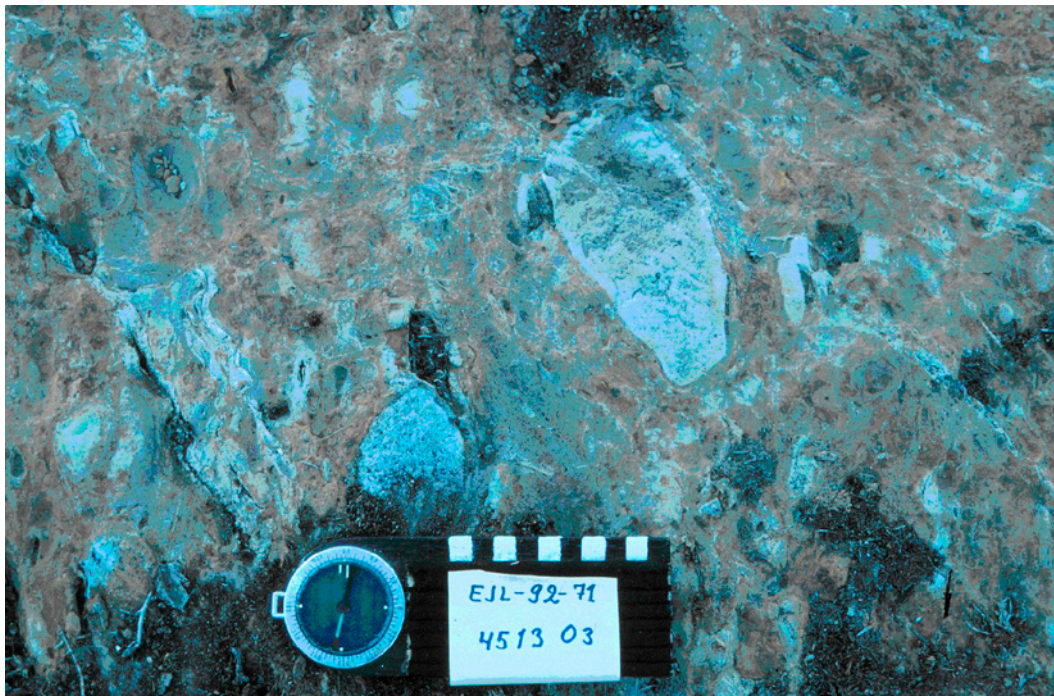


Kuva 23. Luoma-ryhmän tholeiittinen vulkaniitti havaintokohteella ASMS-1993-427 (R5422F, E=610 574, N=7240 538). Mittakaavassa 1 cm jaotus. Kuva: Erkki Luukkonen.

*Figure 23. Tholeiitic volcanite from the Luoma Group at observation location ASMS-1993-427. Scale bar with 1 cm intervals. Photo by Erkki Luukkonen.*

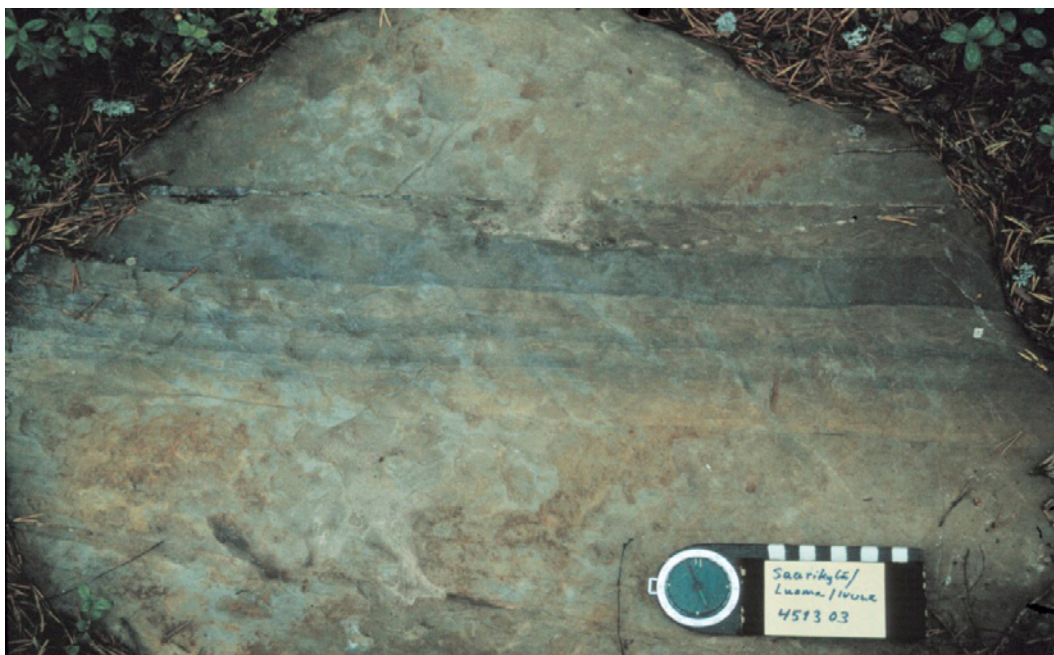
tuvat pyroklastisista (kuva 24) ja tuffiittisista osista (kuva 25), joissa esiintyy sekä kerrosmyötäisesti että leikkaavina porfyryrijuonia. Saarikylän alueen happamien kivien deformaatio- ja metamorfoosiaste on selvästi Tormuan jaksoa alhaisempi. Saarikylän

alueelta Luoma-ryhmän kivistä on tehty muutamia U-Pb-ikämäärittäyksiä. Tulosten valossa ryhmään kuuluu kiviä, joiden ikäjakauma on varsin laaja (2,95–2,82 Ga) (Luukkonen ja muut 2002).



Kuva 24. Luoma-ryhmän hapanta pyroklastista vulkaniittia havaintokohteella EJLS-1992-71 (R5422D, E=604 788, N=7239 082). Mittakaavassa 1 cm jaotus. Kuva: Erkki Luukkonen.

*Figure 24. Pyroclastic volcanite from the Luoma Group at location ELJS-1992-71. Scale bar with 1 cm intervals. Photo by Erkki Luukkonen.*



Kuva 25. Luoma-ryhmän intermediääristä tuffiittia Ala-Luoman tyyppi- ja ikämääritys-paikalla (R5422D, E=605 614, N=7241 093) Mittakaavassa 1 cm jaotus. Kuva: Erkki Luukkonen.

*Figure 25. Intermediate tuffite belonging to the Luoma Group at the Ala-Luoma age and type locality. Scale bar with 1 cm intervals. Photo by Erkki Luukkonen.*

### 3.2.2.3 Saarikylä-ryhmä

Saarikylä-ryhmän (Papunen ja muut 2008: Suomussalmi-ryhmä) kivet muodostavat pääosan Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeestä.

**Rauta-/magnesiumtholeiitti.** Saarikylä-ryhmän alimpana yksikkönä esiintyy koostumukseltaan rauta- ja magnesiumtholeiittisia emäksisiä vulkaniitteja. Alkuperäiset rakenteet ovat monin paikoin säilyneitä ja ne osoittavat kivien muodostuneen merellisessä ympäristössä, esimerkiksi tyynylaavarakenteet ovat suhteellisen yleisiä (kuva 26) (Luukkonen ja muut 2002).

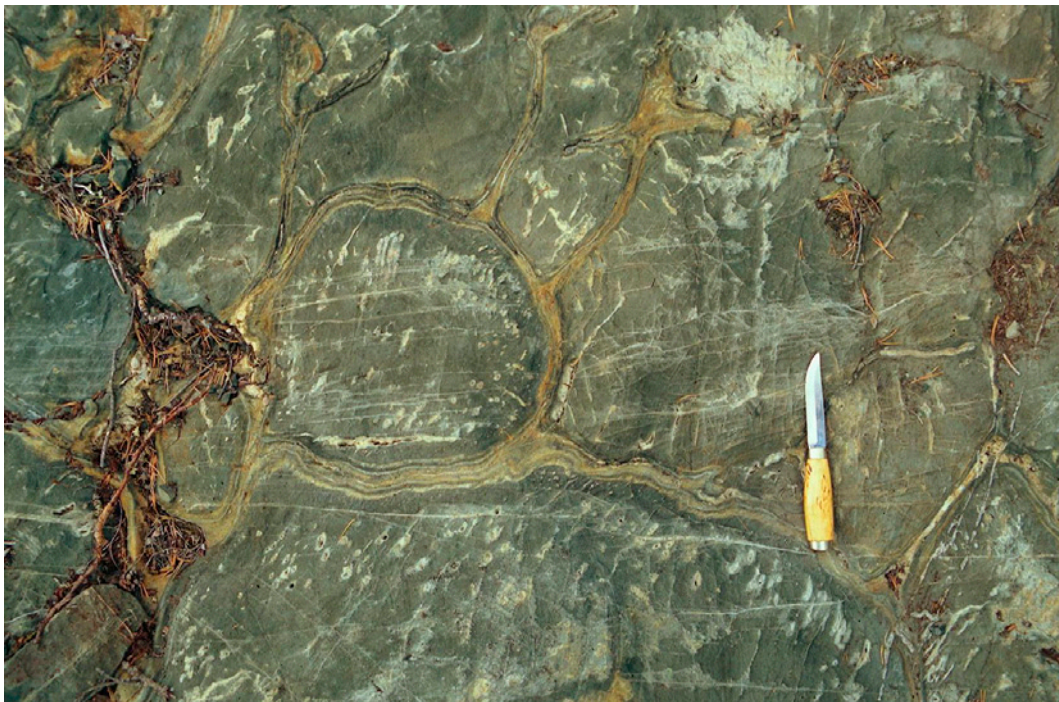
**Komatiitti.** Saarikylä-ryhmän komatiitit (Papunen ja muut 2008: Saarikylä-muodostuma) ovat pienialaisia jäänteitä suuremmista laavavirroista ja/tai laavakanavista. Tyypillisiä primäärirakenteita ovat erilaiset kumulaatit (kuva 27), tyynylaavat, spinifex-rakenteet sekä pinta- ja pohjabreksiat. Komatiitteja on tutkittu varsin runsaasti niiden Ni- ja PGE-malmipotentialin johdosta ja niihin liittyykin useita tunnettuja nikkelimineralisaatioita, mm. Kauniinlampi, Vaara, Hietaharju ja Peura-aho. Komatiittien mineralogia on myöhemmin vaihtelevasti muuttunut ja paikoin hiilidioksidirikkaan fluidin aiheuttama muuttuminen on ollut läpikotaista. Tulikivi Oyj louhii tällaista

muuttunutta kumulaattia Saarikylän eteläpuolella Kivikankaan vuolukivilouhoksella (kuva 28) (Luukkonen ja muut 2002).

**Komatiittinen basaltti.** Komatiittien päälle purkautui koostumukseltaan komatiittista basalttia (Papunen ja muut 2008: Saarikylä-muodostuma), jolla on selkeitä kemiallisia yhteneväisyyksiä komatiitteihin. Rakenteellisesti kivet muistuttavat komatiittien alla olevia rauta- / magnesiumtholeiitteja, tyynylaavat ovat tyypillisiä myös tässä yksikössä (Luukkonen ja muut 2002).

**Hapan-/intermediäärinen vulkaniitti.** Pyroklastiset happamat ja intermediääriset kerrokset (Papunen ja muut 2008: Huutoniemi-muodostuma) edustavat Saarikylä-ryhmän ylintä vulkaanista yksikköä. Ulkonäöltään kivet ovat samanlaisia Luoman koostumukseltaan vastaavien kanssa deformaatioasteen vaihdella voimakkaasti (Luukkonen ja muut 2002).

**Mustaliuske.** Saarikylä-ryhmän nuorin osa muodostuu grafiittipitoisista fylliiteistä ja/tai mustaliuskeista (Papunen ja muut 2008: Huutoniemi-muodostuma). Ne esiintyvät kapeina nauhamaisina kappaleina vulkaniittien välissä. Kivilajiyksikkö on melko huonosti paljastunut ja havainnot siitä perustuvatkin enimmäkseen geofysiikkaan ja kairauksiin (Luukkonen ja muut 2002).



Kuva 26. Tholeiittinen tyynylaava, jossa vaaleat kaasurakkulat esiintyvät pääasiassa tyynyjen reunaosissa (R5422A, E=598 862, N=7230 893). Puukon pituus noin 20 cm. Kuva: Tapio Halkoaho.

Figure 26. Tholeiitic pillow lava. Lighter coloured gas bubbles are mainly situated close to the borders of the pillow. Length of the knife circa 20 cm. Photo by Tapio Halkoaho.



Kuva 27. Serpentiiniittiytynyt oliiviinadkumulaatti, Rytyskallio (S5311C, E=606 143, N=7243 420). Puikon pituus noin 20 cm. Kuva: Tapio Halkoaho.

*Figure 27. Serpentinized olivine adcumulate at Rytyskallio. Length of the knife circa 20 cm. Photo by Tapio Halkoaho.*



Kuva 28. Tulikivi Oyj:n vuolukivilouhos Saarikylän Kivikankaalla (R5422D).

*Figure 28. Kivikangas soapstone quarry in Saarikylä operated by Tulikivi Oyj.*

### 3.2.4 Varhaisproterotsooiset intrusiiviset kivilajit

#### 3.2.4.1 Porfyyrinen leukograniitti

Rasinkylän porfyyrinen leukograniitti-intruusio sijaitsee kartoitusalueen lounaiskulmassa Hietajärven pohjagneissikiilassa ja Ryysyrannan intruusio 5-tien varressa 5 kilometriä Ämmäsaaren luoteispuolella. Graniittien hajarakeet ovat kalimaasälpää, jotka ovat suurimmillaan noin 3-senttisiä (kuva 29).

Asu on vaihtelevasti ruhjeinen johtuen myöhäisistä siirroksista, Rasinkylää leikkaa likimain suunnassa 20 vasenkätinen Louhijärven siirros ja Ryysyrantaa puolestaan likimain suunnassa 110 oikeakätinen Haukiperrän siirros. Graniittien todellisen koon arviointi on huonosta paljastuneisuudesta johtuen vaikeaa, erityisesti Rasinkylän joka ei ole magneettinen. Ryysyrannan intruusio on magneettinen, mutta toisaalta lähes täysin paljastumaton. Ryysyrannan intruusion lisäksi Ämmäsaaren lähistöllä on muutamia koko-



Kuva 29. Porfyriinen leukogranitti havaintokohteella PIMS-2003-611 (R5124H, E=546 544, N=7190 194). Kolikon halkaisija 2,5 cm.

*Figure 29. Porphyric leucogranite at location PIMS-2003-611. Diameter of the coin 2.5 cm.*

naan hiekkakankaiden alle jääviä positiivisia magneettisia anomalioita, jotka saattavat olla vastaavia graniitteja. Kartalla nämä on kuitenkin merkitty arkeisiksi leukogranitoideiksi, koska alueella tavataan myös magneettisia arkeisia leukogranitoideja. Porfyrisen leukogranitin päämineraalit ovat kvartsi,

kalimaasälpä ja plagioklaasi. Aksessorisina tavataan biotiittia, sekundääristä muskoviittia, apatiittia, kloriittia, zirkonia sekä fluoriittia.

Intruusioiden lisäksi tavataan arkeisissa kivissä enimmäkseen 20 metrin levyisinä juonina leukokraattisia graniitteja (kuva 30). Ne sisältävät kvartsia,



Kuva 30. Leukokraattinen kvartsi- ja maasälpäporfyriinen juoni havaintokohteella JJES-2005-36 (R5231C, E=558 603, N=7198 310). Mittapalkin pituus 10 cm. Kuva: Jukka Eskelinen.

*Figure 30. Leucocratic quartz and feldspar porphyritic dyke at location JJES-2005-36. Length of the scale bar 10 cm. Photo by Jukka Eskelinen.*

plagioklaasia ja kalimaasälpää alle 2-senttisinä hajarakeina ja ovat kemialtaan samankaltaisia intrusioiden kanssa. Näitä juonia on löydetty Rasinkylästä Lylykylän itäpuolelle ulottuvalla alueella.

### 3.2.4.2 Diabaasit

Alueen arkeista kallioperää leikkaavat vaihtelevan suuntaiset, 2,44–1,98 Ga ikäiset diabaasijuonet. Suurin osa diabaaseista erottuu positiivisina anomalioidena aeromagneettisella kartalla. Kartalle piirretyistä juonista noin puolet perustuu pelkkään geofysikaaliseen tulkintaan.

Alueen diabaasit sisältävät tärkeimpänä mafisena mineraalina pyrokseenia tai sarvivälkettä. Pyrokseenidiabaasit esiintyvät runsaimpina itärajan läheisyydessä ja vihreäkivivyöhykkeen länsipuolella Ahjolan alueella, voimakkaammin magneettisilla lohkoilla. Kartalla diabaasit on jaettu kolmeen ryhmään: sarvivälkediabaaseihin, pyrokseenidiabaaseihin ja määrittelemättömiin diabaaseihin. Pyrokseenidiabaasiksi on merkitty kaikki diabaasit, joista joko paljastumalla tai hieestä on havaittu merkittäviä määriä pyrokseenia. Sarvivälkediabaaseiksi on merkitty ne diabaasit, joissa mafisena mineraalina on pelkästään tai lähes pelkästään sarvivälkettä. Määrittelemättömiksi diabaaseiksi on merkitty ne juonet, joiden paljastumahavainnoista tieto mafisesta mineraalista on puuttunut tai jotka on tulkittu pelkästään aeromagneettiselta kartalta. Varmuudella oliviinia sisältäviä diabaaseja

tavattiin alueella vain kaksi, jotka sijoittuvat Raatteen pohjoispuolelle valtakunnan rajan läheisyyteen.

Valtaosa diabaaseista on deformatiivittomia ja rakenteeltaan vaihtelevan ofiittisia (kuva 31). Deformatiivittomia diabaaseja esiintyy vain kapeissa proterotsooisissa siirrosvyöhykkeissä (kuva 32). Voimakkaimmin deformatiivittuneet diabaasit ovat biotiittituneet ja epidoottituneet. Päämineraaleina esiintyy tavallisesti plagioklaasi, sarvivälke ja/tai pyrokseeni. Aksessorisina mineraaleina esiintyy kvartsia, biotiittia, epidoottia, titaniittia, opaakkeja ja kloriittia. Opaakit ovat enimmäkseen oksideja, kiisujen määrien ollessa vähäisiä.

Poikkeuksen diabaasien tasarakaiseen ofiittiseen ulkoasuun tekee Lohisärkän diabaasi, joka sisältää suurimmillaan 2–3 cm halkaisijaltaan olevia epidoottituneita plagioklaasihajarakeita (kuva 33). Useimmiten hajarakeita on vain muutama prosentti kivistä. Lohisärkän juoni on leveydeltään muutamia kymmeniä metrejä. Paikoin se on ilmeisesti muutamana rinnakkaisena juonena etenevä, vaihtelevasti aeromagneettiselta kartalta erottuva, 30 kilometriä pitkä yksikkö. Kemiallisesti kivi ei poikkea merkittävästi alueen muista diabaaseista.

Vuollo ja Huhma (2005) jakavat Itä-Suomen mafiset juonet viiteen ikäryhmään (2,45; 2,32; 2,2; 2,1 ja 1,98 Ga). Juonet, jotka ovat iältään 2,2 Ga, ovat differentioituneita kerrosjuonia (kartalla: gabroa kerrosjuonina). Arkeisten kivien puolella runsaimpia ovat ikäryhmät 2,1 ja 1,98 Ga. 2,1 Ga:n ikäiset



Kuva 31. Alueelle tyypillinen sekä pyrokseenia että sarvivälkettä sisältävä diabaasi havaintokohteella KRRO-2004-66 (R5322H, E=616 557, N=7189 783). Kompassin pituus 12 cm. Kuva: Samppa Mäkelä.

Figure 31. Typical diabase containing both pyroxene and hornblende at location KRRO-2004-66. Length of the compass 12 cm. Photo by Samppa Mäkelä.



Kuva 32. Voimakkaasti deformatunut diabaasi havaintokohteella PIMS-2003-331 (R5244A, E=576 326, N=7231 851) suljetun Pesioäkylä-Taivalkoski radan leikkauksessa. Kuvaussuunta itään ja seinämän korkeus noin 3 m. Samassa leikkauksessa on havaittavissa myös muita voimakkaasti deformatuneita diabaaseja, jotka leikkaavat migmatiittista TTG-gneissia. Kuva: Heta Lampinen.

*Photo 32. Strongly deformed diabase at location PIMS-2003-331 in a railroad cut along the closed Pesioäkylä-Taivalkoski track. Photo taken from west to east, height of the wall circa 3 m. Also other strongly deformed diabasites crosscutting migmatitic TTG gneiss are visible in the same cutting. Photo by Heta Lampinen.*



Kuva 33. Epidootittuneita plagioklaasiharakeita sisältävä diabaasi havaintokohteella HMLA-2004-317 (R5243G, E=590 139, N=7222 542). Kolikon halkaisija 2,5 cm.

*Figure 33. Diabase containing epidotized plagioclase phenocrysts at location HMLA-2004-317. Diameter of the coin 2.5 cm.*



juonet ovat suunnaltaan itä-läntisiä ja 1,98 Ga:n ikäiset kaakko-luode-suuntaisia. Kartta-alueelta ei kuitenkaan ole vielä tehty yhtään ikämäärittystä diabaaseista, joten iät perustuvat täysin rinnastuksiin läheisiltä alueilta.

### 3.2.4.3 Plagioklaasiporfyyri

Kartta-alueella on kahdella paljastumalla havaittu runsaasti (20–30 %) omamuotoisia plagioklaasiharakeita sisältävää emäksistä juonikiveä (kuva 34). Harakeiden koko vaihtelee välillä 1–5 cm. Porfyyrisyyttä lukuun ottamatta kivi muistuttaa ulkoasultaan ja mineralogialtaan tavallisia sarvivälkediabaaseja. Erona Lohisärkän porfyyriseen diabaasiin on harakeiden selvästi suurempi määrä ja voimakkaampi

omamuotoisuus. Maininnan arvoista on pienten omamuotoisten granaattikiteiden esiintyminen sulkeumina plagioklaasiharakeissa Lylykylän eteläpuolisessa juonessa. Havaintokohteet sijaitsevat Lylykylän eteläpuolella (merkitty karttaan) ja Ahjolan eteläpuolella (ei merkitty karttaan, R5243F, E=584 318, N=7225 021). Leveyttä Lylykylän eteläpuolisella juonella on noin 10 metriä ja Ahjolan eteläpuolisella juonella vähintään 3 metriä.

Juonet esiintyvät tavallisissa arkeisen pohjan kivissä eikä niissä ole havaittavissa deformaatiota, joten ne ovat iältään korkeintaan myöhäisarkeisia. Leikkaussuhteita diabaaseihin ei kuitenkaan ole havaittu; asian varmistaminen vaatisi tarkempia tutkimuksia.



Kuva 34. Plagioklaasiporfyyri havaintokohteella JJES-2005-47 (R5231C, E=555 893, N=7197 563). Kompassin pituus 12 cm.

Figure 34. Plagioclase porphyry at location JJES-2005-47. Length of the compass 12 cm.

### 3.2.5 Kainuun liuskejakson kivilajit

Kainuun liuskejakson alueella ei aiempien tutkimusten (Laajoki 1991) johdosta suoritettu järjestelmällisiä kenttätöitä. Suurimpana muutoksena aiempiin karttaversioihin alueesta (Laajoki 1991, Kontinen 2008) on karjaliitteihin kuuluvien kerrosjuonien piirtäminen uudelleen matalalentogeofysiikan perusteella. Liuskejakson alimpana yksikkönä ovat Kurkikylä-ryhmän emäksiset vulkaniitit ja klastiset sedimenttikivet. Näiden päälle ovat kerrostuneet

Korvuanjoen, Itä-Puolangan, Hyrynsalmen ja Somerjärven ryhmien klastiset, hiekkavaltaiset sedimenttikivet. Kaikissa edellä mainituissa muodostumissa esiintyy runsaasti 2,2 Ga:n ikäisiä kerrosjuonia kuten myös arkeisessa pohjassa sedimenttien kontaktin läheisyydessä. Suurin osa kerrosjuonista on huonon paljastuneisuuden johdosta piirretty pelkästään aeromagneettisen kartan perusteella. Muodostumien tarkemmat kuvaukset löytyvät englanniksi (Laajoki 1991, 2005) tai suomeksi (Laajoki 1998) aiemmista julkaisuista.

### 3.2.6 Kvartsijuonet

Koko karttalehden alueella esiintyy harvakseltaan lähes puhtaanvalkoisia kvartsijuonia. Useimmiten juonet ovat muutaman metrin levyisiä, mutta Leppilammen kvartsijuoni Pirttijärvellä on noin 50 metriä leveä (kuva 35) ja noin 2 kilometrin pituinen. Suurin

osa vähänkään leveämmistä juonista on suunnaltaan itä-läntisiä ja ne sijoittuvat usein proterotsoosiin vasenkätisiin siirroksiin, jotka ovat iältään diabaaseja nuorempia.

Suurempien juonien lisäksi yleinen ilmiö kaikille alueen arkeaisille kivilajeille on muutaman sentin vahvuiset kvartsisuonet (kuva 36), joiden suunta



Kuva 35. Morenia Oy:n louhos Leppilammen kvartsijuonessa Pirttijärven länsipuolella (R5234E, E=584 222, N=7210 770). Kvartsia louhitaan värinsä vuoksi käytettäväksi koristemurskeena. Kuva: Esa Pohjolainen.  
*Figure 35. Leppilampi quarry operated by Morenia Oy on the west side of Pirttijärvi. Vein-quartz is used as decorative aggregate. Photo by Esa Pohjolainen.*



Kuva 36. Kvartsisuonitus leikkaa TTG:n suuntauksen tasossa olevia kvartsi-kalimaasälpäraitoja havaintokohteella PIMS-2006-128 (S5314A, E=620 641, N=7259 254).  
*Figure 36. Quartz veinlets cutting older quartz-feldspar veinlets parallel to the orientation of the TTG at observation location PIMS-206-128.*

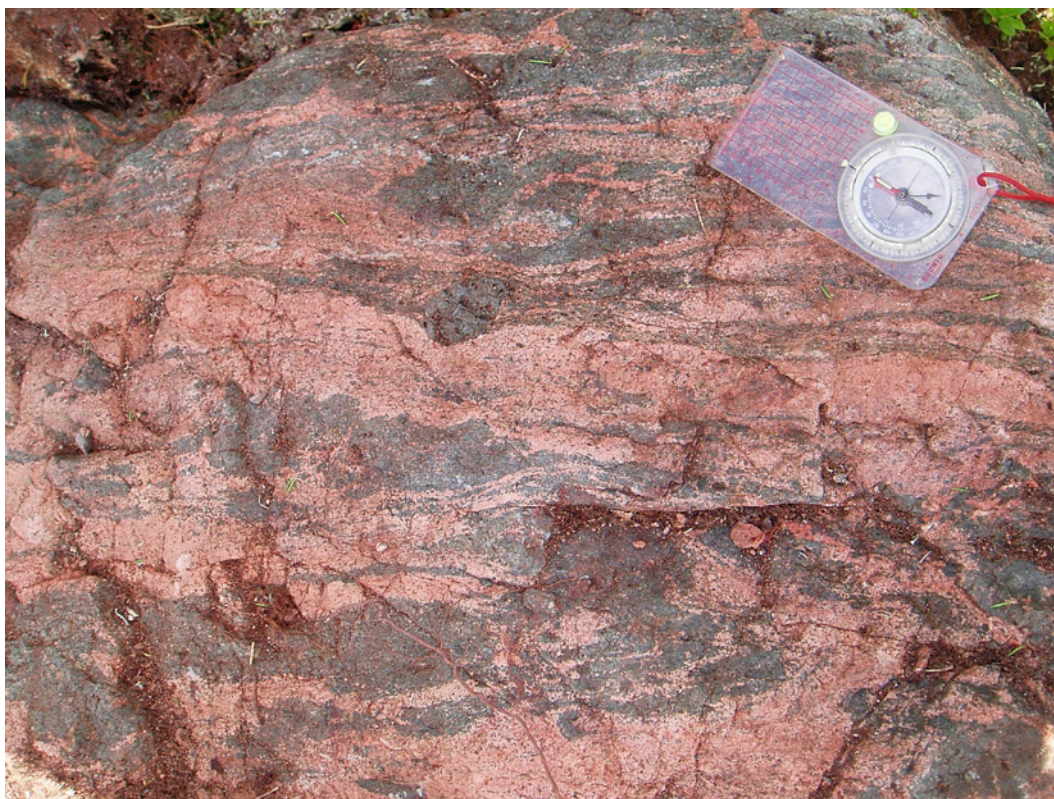
vaihtelee eri alueilla. Oletettavasti suuntien lisäksi myös suonien ikä on varsin vaihteleva ja osa niistä lienee arkeisia. Kartalle nämä suonet on merkitty keltaisella kaksoisliekillä niiden esiintyessä tietyllä alueella runsaammin.

### 3.2.7 Iältään määrittelemättömät ultramafiset kivet

Kartta-alueella tavataan useita pienehköjä, magneettisella kartalla positiivisena anomaliana erottuvia pyöreitä pahljuja. Tyypillisesti anomalian aiheuttaja on muutamia satoja metrejä suuntaansa oleva ultra-

mafinen kivilajiyksikkö. Useimmat näistä yksiköistä ovat ympäristöään pehmeämpinä kokonaan maapeitteiden alla ja havainnot perustuvat lentogeofysiikan lisäksi lähinnä timantinetsintäyhtiöiden valtausraportteihin (VALTRAP) sekä yhtiöiden Lopen kairasydänarkistoon toimittamiin kairasydämiin.

Kivien primäärirakenteet ja -mineralogia ovat kallioperän myöhemmissä vaiheissa täysin tuhoutuneet. Monin paikoin ne ovat ainakin jossain määrin serpentiiniittyneet tai vuolukiveytyneet. Oliviniä tavataan paikoin, mutta se on metamorfista. Joitakin pahljuja pilkkoo verkkomaisesti kirkkaan punainen leukogranittinen neosomi (kuva 37).



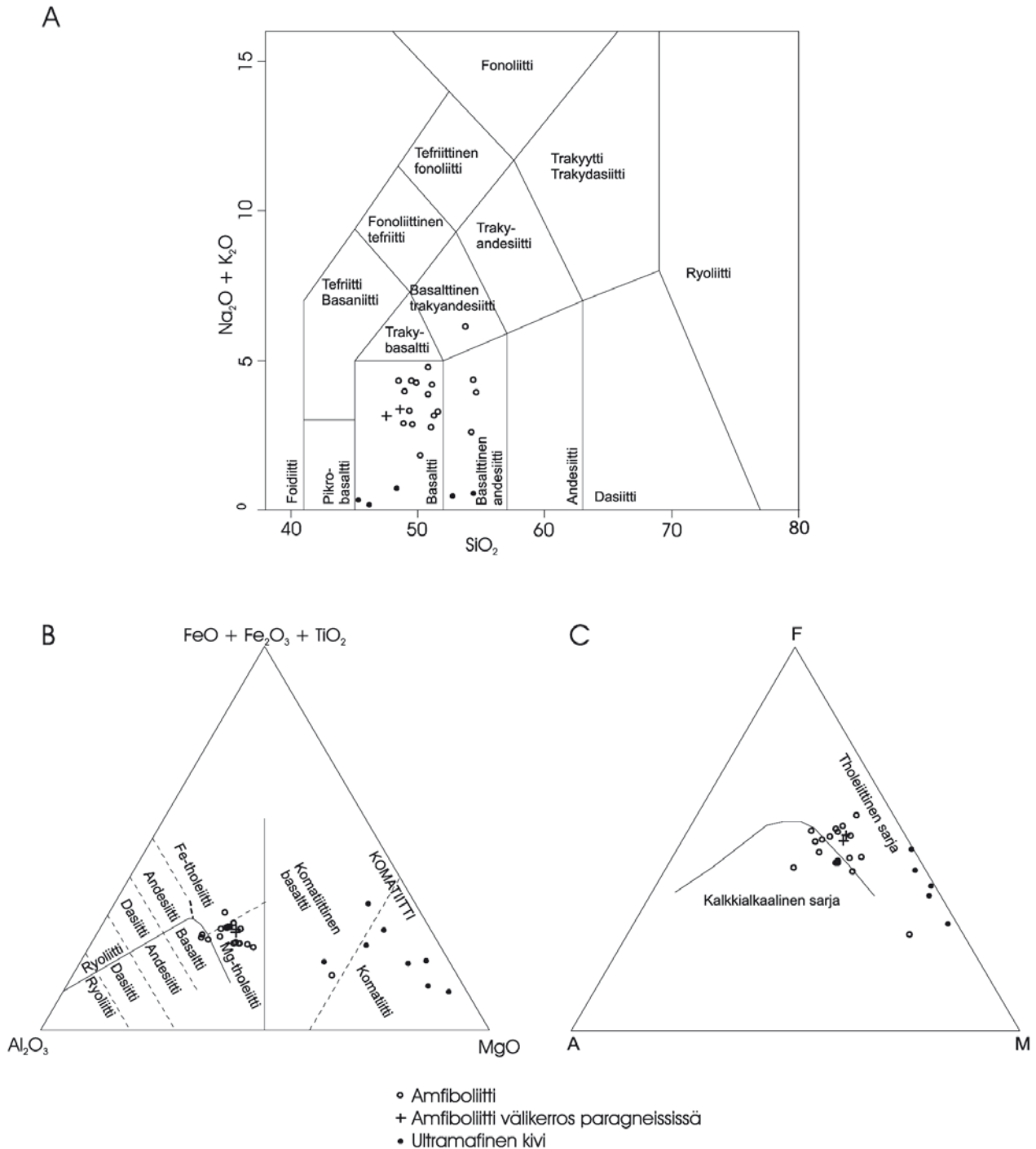
Kuva 37. Leukogranittisen neosomin pilkkoma ultramafinen kivi havaintokohteella EPHE-2005-188 (R5244G, E=593 444, N=7231 853). Kompassin pituus 12 cm. Kuva: Esa Heilimo.  
*Figure 37. Ultramafic rock cut by leucogranitic neosome at location EPHE-2005-188. Length of the compass 12 cm. Photo by Esa Heilimo.*

## 3.3 Geokemia

### 3.3.1 Amfiboliitit

Kartta-alueen amfiboliitit vastaavat geokemialtaan sekä muualta arkeisen pohjan alueelta kuvattuja amfiboliitteja (esim. Luukkonen 1988, 2001, 2005) että vihreäkivivyöhykkeen vulkaniitteja. Amfiboliitit ovat tyypillisesti tholeiittiseen sarjaan kuuluvia magnesiumrikkaita basaltteja (kuva 38). Eri diagrammeilla esiintyy jonkin verran hajontaa, etenkin AMF-

diagrammilla kohti  $Al_2O_3$ -kulmaa, tämä johtuneen suurelta osin myöhemmästä muuttumisesta. Kyseinen ilmiö on kuvattu aiemmin muualtakin Itä-Suomen arkeisilta alueelta. Paragneissien välikerroksina esiintyvillä amfiboliiteilla ja granitoidien yhteydessä esiintyvillä amfiboliiteilla ei ole havaittavissa koostumuseroja, tosin välikerrosamfiboliiteista on vain kaksi analyysiä.

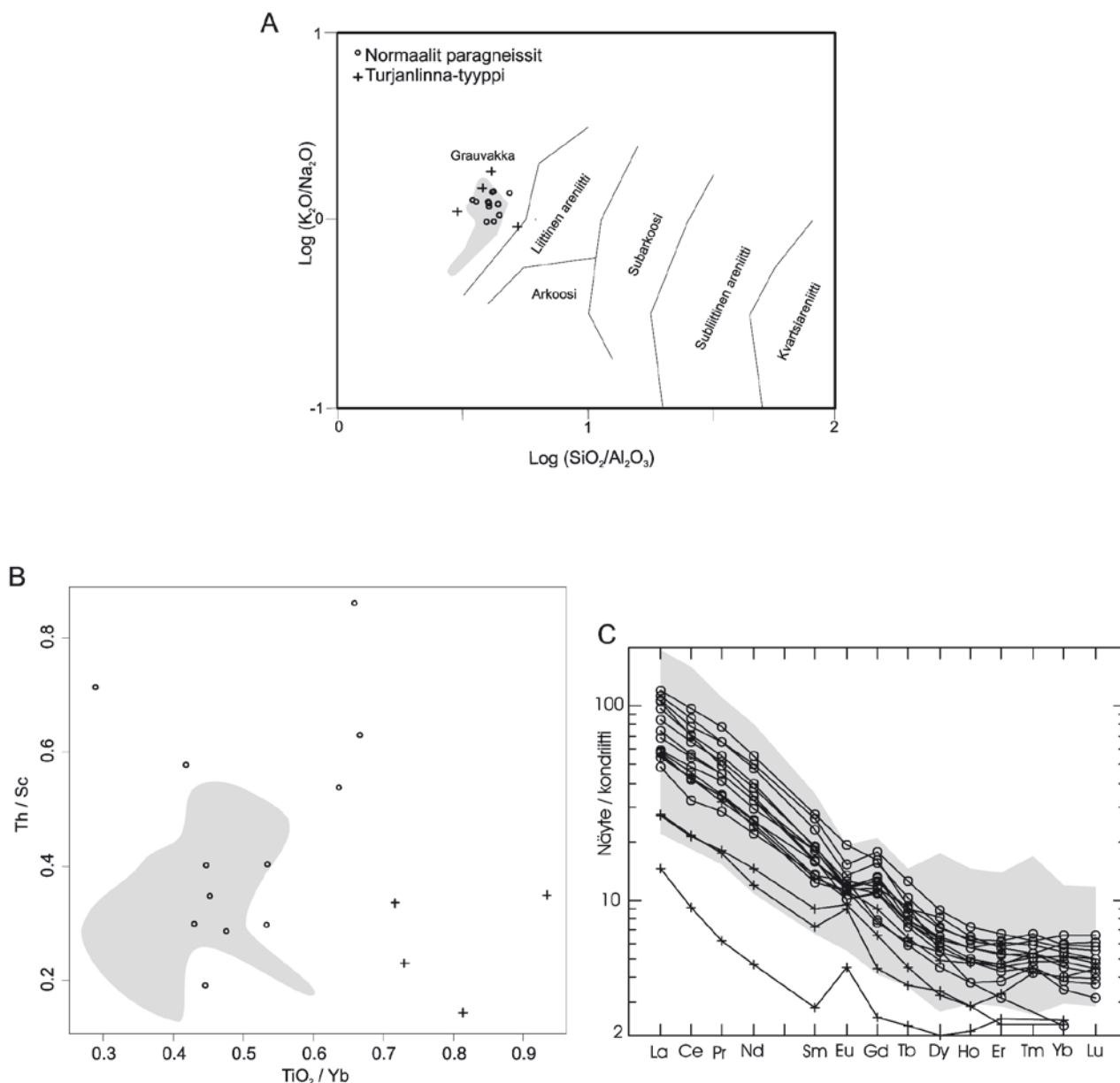


Kuva 38. Koillis-Kainuun kartta-alueen amfiboliittien ja ultramafisten kiviä koostumus. A) TAS-diagrammi (Le Bas ja muut 1986) B) Jensenin (1976) kationidiagrammi C) AFM-diagrammi.  
 Figure 38. Chemical composition of the amphibolites and ultramafic rocks from Northeast Kainuu. A) TAS diagram (Le Bas et al. 1986) B) Jensen's (1976) cation diagram C) AFM diagram.

### 3.3.2 Paragneissit

Kaikki alueen paragneisseistä tehdyt analyysit muistuttavat pääalkuaineiden osalta aiemmin julkaistuja Nurmes-tyyppin paragneissien analyyssejä (Luukkonen 2005, Kontinen ja muut 2007) ja ne edustavat merenpohjaan kerrostuneita savisia grauvakoita (Kuva 39A). Tiettyjen hivenalkuaineiden ja

alkuainesuhteiden osalta itäisimmät näytteet (4 kpl) eroavat kuitenkin pääryhmästä. Poikkeavia piirteitä ovat korkeampi  $TiO_2/Yb$  (kuva 39B), positiivinen Eu-anomalia ja matalampi REE-taso (kuva 39C). Erot eivät ole suuria, mutta kuitenkin selviä. Siitä, onko ero protoliitin koostumuksesta vai jostain myöhemmästä tapahtumasta johtuva, ei ole varmuutta, mutta asiaa kannattaisi tutkia edelleen. Jos koostumusero



Kuva 39. Koillis-Kainuun kartta-alueen paragneissien koostumus. Harmaalla värillä Nurmes-tyyppin paragneissien kenttä Kontisen ja muiden (2006) julkaisemien edustavien analyysien (27 kpl) perusteella. A) Pettijohin ja muiden (1972) luokitteludiagrammi Herronin (1988) muokkaamilla rajoilla. B)  $\text{TiO}_2/\text{Yb}$  vs.  $\text{Th}/\text{Sc}$  diagrammi C) REE-diagrammi.

Figure 39. Chemical composition of the paragneisses from the map area. Grey colour marks the Nurmes type based on representative analyses ( $n=27$ ) from Kontinen et al. (2006). A) Classification diagram of Pettijohn et al. (1972) with boundaries modified by Herron (1988). B)  $\text{TiO}_2/\text{Yb}$  vs.  $\text{Th}/\text{Sc}$  diagram C) REE diagram.

on alkuperäinen, kyseiset paragneissit saattavat erota muista esimerkiksi lähdemateriaalin koostumuksen ja kerrostumisiän suhteen. Mahdollista on myös erojen syntyminen esimerkiksi osittaisulamisen seurauksena neosomin muodostuksen yhteydessä. Huomionarvoista on myös poikkeavien näytteiden sijoittuminen aivan paragneissien esiintymisalueen itälaitaan vihreäkivivyöhykkeen läheisyyteen. Poikkeava tyyppi on nimetty Ilmari Kiannon taiteilijakodin mukaan Turjanlinna-tyypiksi.

### 3.3.3 Tonaliitti ja granodioriitti sekä migmatiittinen tonaliitti

Alueen syväkivimäisten ja migmatiittisten TTG-sarjan kivien välillä ei ole havaittavissa koostumuseroja, vaan molemmat ovat kemialtaan varsin tyypillisiä arkeisia syväkiviä (Kuva 40). Kvartsirikkaiden ( $\text{SiO}_2=66,30\text{--}76,40\%$ ), enimmäkseen peralumiinisten kivien koostumus on paikoin selkeästi muuttunut metasomaattisten prosessien yhteydessä. REE-käyrät



### 3.3.4 Sanukitoidisarja

Sanukitoidisarjaan kuuluvista kivistä Kaapinsalmen intruusion geokemia on kuvattu Heilimon (2006) pro gradu -työssä ja sen pohjalta tehdyssä julkaisussa (Heilimo ja muut 2007). Kyseisissä töissä tulee selvästi esiin Kaapinsalmen intruusion TTG-sarjan kivistä poikkeava geokemia ja sen kuuluminen osaksi Karjalan provinssin sanukitoidia. Suurimmat erot TTG-sarjan syväkiviin ovat korkea magnesiumluku sekä korkeat Cr-, Ni-, FeOt-, MnO- ja CaO-pitoisuudet ja matalampi SiO<sub>2</sub>-pitoisuus (kuva 40).

Kaapinsalmen intruusion lisäksi sanukitoidisarjaan kuuluvat porfyiriset Raatteen tyypin granodioriitit, jotka sekä ulkonäkönsä että geokemiansa puolesta muistuttavat suuresti Kuhmosta kuvattua Arolan granodioriittia (Käpyaho 2006). Raatteen tyypissä sanukitoidiset piirteet eivät ole niin voimakkaita kuin Kaapinsalmen tapauksessa, mutta kuitenkin ero TTG-sarjan granitoideihin ja Riihivaara-tyyppiin on selvä.

### 3.3.5 Kvartsidioriitti: Riihivaara-tyyppi

Riihivaara-tyypin kvartsidioriitit ovat kemialliselta koostumukseltaan metalumiinisia, intermediaarisia (kuva 40) syväkiviä. LREE:stä rikastuneiden kivien REE-käyrät ovat fraktioituneet voimakkaasti ( $La_N/Yb_N=16,11-45,91$ ,  $La_N=83,23-358,06$ ) ja useimmissa näkyy pieni negatiivinen Eu-anomalia ( $Eu/Eu^*=0,64-1,01$ ). Monessa mielessä kvartsidioriitit muistuttavat alueen sanukitoidia (REE, SiO<sub>2</sub>, FeOt), mutta erot esimerkiksi Ba- ja Sr-pitoisuuksissa verrattaessa Itä-Suomen kattavaan osin julkaisemattomaan sanukitoidiaineistoon ovat niin merkittäviä, että Riihivaara-tyyppiä ei voida katsoa sanukitoidiksi (E. Heilimo, suullinen tiedonanto 2008). Sen sijaan Varpaisjärven alueen 2716±15 Ma:n ikäiset enderbiitit (Mänttari ja Hölttä 2002) ovat koostumukseltaan ja iältään hyvin samankaltaisia, kuten myös Ranuan 2703±3 Ma:n ikäinen dioriitti (Mutanen ja Huhma 2003).

### 3.3.6 Leukogranitoidit

Geokemiallisesti ryhmän kivet ovat peralumiinisia, SiO<sub>2</sub>-rikkaita (SiO<sub>2</sub>=71,00–75,80 %) ja raudan (FeOt=0,20–2,01 %) sekä magnesiumin (MgO=<0,03–0,97 %) suhteen köyhiä. Useimmissa pääalkuaineissa erot TTG-sarjan kiviin ovat vähäisiä, mikä sopii yhteen aiemmin esitettyjen tulkintojen kanssa siitä, että kivissä on huomattava osa vanhempaa kuorellista materiaalia (Luukkonen 1988, Käpyaho ja muut 2006). REE-käyrissä on kuitenkin havaittavissa selkeä ero: yleinen REE-taso on sel-

västi matalampi ( $La_N=4,68-64,19$ ) kuin TTG-sarjan kivissä ja vähemmän fraktioitunut, tosin useissa näytteissä Yb on alle määrittäysrajan, jolloin  $La_N/Yb_N$ -arvon laskeminen ei onnistu. Eu-anomalia voi olla kumpaankin suuntaan tahansa tai puuttua kokonaan ( $Eu/Eu^*=0,37-2,20$ ). Ryhmän hivenainekemian kirjavuuden huomioon ottaen joukossa voi myös olla proterotsooisia leukograniitteja, ainakin isoimpien siirrosvyöhykkeiden yhteydessä ja Kainuun liuskejakson läheisyydessä.

### 3.3.7 Arkeiset vulkaniitit

Valtaosa vihreäkivivyöhykkeen vulkaniiteista on koostumukseltaan emäksisiä magnesium- tai rautarikkaita tholeiittibasalteja (kuva 41). Komatiittisia basalteja esiintyy vähemmän. Analyyseissä on nähtävissä jonkin verran samanlaista hajontaa kuin amfiboliittien osalta. Tästä johtuen emäksisten vulkaniittien ryhmään on sijoitettu muutama analyysi, jotka nykyisellä koostumuksellaan sijoittuvat TAS-diagrammilla intermediaaristen puolelle. Kuitenkin esimerkiksi fraktioitumaton REE-käyrä ( $La_N/Yb_N<2$ ) osoittaa niiden edustavan muuttuneita emäksisiä vulkaniitteja.

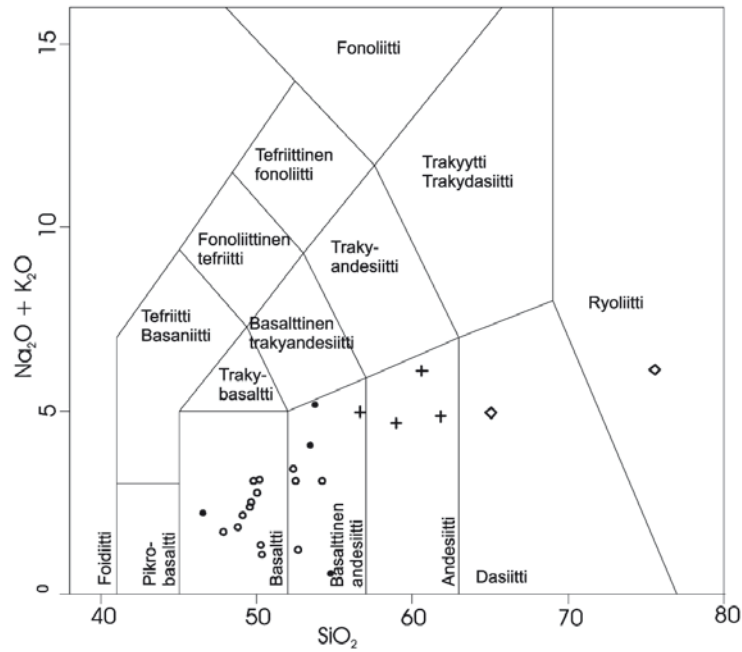
Ultraemäksiset vulkaniitit ovat koostumukseltaan komatiittisia. Ryhmän sisäinen kirjo on kuitenkin suurta, johtuen osittain poikkeavista alkuperäisistä koostumuksista ja toisaalta voimakkaasta serpentiiniytyymisestä ja vuolukiveytyymisestä CO<sub>2</sub>-riikkaan fluidin vaikutuksesta.

Intermediaariset ja happamat vulkaniitit sijoittuvat luokitteludiagrammeilla kalkki-alkaliseen sarjan kentiin (kuvat 41B ja C) happamimman pään ollessa ryoliittista ja intermediaarisemmän pään andesiittista. REE-käyrät osoittavat melko voimakasta fraktioitumista ( $La_N/Yb_N=7,26-45,62$ ) ja lisäksi kivissä on selkeä negatiivinen Eu-anomalia ( $Eu/Eu^*=0,56-0,77$ ).

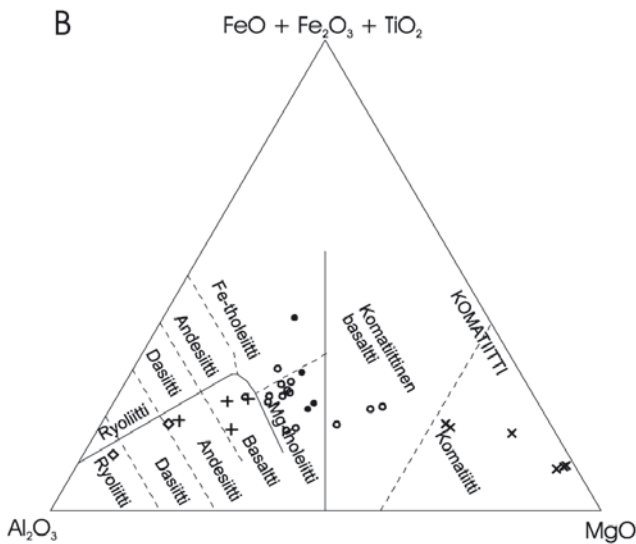
### 3.3.8 Porfyyrinen leukograniitti

Kemialtaan porfyyrinen leukograniitti on tyyppilistä A-tyypin leukograniittia, jollaisia Itä-Suomen arkeiselta alueelta ovat aiemmin kuvattu Tuliniemet-tyyppi Kuhmosta (Luukkonen 1988, Rämö ja Luukkonen 2001) ja Kynsijärvi Taivalkoskelta (Lauri ja Mänttari 2002). Lisäksi Pussisvaaran intruusion Hyrynsalmen kartta lehdellä (Kontinen 1989) kuuluu samaan ryhmään (Kontinen, julkaisematon aineisto 2008). Tuliniemi ja Kynsijärvi ovat molemmat iältään noin 2,44 Ga ja oletettavasti myös Raskylän ja Ryysyrannan graniitti ovat saman ikäisiä. Kemiallisesti erona verrattuna arkeisiin leukogranitoideihin on esimerkiksi korkeammat ja vähemmän fraktioituneet REEt ( $La_N=57,42-171,29$ ,  $La_N/$

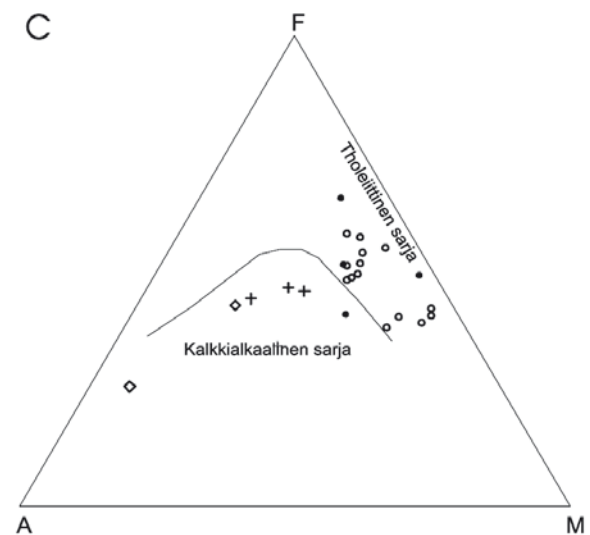
A



B



C



- × Arkeinen komatiitti
- Arkeinen emäksinen vulkaniitti
- + Arkeinen intermediaärinen vulkaniitti
- ◇ Arkeinen hapan vulkaniitti
- Proterotsooinen emäksinen vulkaniitti

Kuva 41. Kartta-alueen arkeisten ja proterotsooisten vulkaniittien koostumus. A) TAS-diagrammi (Le Bas ja muut 1986) B) Jensenin (1976) kationidiagrammi C) AFM-diagrammi.

Figure 41. Chemical compositions of both Archean and Proterozoic volcanites from the map area. A) TAS diagram (Le Bas et al. 1986) B) Jensen's (1976) cation diagram C) AFM diagram.

$Yb_N=0,98-6,67$ ), erittäin voimakas negatiivinen Eu-anomalia ( $Eu/Eu^*=0,03-0,07$ ), korkeammat  $K_2O$ -

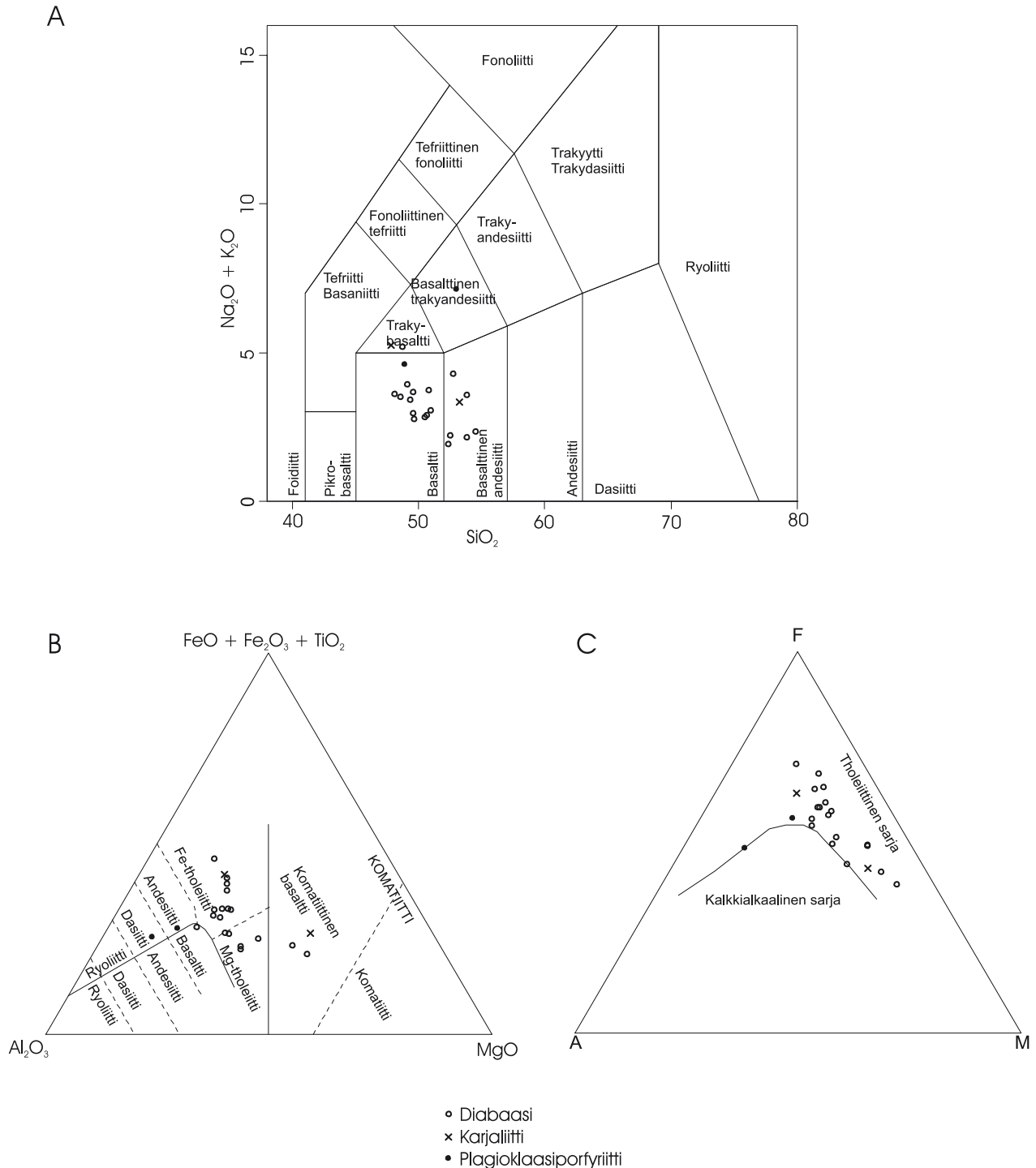
Rb-, Nb- ja Y-pitoisuudet ja  $CaO$ -,  $Na_2O$ - (kuva 40) sekä Sr-köyhyys.



### 3.3.9 Diabaasit

Valtaosa kartta-alueen diabaaseista on rautarikkaita tholeiittibasalteja (kuva 42). Merkittävin ero pääalkuaineissa arkeisiin amfiboliitteihin ja vulkaniitteihin onkin rautarikkaus magnesiumrikkautensa sijaan. AFM-diagrammilla muutama analyysi sijoittuu kalkki-alkaalisten kivien kenttään, mutta tähän on

luultavasti kenttä- ja hiehavaintojen pohjalta syynä myöhempi muuttuminen. Kaiken kaikkiaan analyysien kirjo vastaa täysin muilta alueilta julkaistuja tuloksia, rautatholeiittien lisäksi mukana on jonkin verran boniniitti-gabronoriittisiä juonia, jotka kuulunevat ~2,45 Ga:n ikäisiin juoniparviin (Vuollo ja Huhma 2005).



Kuva 42. Kartta-alueen diabaasien, kerrosjuonien ja plagioklaasiporfyriiden koostumus A) TAS-diagrammi (Le Bas ja muut 1986) B) Jensenin kationi-diagrammi C) AFM-diagrammi.  
 Figure 42. Chemical compositions of diabaases, sills and plagioclase porphyries from the map area. A) TAS diagram (Le Bas et al. 1986) B) Jensen's (1976) cation diagram C) AFM diagram.

### 3.3.10 Plagioklaasiporfyyri

Kahdesta paikasta tavattu plagioklaasiporfyyri poikkeaa myös kemialtaan tavallisista diabaaseista. REE-fraktioituminen on selvästi diabaaseja voimakkaampaa ( $La_N/Yb_N=8,81-12,79$ ) ja Eu-anomalia on lievästi positiivinen ( $Eu/Eu^*=1,04-1,07$ ) lievästi negatiivisen sijaan.  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$ , Ta- ja Nb-pitoisuudet ovat korkeampia ja MgO-pitoisuus matalampi kuin diabaaseissa. Analysoiduista näytteistä lasketut CIPW-normit eivät sisällä nefeliiniä, joka IUGS:n luokitusten mukaan olisi ehtona alkalibasaltti-nimityksen käytölle, mutta muuten plagioklaasiporfyyrit ovat kemiallisesti tavallisia diabaaseja selvästi ”alkalibasalttimaisempia”.

### 3.3.11 Kurkikylän mafinen vulkaniitti

Kurkikylän mafiset vulkaniitit muistuttavat pääpiirteissään vihreäkivijakson emäksisiä vulkaniitteja eli ne ovat tholeiittisia basaltteja tai basalttisia andesiitteja diagrammista riippuen (kuva 41). Analyysien suuri hajonta kertonee enemmän muuttumisesta kuin alkuperäisistä koostumuseroista; enemmistö vulkaniiteista on voimakkaasti hiertyneitä. REE-käyrät osoittavat voimakkaampaa fraktioitumista proterotsooisissa kuin arkeisissa vulkaniiteissa.

### 3.3.12 Kvartsijuonet

Kvartsijuonet ovat lähes puhtaasti kvartsista koostuvia kiviä ( $SiO_2=97,3-99,3$ ), joissa muita mineraaleja esiintyy vain niukasti.

### 3.3.13 Likamännikön alkalikivi-intruusio

Likamännikön intruusion syeniittinen osa on geokemialtaan melko samankaltainen alueen normaalien leukogranitoidien kanssa, ainoa todella huomattava ero on poikkeuksellisen korkea Nb-pitoisuus (3–19 ppm). Ultramafiset murskaleet sen sijaan poikkeavat huomattavasti kaikista muista alueen mafisista ja ult-

ramafisista kivistä, merkittävimpiä eroja ovat erittäin korkeat  $P_2O_5$ - (1–12 %) ja kevyt REE -pitoisuudet ( $La_N=200-625$ ) sekä voimakkaasti fraktioitunut REE-taso ( $La_N/Yb_N=30-50$ ). Ultramafiset murskaleet ovat kemiallisilta piirteiltään klinopyrokseenikumulaattien kaltaisia. Tätä tukee kiven mikroskooppinen rakenne, jossa amfiboliitti ympäröi klinopyrokseenirakeiden jäänteitä. Mäeltä tavattu karbonatiitti on IUGS:n mukaisella kemiallisella luokittelulla kalsiumkarbonatiittia (P. Salminen, julkaisematon aineisto 2008).

Likamännikön lisäksi viitteitä vastaavasta systeemistä on Pyhäkylän lähistöltä muutamassa paljastumassa ja kahdessa kairareissä (analyysit 90 ja 91, liite 4). Pyhäkylän alueen voimakkaan proterotsooisen hierron ja muuttumisen sekä huonon paljastuneisuuden takia ei ole täyttä varmuutta siitä, onko kyseessä vain kaliutuneessa granitoidissa kelluvat ”normaalit” mafiset murskaleet. Analysoidun mafisen murskaleen REE-käyrä muistuttaa Likamännikön vastaavia, mutta  $P_2O_5$ -pitoisuus on matalampi kuin tyypille on ominaista, lisäksi pääalkuaineissa esiintyy eroja.

### 3.3.14 Ultramafiset kivet

Geokemiallisesti ryhmä on heterogeeninen. Osa kivistä on geokemialtaan komatiittisia (kuva 41) ja ne lienevät vihreäkivivyöhykkeen kivien tulokanavia tai pääjaksosta tektonisesti irronneita riekaleita. Joukossa on kuitenkin näytteitä (analyysit 93, 98 ja 99, liite 4) jotka monin tavoin muistuttavat boniniitteja (korkeampi  $SiO_2$ -pitoisuus ja  $CaO/Al_2O_3$ -suhde). Nämä boniniittiset kivet sijoittuvat vihreäkivivyöhykkeen länsipuolelle karkeasti 5-tietä mukailevaksi jonoksi Ämmänsaaren pohjoispuolelta Taivalkosken rajalle saakka. Outokumpu Oyj tutki aikanaan näiden intruusioiden malmipotentialia ja saatujen tulosten valossa intruusioiden saattaisivat kuulua samaan ryhmään kuin Koillismaahan 2,44 Ga:n ikäiset emäksiset kerrosintruusioidet (Lahtinen 2003). Huonon paljastuneisuuden ja kivien voimakkaan muuttuneisuuden vuoksi näitä kahta ryhmää ei ole kartalla kuitenkaan eroteltu.

## 3.4 Muuttuminen ja proterotsooisen deformaation vaikutus

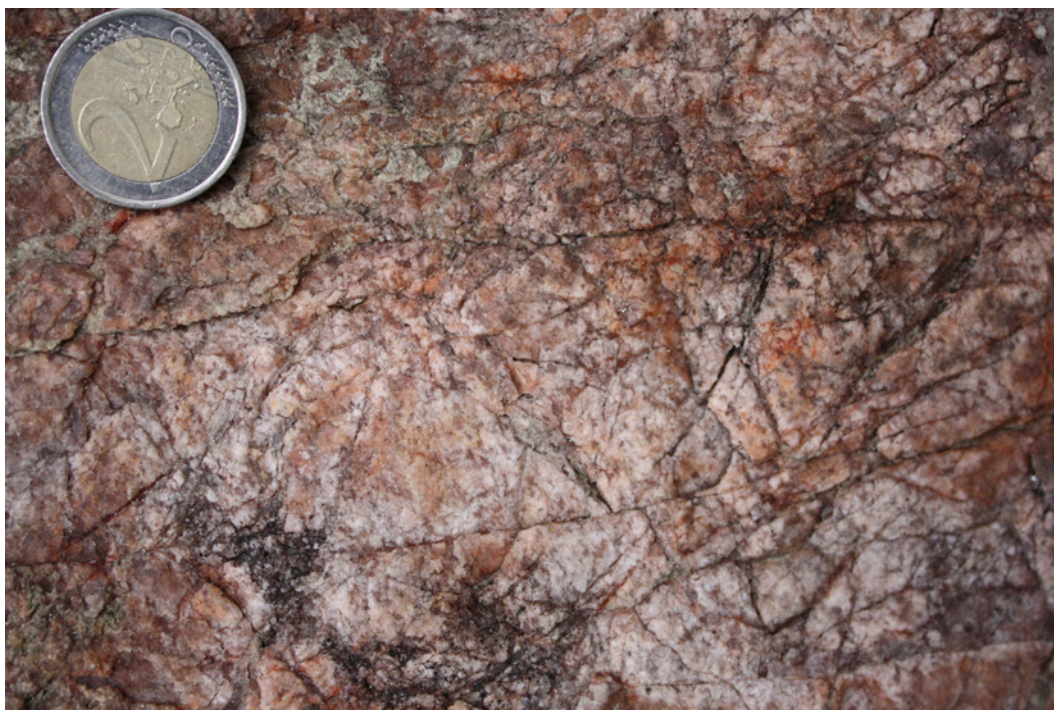
### 3.4.1 Muuttuminen

Kartta-alueen kivissä esiintyy runsaasti sekä myöhäisarkeisista että proterotsooista muuttumista. Muuttumisprosessit esiintyvät voimakkaimpina myöhäisten liikuntojen välittömässä läheisyydessä. Vaihtelevasti esiintyy kalimetatomatoosia ja/tai epidootiumista ja/tai kvartsiutumista. Voimakkaimman muuttumisen alueilla kivet ovat täysin muuttuneita ja muistuttavat tällöin ulko-asultaan läheisesti vaaleimpia leuko-

graniitteja. Ruhjeisen leukogranitiin ja täysin muuttuneen ”graniitti-imitaatin” (kuva 43) erottaminen toisistaan onkin kentällä erittäin vaikeaa.

### 3.4.2 Arkeiset rakenteet

Yleisesti ottaen arkeiset rakenteet alueella ovat kulultaan pohjois-eteläsuuntaisia ja paikoin varsin loivakulmaisia. Alueen arkeisia rakenteita on aiemmin käsitelty laajimmin Luukkosen (1992) työssä.



Kuva 43. Täysin muuttunut ruhjeinen TTG-sarjan tonaliitti havaintokohteella PIMS-2006-194 (S5314B, E=622 749, N=7260 123).

Figure 43. Completely altered TTG series tonalite at observation location PIMS-2006-194.

Varsinaista rakennegeologista tulkintaa alueelta ei kartoituksen yhteydessä tehty eli arkeeisesta kehityksestä ei ole aiemmin esitettyyn juurikaan lisättävää. Migmatiittien leukosomeista saadut ajoitustulokset (Käpyaho ja muut 2007, Mikkola ja Huhma 2008) osoittavat kuitenkin, että huomattava osa migmatisaatiosta on iältään aiempaa esitettyä nuorempaa eli noin 2,7 Ga:n ikäistä. Leikkaussuhteiden perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että alueella esiintyy myös vanhempaa leukosomin muodostusta (kuva 6).

Kontisen ja Paavolan (2006) etelämpää FIRE-1-linjalta esittämä tulkinta arkeisen kuoren lohkorakenteista on yhteensopiva myös Suomussalmen alueelle. Heidän mallissaan Kainuun arkeinen kallioperä on jaettavissa idästä länteen Hyrynsalmen, Kuhmon ja Vartiuksen lohkoihin. Hyrynsalmen lohko eroaa Kuhmon ja Vartiuksen lohkoista sisältämiensä Nurmes-tyypin paragneissien ja vihreäkivien puutteen johdosta. Kuhmon ja Vartiuksen lohkot puolestaan eroavat toisistaan lähinnä metamorfoosiasteen osalta, Vartiuksen loholla metamorfoosiaste on korkeampi kuin Kuhmon loholla. Mallissa lohkojen väliset rajapinnat painuvat loivasti länteen ja niiden on tulkittu syntyneen 2,7 Ga sitten ylityöntöjen tuloksena.

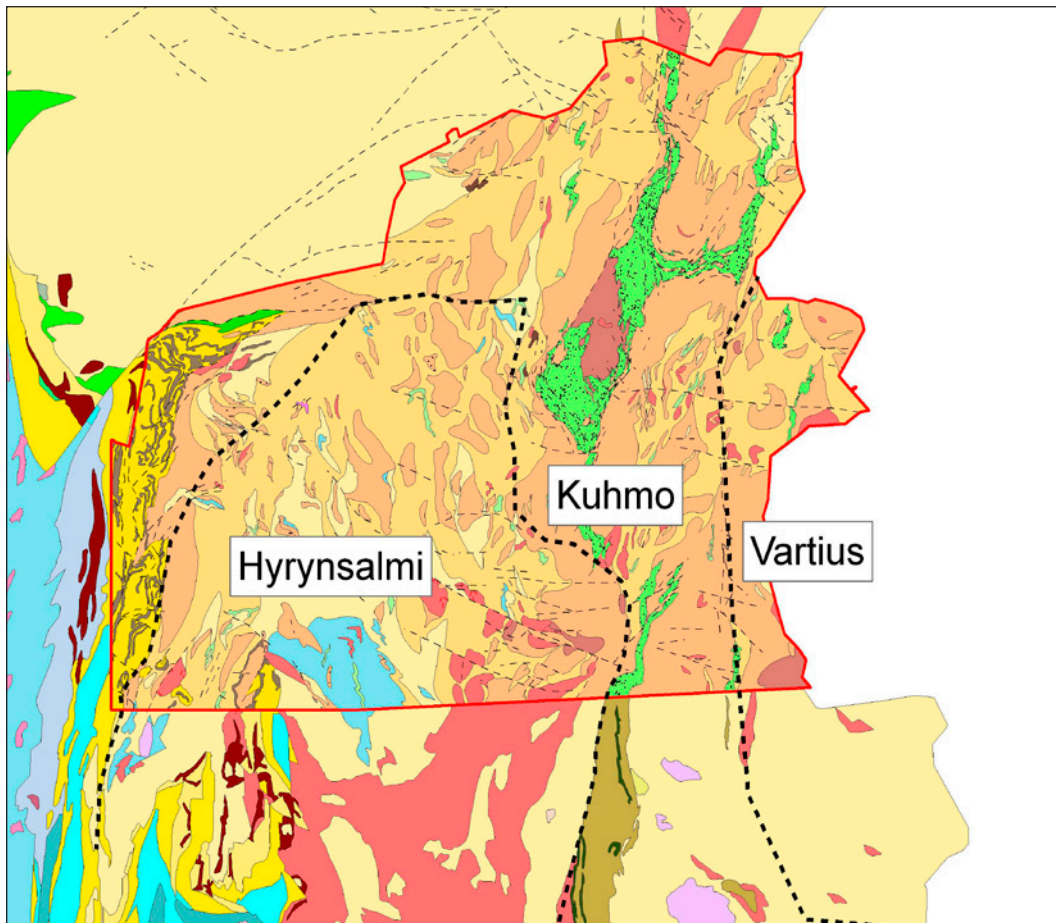
Lohkojaon jatkeita Suomussalmelle on hahmoteltu kuvaan 44. Vartiuksen lohko näkyy magneettisempaan pyrokseenidiabaaseja sisältävänä alueena itärajalla (ks. Liite 1). Vartiuksen lohkon raja hämärtyy Lehtovaaran korkeudella, luultavasti proterotsooisten liikuntojen vaikutuksesta (ks. edempää). Kuhmon

lohkoon kuuluisivat vihreäkivivyöhykkeet ympäröivine granitoideineen ja Hyrynsalmen lohkoon paragneissejä sisältävät läntiset osat karttalehdessä. Suomussalmella paragneissien seassa tavataan runsaammin TTG-sarjan kiviä kuin etelämpänä. Todennäköisin selitys tälle on se, että ylityöntyneestä Hyrynsalmen lohkoista on Suomussalmella näkyvissä vain aivan alimmat osat eli ylityöntöpinta nousee paitsi itään myös pohjoiseen päin mennessä. Leikkauksesta johtuen paragneissien alta pilkkottaa monissa paikoissa alla oleva Kuhmon lohko. Pohjois-Suomen yksikön alueellaan kesällä 2005 tehdyissä kartoituksissa havaittu paragneissien ja siten myös Hyrynsalmen lohkon puuttuminen Taivalkosken eteläosista tukee edellä esitettyä mallia.

### 3.4.3 Proterotsooinen deformaatio ja lohkoliikunnot

Diabaasien mineralogian vaihtelu alueittain todistaa Suomussalmen kallioperän arkeisten lohkojen keskenään eroavasta kehityksestä vielä proterotsooisenakin aikana. Pyrokseeni- ja sarvivälkediabaasit vaihtelevat alueittain ja tämä vaihtelu on nähtävissä myös aeromagneettisella kartalla: korkeamman yleisen magneettisuuden lohkoilla diabaaseissa on säilynyt magmaattinen pyrokseeni, kun taas heikommän magneettisuuden alueella pyrokseeni on täysin hydrautunut sarvivälkkeeksi.

Erityisen selvä tämä raja on Raatteen pohjoispuolella, jossa magneettisella kartalla (liite 1) erottuu



Kuva 44. Kontisen ja Paavolan (2006) esittämien lohkorajojen mahdolliset jatkeet Suomussalmen alueella. Kartta-alueen ulkopuolella pohjakarttana on Korsmanin ja muiden (1997) Suomen kallioperäkarta.  
Figure 44. Possible continuations of Archean blocks suggested by Kontinen and Paavola (2006). The base map outside the now mapped area is the Bedrock map of Finland (Korsman et al. 1997).

selvänä voimakkaasti magneettinen Vartiuksen lohko, jossa TTG-kivissä on magnetiittia heikkona pirotteena sekä diabaaseissa poikkeuksetta hyvin säilynyttä pyrokseenia, paikoin myös oliviinia. Magneettisella kartalla Purasjärven itäpuolta kulkee etelä-pohjoinen rajapinta, jonka länsipuolella pyrokseenia ei diabaaseissa ole ja myös magnetiitti katoaa TTG-kivistä. Lisäksi kaikki diabaasijuonet katkeavat terävästi leikkautuen kyseiseen rajaan. Liikunto ja siihen liittyvä voimakas muuttuminen on havaittavissa alueen kallioissa (kuva 45, analyysi 46 liitteessä 4).

Toinen korkeamman magneettisuuden lohko ulottuu Ahjolan Ämmänsaaren vihreäkivivyöhykkeen länsipuolella. Pohjoisessa lohko rajautuu itä-länsisuuntaiseen Auhon siirroksen eteläiseen haaraan (kuva 46) ja Ahjolan lohkon nousu suhteessa ympäristöönsä lieneekin suhteellisen myöhäinen tapahtuma. Magneettisen kartan ja maastohavaintojen perusteella on ilmeistä, että Auhon siirros viuhkaantuu kartta-alueen ulkopuolella Korvuanjoen tienoilla ja huomattava osa liikkeestä taipuu likimain itä-läntiseksi.

Kaikkialla kartta-alueella tavataan myös sellaisia diabaasijuonia nuorempia ruhjeita joihin ei, toisin

kuin Ahjolan ja Puraksen alueilla, liity kallioperän magneettisen tason vaihtelua. Nämä erottuvat maastossa ja peruskartoilla pitkinä kapeina jyrkkärantaisina järvinä tai soina (kuva 47). Siirrosten leikatessa sopivia yksiköitä ne erottuvat myös magneettisella kartalla. Suurimmat tällaiset siirrokset ovat kuluttaan noin 110 astetta olevat oikeakätiset Haukiperän ja Aittokosken siirrokset Ämmänsaaren lähistöllä. Haukiperän siirros erottuu hyvin sekä magneettisella kartalla että maastossa noin 20 kilometriä pitkänä kapeiden järvenlahtien ja jokien ketjuna. Aittokosken siirros sen sijaan jää paljolti hiekkakankaiden alle ja erottuukin lähinnä vain magneettisella kartalla.

Eniten myöhäisiä horisontaalisia liikuntoja esiintyy Ämmänsaaren ympäristössä ja Hossan alueella kartan koilliskulmassa. Ruhjeiden suhteellinen vähäisyys kartan länsiosissa saattaa kuitenkin johtua enemmän maapeitteiden paksuudesta kuin todellisista alueellisista eroista. Yleisimmät suunnat näille myöhäisille siirroksille ovat itä-läntinen, etelä-pohjoinen ja 110-kulkuinen. Kainuun liuskejakson läheisyydessä tavataan runsaammin myös lounas-koillinen-suuntaisia siirroksia, jotka ovat tyypillisiä Kainuun



Kuva 45. Voimakkaasti hiertynyttä ja muuttunutta tonaliittia louhoksessa havaintokohteella EPHE-2004-100 (R5411G, E=617 326, N=7199 473). Kuvaussuunta koilliseen ja vasaran pituus noin 60 cm.  
*Figure 45. Strongly sheared and altered tonalite in a quarry at location EPHE-2004-100. Photo taken towards northeast. Length of the hammer circa 60 cm.*



Kuva 46. Ruhjeinen tonaliitti havaintokohteella JJES-2006-100 (R5242H, E=571 726, N=7237 347). Kyseinen havaintokohde osuu Auhon siirroksen itä-läntiselle jatkeelle Näljängän itäpuolella. Mittakaavassa 1 cm jaotus. Kuva: Jukka Eskelinen.  
*Figure 46. Fractured tonalite at location JJES-2006-100 laying on the east-west continuation of the Auhon fault east of Näljängä. Scale bar with 1 cm intervals. Photo by Jukka Eskelinen.*



Kuva 47. Myöhäinen ruhje havaintokohteella PIMS-2005-121 (R5233G, E=590 089, N=7197 051) Ämmänsaaren keskustassa. Kuvaussuunta on länteen ja seinämän korkeus noin 10 metriä.

*Figure 47. Late fault at observation location PIMS-2005-121 in the centre of Ämmänsaari. Photo taken towards west and the height of the wall is circa 10 m.*

liuskejaksolle (Kontinen 2008) ja muokkaavat luonnollisesti myös arkeista kallioperää.

Ruhjeiden suhteelliset iät ovat monin paikoin vaikeasti tulkittavia ja ristiriitaisiakin. Etelä-pohjoista suuntaa voitaneen kuitenkin pitää vanhimpana, sitä ovat seuranneet itä-läntiset siirrokset, ja viimeiset merkittävät liikunnat ovat olleet 110-suuntaisia. Kainuun liuskejaksolla ja läheisyydessä esiintyvien lounas-koillisten siirrosten suhteellista ikää ei sopivien magneettisten anomalioiden puutteen ja paksujen maapeitteiden takia pysty arvioimaan.

Monet nuorista siirroksista sisältävät sekä plastisia että hauraita piirteitä ja antavat muutenkin sen

vaikutelman, että ne ovat olleet pitkään aktiivisia. Luultavaa onkin, että osa siirroksista on alun perin arkeisia (Luukkonen 1992) ja ne ovat uudelleen aktivoituneet proterotsooisena aikana. Selvää kuitenkin on, että alueella on esiintynyt merkittävää siirrostusta vielä diabaasijuonien tunkeutumisen jälkeenkin (kuva 32). Pajunen ja Poutiainen (1999) ovat ajoittaneet ksenotiinilla hydrotermisen muuttumisen ja siihen liittyneen siirroksen eteläisestä Kuhmosta saaden tulokseksi  $1852 \pm 2$  Ma. Ajoitetulla siirroksella on sama kulku kuin Haukiperän ja Aittokosken siirroksilla ja se saattaisi hyvinkin olla iältäänkin samanlainen.

### 3.5 Taloudelliset aiheet

Vihreäkivivyöhykkeeltä tunnetaan suuri joukko Ni- ja Au-mineralisaatioita, joita ovat vuosikymmenien kuluessa tutkineet Outokumpu Oyj, lukuisat pienemmät malminetsintäyhtiöt sekä GTK. Luukkonen ja muut (2002) ovat esittäneet tuoreimman yhteenvedon alueen vulkaniittien malmipotentialista ja malminmuodostusprosesseista. Vihreäkivivyöhykkeeltä tunnettujen mineralisaatioiden lisäksi alueen pohjoisosassa sijaitsee granitoidien ja migmatiittien keskellä Aittojärven molybdeeniaihe, jota Outokumpu Oyj ja Oulun yliopiston Arkeisten alueiden malmiprojekti tutki vuosina 1971–1986 (Niskanen 1986).

Timanttiyhtiöiden aktiivisuudesta alueella voidaan päätellä, että alueella tavataan myös kimberliittejä ja lamprofyyrejä, vaikka itse karttalehdelle ei sijoitukaan yhtään julkisesti tai valtauseraporttitietokantaan raportoitua lävistystä. Valtauseraporttitietokannasta löytyy tiedot välittömästi kartta-alueen pohjoispuolelta tavatuista kimberliiteistä (Riihiho ja Holmes 1997) ja lamprofyyreistä (Malmikaivos Oy 1999).

Tulikivi Oyj:llä tuotannossa olevan Saarikylän Kivikankaan vuolukiviesiintymän lisäksi vihreäkivijaksolta tunnetaan lukuisia muitakin esiintymiä. Tulikivi Oyj on myös koelouhinut Portin esiintymää

välittömästi Hallasenaho–Juntusranta tien pohjoispuolella. GTK on lisäksi kairannut lukuisia vuolukiviesiintymiä samalla alueella Suomussalmen kunnan, Tulikiven ja EU:n rahoittamassa hankkeessa vuosina 2000–2005 (Pirinen ja Niskanen 2007).

GTK on tehnyt alueella eri tahojen toimeksiannosta sekä alueellisia että kohteellisia rakennuskivitutkimuksia. Esiintymistä mikään ei ole vielä edennyt tuotantoon asti, mutta erityisesti diabaaseja voidaan pitää mahdollisina tuotantokivinä. Perusteellisimmin

tutkittu esiintymä sijaitsee Kivisuolla Perangan itäpuolella (S5312A, E=599 320, N=7255 220).

Kalliokiviaineisia alueella on tähän mennessä hyödynnetty vain vähän soravarojen runsauden johdosta. Alueen lukuisista diabaasijuonista olisi kuitenkin saatavissa laadukkaita murskeita. Laajoilta tonaliittisilta ja granodioriittisilta syväkivialueiltakin saatavien murskeiden laatu olisi riittävä useimpiin käyttötarkoituksiin.

### 3.6 Jatkotutkimusaiheita

Jatkotutkimuksia alueella voi suosittaa ainakin diabaaseja nuoremmille proterotsooisille ruhje- ja siirrosvyöhykkeille sekä niihin liittyville kvartsijuonille. Eri ruhjesuuntien keskinäistä järjestystä ja sitomista kallioperämme nuorempiin vaiheisiin kannattaa yrittää vaikka se vaikeaa onkin. Yksikideajoitusten ja eri ikämääritysmenetelmien käyttö ruhjeissa muuttuneisiin kiviin voisi mahdollisesti tuoda lisävalaistusta asiaan.

Hukkavaaran intruusio Juntusrannan eteläpuolella on ehdottomasti tarkemman tutkimuksen tarpeessa. Paljastumanäytteestä saadut pitoisuudet (Ni=1320 ppm, Cu=3307 ppm) ovat selvästi anomaalisia (analyysi 92, liite 4). Intruusio sijaitsee tien vieressä ja on kohtuullisesti paljastunut eli helpohkosti tarkistettavissa.

Granitoidien ja migmatiittien keskellä sijaitsevat ultramafiset kivet ovat myös varsin niukasti tutkittuja, useimmista on lähinnä timanttityhtiön lyhyt

tarkistusreikä, jolla on katsottu vain että kyseessä ei ole kimberliittioppi. Syytä olisi selvittää erityisesti onko Huurunvaara ja sen viereiset intruusiot todella 2,44 Ga-kerrosintruusioihin kuuluvia.

Ämmänsaarella olevat täysin peitteiset positiiviset anomaliat tulisi myös tarkistaa kairaamalla. Aiheutuvatko ne 2,44 Ga:n ikäisistä A-tyyppin graniiteista, arkeeisista leukogranitoideista vai mafisista/ultramafisista intruusioista? Koska alue on lähes kokonaan paksujen jäätikköjokikerrostumien peittämä, asiasta ei voi esittää edes lohkareisiin perustuen arveluja suuntaan tahi toiseen.

Kiillegneisseissä havaittu kemiallinen ero tavallisen Nurmes- ja siitä poikkeavan Turjanlinna-tyyppin välillä kaipaa myös lisäselvitystä: jos koostumusero on alkuperäinen eikä muuttumisen tai sulamisen synnyttämä, kyseessä on iältään ja/tai lähtömateriaaliltaan ja/tai kerrostumisympäristöltään tavallisista Nurmes-tyyppin paragneisseistä poikkeava ryhmä.

### 3.7 Retkeilykohteita

Alla on annettu lyhyt kuvaus muutamista mielenkiintoisista ja helposti saavutettavista paljastumista kartta-alueella. Alla mainittujen kohteiden lisäksi myös valokuvien paikat on valittu siten, että niitä voi käyttää retkeilykohteina. Alla onkin kuvattu joitain kuvien ottopaikkoja hieman kuvatekstiä laajemmin.

**Isovaara** (R5243G, E=590 951, N=7222 665, kuva 7). Verkkomaisesti ja raitaisesti migmatisoitunut amfiboliitti, jossa paikoin melko paljon neosomia. Paljastumajonon itälaidassa on sarvivälkediabaasi, jonka länsikontaktissa pegmatiitti, jonka reunaosat sisältävät pieniä diabaasimurskaleita.

**Riihivaara** (R5231F, E=563 122, N=7204 486, kuva 17). Vaihtelevasti migmatisoitunutta kiillegneisistä. Paikoin koostumuksellista kerrosvaihtelua, joka saattaa edustaa alkuperäistä kerroksellisuutta. Siellä täällä nähtävissä on trondhjemiittista leukosomia nuorempia graniittisia juonia. Nuorin deformaatiovaihe siirrostaa myös nuorimpia juonia. Länsipäässä Riihivaaran kvartsidioriittia kerrosmyötäisinä juonina.

**Kettulankangas** (R5233H, E=590 626, N=7203 510, kuva 13). Päivärinta-tyyppin migmatiittia, jossa trondhjemiittista leukosomia leikkaa paikoin nuorempi punertava leukogranodioriittinen leukosomi. Lisäksi varsinkin länsipäässä pieniä amfiboliittisulkeumia, jotka tässä tapauksessa lienevät budinoituneita arkeisia juonia. Lisäksi nähtävissä on loivasti etelään kaatuvia 10–20 senttiä leveitä rapautuneita rakoja.

**Aittokoski** (R5144F, E=587 114, N=7190 587, kuva 19). Voimakkaasti rapautuneita venymän suuntaisia linssejä Riihivaara-tyyppin kvartsidioriittissa. Paljastumalla on runsaasti leikkaavia leukograniittisia juonia ja n. 10 m leveä sarvivälkediabaasi, joka pohjoispäästään katkeaa siirrokseen, joka ei kuitenkaan siirrosta viereisiä leukogranitteja. Diabaasin itäkontaktissa on puolestaan selvästi nähtävissä pystyliikuntojen aiheuttamaa deformaatiota.

**Palosuo** (R5243F, E=584 318, N=7225 021). Kahdesta plagioklaasiporfyyristä helpommin saa-

vutettava. Ojanpohjalla oleva muutaman metrin levyinen juoni, jossa voimakkaan omamuotoisia 1–5 cm kokoisia plagioklaasihajarakeita. Perusmassan päämineraalit ovat plagioklaasi ja sarvivälke.

**Moukkorin kultamineralisaatio** (S5313A, E=620 600, N=7243 310). Mineralisaation kulta esiintyy pääasiassa hippuina siniharmaissa kvartsijuonissa. Isäntäkivenä on voimakkaasti muuttunut uraliitti-porfyyriitti.

**Vaaran nikkelimineralisaatio** (R5422D, E=606 897, N=7241 623). Vaaran esiintymässä nikkeli on milleriittipirotteessa Saarikylä-ryhmän oliviinikumulaatissa. Paikalta on irrotettu räjäyttämällä näytettä rikastuskokeisiin.

**Aittojärven molybdeenimineralisaatio** (S5312D, E=606 456, N=7260 458). Pintapuhkeamassa nähtävissä muuttunutta amfiboliittia ja granitoidia, molybdeeni esiintyy paljastumalla pirotteena.

**Hiirisuo** (R5243H, E=595 933, N=7226 399). Noin 200 metriä pitkä itä-läntinen paljastumajono, jossa nähtävissä koostumukseltaan vaihtelevia vulkaniitteja. Myös rakenteet vaihtelevat ja nähtävillä on mm. pyroklastisia breksioita, lapillituffeja ja mantelilaavoja.

**Käärmeharju** (R5242C, E=557 092, N=7234 349). Voimakkaasti liuskeista Kurkikylä-ryhmän vulkaniittia, jossa esiintyy usean metrin kokoisia epäsäännöllisiä juonikvartsiosueita.

### 3.8 Kiitokset

Lopuksi haluan esittää suuret kiitokset kaikille tähän työhön tavalla tai toisella osallistuneille, sekä tekstin lomassa nimeltä mainituille, että sille laajalle joukolle GTK:laisia, joista moni ei virallisesti ollut missään tekemisissä tämän työmaan kanssa. Kuitenkin he olivat aina valmiina auttamaan käytännön tekemisessä tai jakamaan omaa kokemustaan kallioperämme erinäisistä varhaisvaiheista. Erityisesti täy-

tyy mainita Puukkolan porukka ja kaikki se hiljainen tieto (osin geologininkin), josta olen vuosien varrella päässyt osalliseksi. Ilman teitä kaikkia ja panostanne tämä työ olisi vasta alkumetreillä eikä suinkaan vain viimeistä pistettä vailla. Sisältöä paransivat huomattavasti ennakkotarkastajina toimineet Reino Kesola ja Mikko Nironen. Kielellisen viimeistelyn hoiti ansiokkaasti Mikko Pitkänen.

## 4 SUMMARY

### 4.1 Introduction

The mapped area covers 5,540 km<sup>2</sup> in the northeast corner of Kainuu province. The majority of the area belongs to the municipality of Suomussalmi, only the southwest corner and western edge belong to Puolanka and Hyrynsalmi municipalities. The bedrock of the area was mapped for the first time by Matisto (1954, 1958) and Enkovaara et al. (1952, 1953) in scale 1:400 000. East Finland office of the Geological Survey of Finland started remapping of the area in scale 1:200 000 in 2003. Most of the fieldwork was carried out during 2004–2006.

The majority of the area belongs to the Archean Karelian province of the Fennoscandian Shield. The most striking feature of the map is the Kuhmo–Suomussalmi greenstone belt running 1–10 kilometres wide through the map in north-south direction. Nevertheless, the vast majority of the Archean bedrock in the area consists of migmatites with varying protoliths, Neo- and Mesoarchean granitoids and paragneisses. Proterozoic rocks intruding the Archean rocks consist of 2.44 Ga old A-type leucogranites and

mafic dykes with ages from 2.44 to 1.98 Ga. Parts of the Paleoproterozoic Kainuu Schist Belt are located at the western edge of the map.

After the first mapping over 50 years ago numerous exploration projects by GTK (Luukkonen et al. 2002), University of Oulu (Paakkola et al. 1981, Piirainen 1985), Outokumpu (OKURAPORTIT) and junior companies (VALTRAP) have investigated the greenstone belt because of its ore potential for Au, Ni and PGE. Areas outside the greenstone belt have received very little if any attention after the initial mapping. During the most recent decades, only diamond exploration companies (VALTRAP) have showed interest for the granitoid dominated basement.

Rocks in the area were named following the recommendations by IUGS (Le Maitre 2002) whenever possible. The prefix meta- was excluded from the text since all the rocks in the area have been metamorphosed to varying degrees. Coordinates in this report and its appendices are given using the new EUREF-FIN (UTM35) coordinate system.



## 4.2 Archean migmatites

### 4.2.1 Tonalite gneiss

The name tonalite gneiss has been used in the area for migmatitic rocks with uncertain origin. Tonalite gneisses occur throughout the area, but are more voluminous on the western side of the greenstone belt. Protoliths are probably amphibolites, igneous rocks and paragneisses. The structure is normally banded (fig. 4) and phases through schlieren into nebulitic (fig. 5) with increasing leucosome content. The rock typically contains amphibolite enclaves 5–50 cm across. Based on field observations, part of the migmatization in tonalite gneisses is older than some of the surrounding TTG magmatism (fig. 6).

### 4.2.2 Amphibolite

Amphibolites are met in the whole area as enclaves varying in size from centimetres to kilometres. Luukkonen (1988, 2001) used the term banded amphibolite for them. Originally they have been parts of greenstone belts, mafic dykes or small intrusions. Rocks are variably migmatized (figs. 7 and 8) and leucosome occurs as bands or as brecciating network. Primary structures have been destroyed, but some outcrops

have compositional variation which might represent the original bedding (fig. 8). Clinopyroxene is found in some samples east of the greenstone belt and garnet in two samples west of Ämmänsaari.

### 4.2.3 Paragneiss: Nurmes type

Based on texture, mineralogy, deposition age and chemistry, paragneisses occurring on the west side of the greenstone belt can be correlated with those described as Nurmes type (Kontinen et al. 2007). Minimum deposition age for these variably migmatized gneisses was obtained from a layer-parallel quartz diorite dyke in Riihivaara that gave zircon U-Pb age of  $2702 \pm 14$  Ma (H. Huhma, written communication 2007).

Typical migmatite structure in paragneisses is the banding (fig. 9). The mesosome is normally variably foliated and in some places shows compositional variation that might be the original bedding (fig. 10). In some places plagioclase shows porphyroblastic growth. Amphibolitic interlayers, from a few centimetres up to 200 metres thick, have been observed (figs. 9 and 11). These amphibolites are either younger dykes or volcanic interlayers.

## 4.3 Archean plutonic rocks

### 4.3.1 Tonalite and granodiorite: TTG series

The most common rock in the map area is trondhjemite-tonalite-granodiorite-granite belonging to the TTG series. These rocks are variably oriented (fig. 12) and biotite is the typical mafic mineral, while hornblende is met only locally. Known ages of the TTGs in the area vary between 2.95 and 2.72 Ga (Käpyaho et al. 2007, Mikkola and Huhma 2008), with most of the rocks aged between 2.83 and 2.79 Ga. This also coincides with the main phase of the greenstone belt volcanism (Luukkonen et al. 2002).

### 4.3.2 Migmatitic tonalite and granodiorite: Päivärinta type

A significant part of the TTG series rocks has been migmatized during the Neoproterozoic. These are usually banded migmatites (fig. 13) and have been named as Päivärinta type (Luukkonen et al. 2002, Käpyaho et al. 2007). Mesosomes resemble the unmigmatized TTG-rocks and the leucosomes are leucogranodioritic or trondhjemitic. The amount of leucosome varies both in outcrop and kilometre scale and seems to be linked to large shear zones. According to recent stud-

ies the main stage of neosome formation is younger than previously thought (2.7 Ga: Käpyaho et al. 2007, Mikkola and Huhma 2008).

### 4.3.3 Alkaline rock intrusion

During the mapping an alkaline rock intrusion was found in Likamännikkö near the western edge of the map, south of Vaaranniva village. Angular ultramafic fragments of varying size are surrounded by syenitic groundmass (fig. 14). Later also carbonatite fragments were found and 7 holes were drilled totalling 290 meters.

The intrusion is studied by Paula Salminen from the University of Helsinki for her master's thesis. According to preliminary results the amount of fragments drops sharply when moving away from the middle of the intrusion. Hydrothermal brecciating and quartz metasomatism is wide spread and if larger carbonatite or ultramafic intrusion exists, it is below the current erosion level. Mafic fragments contain  $P_2O_5$  up to 10 %. According to preliminary results the age of the intrusion is 2.74 Ga (H. Huhma, personal communication 2008).

#### **4.3.4 Tonalite and porphyritic granodiorite: Sanukitoid series**

The Kaapinsalmi sanukitoid in the western contact of the greenstone belt differs mineralogically and chemically from the TTGs in the area and has an intrusion age of  $2717 \pm 7$  Ma (Heilimo et al. 2007). The Kaapinsalmi sanukitoid contains hornblende visible to the unaided eye. The intrusion also typically contains melatonalite inclusions and near the contacts with the greenstone belt also volcanite enclaves (fig. 15). On the east side of the greenstone belt there are small intrusions of porphyritic tonalite-granodiorite (fig. 16), also belonging to the sanukitoid suite. The sanukitoid character in this Raate type is not as strong as in Kaapinsalmi, but yet clear.

#### **4.3.5 Quartz diorite: Riihivaara type**

Scattered throughout the area are small intrusions and dykes of Riihivaara type quartz diorite. These intrusions form a series from diorite to tonalite and are clearly more mafic than "normal" TTGs, but show same the type of structures and migmatization

as them (fig. 18). U-Pb dating from zircon done from the type locality yielded an intrusion age of  $2702 \pm 14$  Ma (H. Huhma, written communication 2007).

#### **4.3.6 Leucogranitoid**

Leucogranitoids younger than the TTGs and their migmatization are met throughout the mapped area (figs. 13, 18 and 20). Size of the leucogranitoids varies from a few square kilometres to veinlets just 1 cm across. Typically the rock is slightly heterogenous and contains pegmatitic patches. Sample dated from Vaamankallio 3 km southeast of Ämmänsaari gave an interpreted intrusion age of  $2688 \pm 8$  Ma and the oldest inherited zircon gave an age of 3202 Ma (Mikkola and Huhma 2008). The intrusion age is, within error limits, similar to the age of Konivaara from Hyrynsalmi (Luukkonen 1988) and to the ages of several leucogranites from Kuhmo (Käpyaho et al. 2006). Based on field observations, it is clear that some of the leucogranitoids are Proterozoic. For example in Aittokoski, a fault cutting a diabase does not cut all of the leucogranitoids.

### **4.4 Rocks of the greenstone belts**

Due to an earlier extensive project carried out by GTK in the greenstone belt to study its ore potential (Luukkonen et al. 2002), systematic mapping within the actual greenstone belt was not carried out for the purposes of this work. Instead, the map in this part was simplified from an unpublished map made during the above mentioned project and updated by Erkki Luukkonen in 2007. Papunen et al. (2008) have correlated the different units of Tipasjärvi, Kuhmo and Suomussalmi greenstone belts. They also propose some modifications to the old names used for these rocks. The names on the map follow the "old" system, but in the text below the new names are correlated with the old ones.

#### **4.4.1 Unclassified volcanites**

Northern end of the Kuhmo greenstone belt and some small enclaves outside the main belt are shown as unclassified volcanites. These basic (fig. 21) and komatiitic rocks (fig. 22) have lost most of their primary structures and with the current level of knowledge can not be correlated with the units described from the main part of the belt.

#### **4.4.2 Luoma Group**

Oldest parts of the Suomussalmi belt belong to the Luoma Group (Papunen et al. 2008: Luoma Formation). Luoma Group forms the majority of the Tormua branch that parts east from the main belt and turns northwards near the Russian border. Other areas are located in the western contact of the main belt west of Saarikylä and northwest of Kiannanniemi. Tholeiites of the Luoma Group are strongly deformed and most of the primary structures have been destroyed (fig. 23). Acid and intermediate parts of the group are pyroclastic (fig. 24) and tuffitic (fig. 25). Rocks belonging to the Luoma Group are 2.95–2.82 Ga old (Luukkonen et al. 2002).

#### **4.4.3 Saarikylä Group**

Rocks of the Saarikylä Group form the majority of the Suomussalmi greenstone belt. Lowest parts of the group are formed by iron and magnesium tholeiitic volcanites (Papunen et al. 2008: Tervonen Formation). Deformation level is in many places low and pillow structures are common (fig. 26). Next unit

are the komatiites (Papunen et al. 2008: Saarikylä Formation) with typically cumulate, spinifex and breccia structures (fig. 27). Several Ni-mineralizations are known within this unit and their highly altered variants are used for soapstone production (fig. 28). Komatiites were followed by basaltic komatiites

with clear chemical connections to the underlying komatiites. Saarikylä Group is topped by acid and intermediate volcanites and black schists (Papunen et al. 2008: Huutoniemi Formation). Volcanites are pyroclastites or tuffites (Luukkonen et al. 2002).

## 4.5 Early Proterozoic intrusive rocks

### 4.5.1 Porphyritic leucogranite

Rasinkylä and Ryysyranta intrusions together with adjacent porphyritic dykes belong to the 2.44 Ga old group of A-type granitoids described from Finland earlier by Luukkonen (1988) and Lauri and Mänttari (2002). K-feldspar occurs in groundmass and as porphyries 1–3 cm across (figs. 29 and 30). Ryysyranta intrusion is magnetic while Rasinkylä and the dykes are unmagnetic.

### 4.5.2 Diabases

Archean bedrock is cut by 2.44–1.98 Ga old diabases with varying directions. About half of the dykes on the map are drawn based only on a positive anomaly on the aeromagnetic map. Mafic mineral is pyroxene and/or hornblende. Pyroxene diabases occur near the Russian border and in the Ahjola area, where the general magnetic level is higher. Dykes containing more than traces of pyroxene were classified as pyroxene diabases on the map and dykes with only hornblende are classified as hornblende diabases. Unclassified diabase means that the dyke is drawn based on the aeromagnetic map or the index mineral was missing from the observation. Olivine was found from two dykes near the Russian border.

Majority of the dykes are undeformed and variably ophitic in texture (fig 31). Deformed diabases occur only in narrow shear zones (fig. 32). Exception to the

normal texture is the Lohisärkkä dyke containing few percent of epidotized plagioclase phenocrysts 2–3 cm across (fig. 33).

Vuollo and Huhma (2005) divide the mafic dykes of East Finland into five age groups (2.45; 2.32; 2.2; 2.1 and 1.98 Ga). The 2.2 Ga group is formed by the differentiated sills close to or within the Proterozoic sediments. Based on directions and geochemistry, most of the dykes in the area belong to the 2.1 and 1.98 Ga groups. However there is not a single dating from the map area and the ages are therefore interpreted from results in the adjacent areas.

### 4.5.3 Plagioclase porphyry

Plagioclase porphyry containing 20–30 % of euhedral plagioclases 1–5 cm across was met on two outcrops (fig. 34). Excluding the porphyritic texture, the rocks resemble mineralogically normal hornblende diabase, although the other sample contains small idiomorphic garnet inclusions inside the plagioclase porphyries. Both dykes occur in Archean rocks and do not show the Neoproterozoic deformation event. No cross cutting relationships with diabases were observed and therefore it can only be said that the dykes are very late Archean or younger. REE patterns are more fractionated than in diabases ( $La_N/Yb_N=8.81-12.79$ ) and the Eu-anomaly is slightly positive.  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$ , Ta, Nb are higher and MgO lower than in diabases.

## 4.6 Rocks of the Kainuu Schist Belt

Systematic mapping was not done within the Kainuu Schist Belt due to earlier works (Laajoki 1991, Kontinen 2008). Only the Karjalitic sills were redrawn based on low altitude aeromagnetic maps. The lowest unit of the schist belt is the Kurkikylä Group, consisting of basic volcanites and clastic sediments. These are followed by clastic, mainly sandy sedi-

ments of Korvuanjoki, East Puolanka, Hyrynsalmi and Somerjärvi Groups. All of the above mentioned groups and the adjacent Archean basement have been intruded by the 2.2 Ga old sills. Reader interested in the Kainuu Schist Belt can find the descriptions of different groups from earlier works by Laajoki (1991, 2005).

## 4.7 Quartz veins and veinlets

Almost pure vein quartz occurs throughout the map area as veins few metres wide. The largest one is the 50 metres wide and one-kilometre-long Lepilampi vein west of Pirttijärvi (fig. 35). Largest veins trend east-west and are located in left-handed faults

younger than the diabases. In addition to the larger veins, smaller veinlets, just few centimetres wide and with varying directions, are scattered in the Archean rocks of the area (fig. 36).

#### 4.8 Ultramafic rock of unknown age

Several small, round, positive anomalies occur throughout the map area. Typically they are caused by ultramafic rocks, often completely buried under quaternary overburden. Primary minerals and structures have been destroyed. Some of the rocks have pink

leucogranitic neosome (fig. 37). The rocks probably represent komatiitic remnants of greenstone belts as well as 2.44 Ga mafic intrusions linked to the larger ones in Koillismaa.

#### 4.9 Structural evolution

Archean structures in the area have been studied by Luukkonen (1992) and, since no structural analysis was done during the mapping, there is not much to add to the earlier interpretation. However, recent age data indicate that much of the leucosome formation is somewhat younger than previously thought (Käpyaho et al. 2007, Mikkola and Huhma 2008: 2.7 Ga). Kontinen and Paavola (2006) proposed a model along the FIRE-1 profile south of the now mapped area. In their model the Archean crust was divided into three blocks from west to east: Hyrynsalmi, Kuhmo and Vartiussalmi. This block model seems acceptable also in the Suomussalmi area. Paragneisses typical for the Hyrynsalmi block are scarcer in Suomussalmi than further south and they actually phase out completely before the northern boundary of the map. The whole Hyrynsalmi block probably ends together with the paragneisses. In figure 44, boundaries of Kontinen and Paavola (2006) are drawn with their possible continuations into the north.

Areal variation of the diabase mineralogy proves that different crustal blocks in Northeast Kainuu have

experienced differing evolution during the Proterozoic. Blocks with higher general magnetic level contain diabases with preserved pyroxene, while blocks with lower magnetic level have diabases containing hornblende. This difference is exceptionally clear north of Raate where a narrow north-south trending shear zone separates highly magnetic block in the east from less magnetic block in the west. This boundary coincides with the Kuhmo-Vartiussalmi boundary of Kontinen and Paavola (2006). The fault is clearly visible in granitoids of the area (fig. 45). Another area of higher magnetic level is in the Ahjola area west of the greenstone belt.

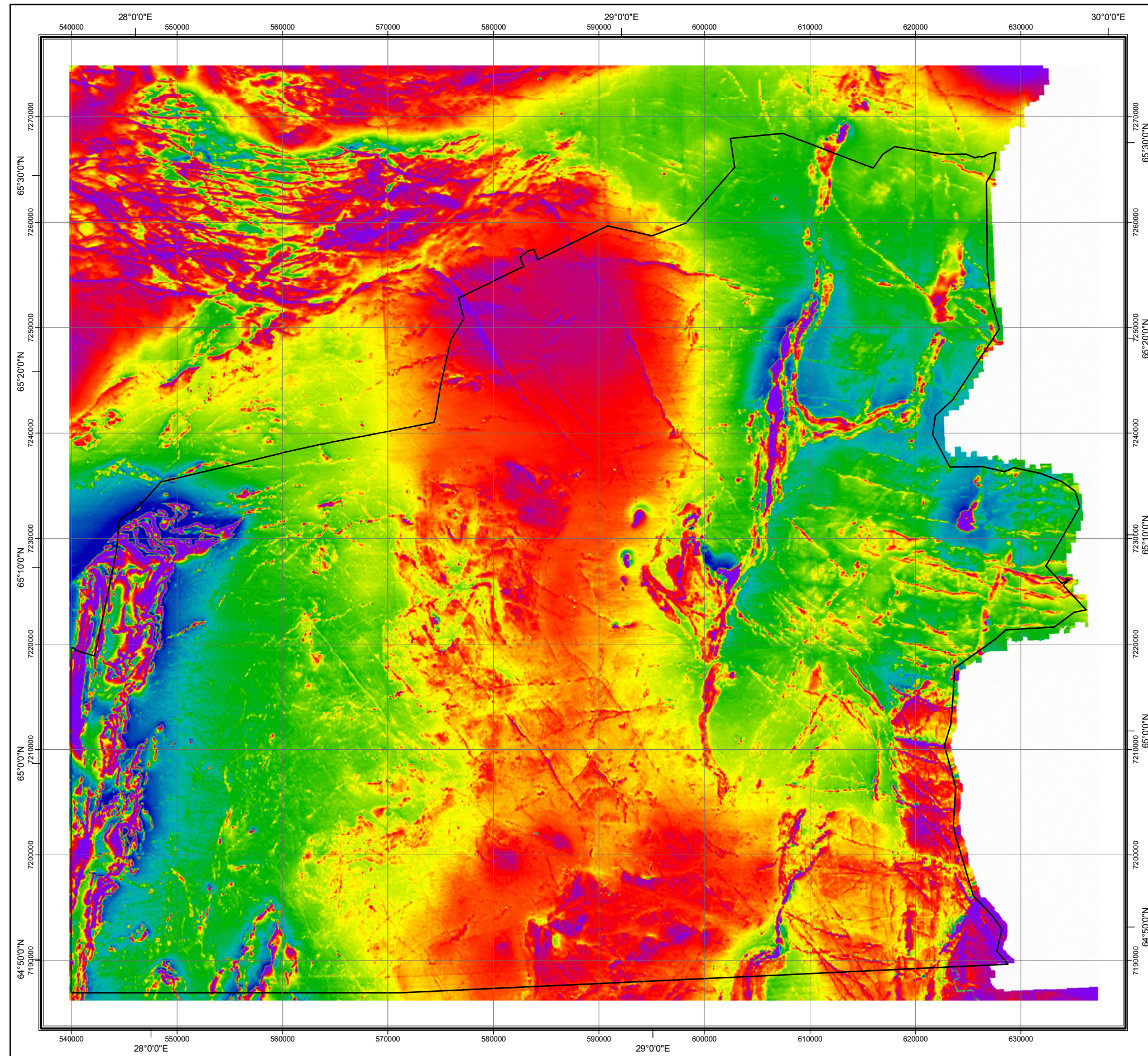
Faults with mainly horizontal movement are common especially in the Ämmänsaari (fig. 47) and Hossa areas. These faults are either visible on the magnetic map where they cut diabases, or on topographic maps where they can be seen as lines of narrow lakes and rivers. These young faults feature south-north, east-west and northwest-southeast directions. Near the Kainuu Schist Belt also southwest-northeast faults are common.

### KIRJALLISUUSLUETTELO

- Boynton, W. V. 1984.** Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies. Julkaisussa: Henderson, P. (toim.) Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 63–114.
- Enkovaara, A., Härme, M. & Väyrynen, H. 1952.** Oulu–Tornio. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartta, lehdet C5–B5. Geologinen tutkimuslaitos.
- Enkovaara, A., Härme, M. & Väyrynen, H. 1953.** Oulu–Tornio. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartan selitys, lehdet C5–B5. Geologinen tutkimuslaitos. 153 s.
- Heilimo, E. 2006.** Kaapinsalmen sanukitoidin ja sitä ympäröivien granitoidien petrologia ja geokemia. Julkaisematon pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, geologian laitos. 62 s. Koko teksti: [http://arkisto.gtk.fi/opinnaytteet/Heilimo\\_2006.pdf](http://arkisto.gtk.fi/opinnaytteet/Heilimo_2006.pdf)
- Heilimo, E., Mikkola, P. & Halla, J. 2007.** Age and petrology of the Kaapinsalmi sanukitoid intrusion in Suomussalmi, eastern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 79 (1), 117–125. Koko teksti: [http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume79/Heilimo\\_etal\\_2007.pdf](http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume79/Heilimo_etal_2007.pdf)
- Herron, M. M. 1988.** Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Petrology, vol.58 (5), 820–829.
- Jensen, L. S. 1976.** A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper, no. 66.
- Kontinen, A. 1989.** Hyrynsalmi. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 3443. Geologian tutkimuskeskus.
- Kontinen, A. & Paavola, J. 2006.** A preliminary model of the crustal structure of the eastern Finland Archean complex between Vartiussalmi and Vieremä, based on constraints from surface geology and FIRE 1 seismic survey. Julkaisussa: Kukkonen, I. T. & Lahtinen, R. (toim.) Finnish Reflection Experiment FIRE 2001–2005. Geological Survey of Finland, Special Paper 43, 223–240.
- Kontinen, A., Käpyaho, A., Huhma, H., Karhu, J., Matukov, D. I., Larionov, A. & Sergeev, S. A. 2007.** Nurmes paragneisses in eastern Finland, Karelian craton: provenance, tectonic setting and implications for Neoproterozoic craton correlation. Precambrian Research 152 (3–4), 119–148.
- Kontinen, A. 2008.** Preliminary Tectonostratigraphic Map of the Kainuu–Outokumpu Thrust Belt. Espoo: Geological Survey of Finland. Ennakkotarkastuksessa.
- Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. & Pekkala, Y. (toim.) 1997.** Suomen kallioperäkartta – Berggrundskarta över Fin-

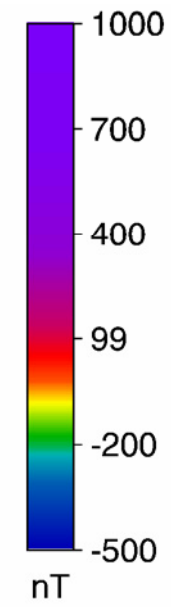
- land – Bedrock map of Finland 1:1 000 000. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
- Käpyaho, A. 2006.** Whole-rock geochemistry of some tonalite and high Mg/Fe gabbro, diorite, and granodiorite plutons (sanukitoid suites) in the Kuhmo district, eastern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 78 (2), 121–141. Koko teksti: <http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume78/kapyaho.pdf>
- Käpyaho, A., Mänttari, I. & Huhma, H. 2006.** Growth of Archaean crust in the Kuhmo district, eastern Finland: U-Pb and Sm-Nd isotope constraints on plutonic rocks. *Precambrian Research* 146 (3–4), 95–119.
- Käpyaho, A., Hölttä, P. & Whitehouse, M. J. 2007.** U-Pb zircon geochronology of selected Archaean migmatites in eastern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 79 (1), 95–115. Koko teksti: [http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume79/Kapyaho\\_etal\\_2007.pdf](http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume79/Kapyaho_etal_2007.pdf)
- Laajoki, K. 1991.** Stratigraphy of the northern end of the early Proterozoic (Karelian) Kainuu Schist Belt and associated gneiss complexes, Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 358. 105 s., 3 liitekarttaa.
- Laajoki, K. 1998.** Karjalaiset liuskealueet – mantereen ikivanha pintakivipeite. Julkaisussa: Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.) Suomen kallioperä 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki: Suomen geologinen seura, 165–197.
- Laajoki, K. 2005.** Karelian supracrustal rocks. Julkaisussa: Lehtinen, M., Nurmi, P. A. & Rämö, O. T. (toim.) Precambrian geology of Finland: key to the evolution of the Fennoscandian Shield. *Developments in Precambrian geology* 14. Amsterdam: Elsevier, 279–341.
- Lahtinen, J. 2003.** Tutkimustyöselostus Huurunvaaran–Palovaaran intrusioiden alueella valtauksilla Palovaara 1–2, Hyövympuro 1–2 ja Huurunvaara 1–3 vuonna 2003 suoritetuista malmitutkimuksista. *Outokummun aineistot*, 080/4511/JJL/03. 3 s., 3 liitettä. Koko teksti: [http://arkisto.gtk.fi/oku/080\\_mti\\_claim/080\\_4511\\_jjl\\_03\\_huuru\\_valtaus\\_seloste.pdf](http://arkisto.gtk.fi/oku/080_mti_claim/080_4511_jjl_03_huuru_valtaus_seloste.pdf)
- Lauri, L. S. & Mänttari, I. 2002.** The Kynsijärvi quartz alkali feldspar syenite, Koillismaa, eastern Finland – silicic magmatism associated with 2.44 Ga continental rifting. *Precambrian Research* 119 (1–4), 121–140.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. A. 1986.** Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27 (3), 745–750.
- Le Maitre, R. W. (toim.) 2002.** *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms.* Cambridge University Press, 2. painos. 208 s., 3 liitettä.
- Luukkonen, E. 1988.** Moisiovaaran ja Ala-Vuokin kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Moisiovaara and Ala-Vuoksi map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartojen selitykset, lehdet 4421 ja 4423+4441. Geologian tutkimuskeskus. 90 s.
- Luukkonen, E. 1992.** Late Archaean and early Proterozoic structural evolution in the Kuhmo–Suomussalmi terrain, eastern Finland. *Turun yliopiston julkaisuja, Sarja A. II, Biologica – Geographica – Geologica* 78. Turun yliopisto. 115 s.
- Luukkonen, E. 2001.** Lentiiran kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Lentiira map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartojen selitykset, lehti 4414 + 4432. Geologian tutkimuskeskus. 51 s., 1 liite.
- Luukkonen, E., Halkoaho, T., Hartikainen, A., Heino, T., Niskanen, M., Pietikäinen, K. & Tenhola, M. 2002.** Itä-Suomen arkeoiset alueet –hankkeen (12201 ja 2105000) toiminta vuosina 1992–2001 Suomussalmen Hyrynsalmen, Kuhmon, Nurmeksen, Rautavaaran, Valtimon, Lieksan, Ilomantisin, Kiihtelysvaaran, Enon, Kontiolahden, Tohmajärven ja Tuupovaaran alueella. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/4513/2002/1. 265 s., 5 liitettä. Koko teksti: [http://arkisto.gtk.fi/m19/4513/m19\\_4513\\_2002\\_1.pdf](http://arkisto.gtk.fi/m19/4513/m19_4513_2002_1.pdf)
- Luukkonen, E. 2005.** Nurmeksen kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Nurmes map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartojen selitykset lehti 4321. Geologian tutkimuskeskus. 65 s., 4 liitekarttaa.
- Malmikaivos Oy 1999.** Malminetsintätutkimukset valtausalueella Iso-Karhujärvi 1, Kaivosrekisteri nro 5135/1. Valtausraportti. 2 s., 15 liitettä. Koko teksti: [http://arkisto.gsf.fi/valrap/5135\\_1.pdf](http://arkisto.gsf.fi/valrap/5135_1.pdf)
- Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J.-F. & Champion, D. 2005.** An overview of adakite, tonalite-trondhjemit-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79, 1–14.
- Matisto, A. 1954.** Suomussalmi. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartta, lehti D5. Geologinen tutkimuslaitos.
- Matisto, A. 1958.** Suomussalmi. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartan selitys, lehti D5. *Geologinen tutkimuslaitos*. 115 s.
- Middlemost, E. A. K. 1985.** *Magma and magmatic rocks; an introduction to igneous petrology.* London: Longman Group. 266 s.
- Mikkola, P. 2007.** Suomussalmen arkeoisesta kallioperästä ja Kianta terraanin pohjoisosista yleensä. Julkaisussa: Kultti, S., Kaakinen, A., Salonen, V.-P. & Rämö, T. (toim.). *Geologian 5. tutkijapäivät 6.–8.3.2007: ohjelma ja esitysten tiivistelmät.* Publications of the Department of Geology. Series A2. Helsinki: University of Helsinki, 31–32.
- Mikkola, P. & Huhma, H. 2008.** Single grain zircon U-Pb ages of Archean granitoids from Suomussalmi in western Karelian Province. Julkaisussa: 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway, August 6–14, 2008, abstracts volume. Optical disc (CD-ROM). Koko teksti: <http://www.33igc.org/coco/LayoutPage.aspx>
- Mutanen, T. & Huhma, H. 2003.** The 3.5 Ga Siurua trondhjemit gneiss in the Archaean Pudasjärvi Granulite Belt, northern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 75 (1–2), 51–68.
- Mänttari, I. & Hölttä, P. 2002.** U-Pb dating of zircons and monazites from Archean granulites in Varpaisjärvi, central Finland: evidence for multiple metamorphism and Neoproterozoic accretion. *Precambrian Research* 118 (1–2), 101–131.
- Niskanen, P. 1986.** Suomussalmen Aittojärven molybdeeniesiintymä. Arkeoisien alueiden malmiprojekti, raportti 23. 116 s., 4 liitettä.
- O’Connor, J. T. 1965.** A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. U. S. Geological Survey Professional Paper, 525–B, B79–B84.
- OKURAPORTIT.** Outokummun malminetsinnän raporttien tietokanta. [www.tietokanta.gtk.fi/geotieto/viitetiedot/Okuraportit.html](http://www.tietokanta.gtk.fi/geotieto/viitetiedot/Okuraportit.html)
- Paakkola, J., Piirainen, T., Koivumaa, S., Lanne, E., Saarnisto, M. & Taipale, K. 1981.** Kuhmon ja Kittilän malmiprojektien loppuraportti. Kuhmon ja Kittilän malmiprojektit, Raportti 49. Oulu: Oulu yliopisto. 93 s.
- Pajunen, M. & Poutiainen, M. 1999.** Palaeoproterozoic prograde metasomatic-metamorphic overprint zones in Archaean tonalitic gneisses, eastern Finland. Julkaisussa: Kähkönen, Y. & Lindqvist, K. (toim.) Studies related to the Global Geoscience Transects/SVEKA Project in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 71 (1), 73–132.
- Papunen, H., Halkoaho, T. & Luukkonen, E. 2008.** Archean Evolution of the Tipasjärvi–Kuhmo–Suomussalmi Greenstone Complex, Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin.* Ennakkotarkastuksessa.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. 1972.** *Sand and Sandstone.* Berlin: Springer-Verlag. 600 s.

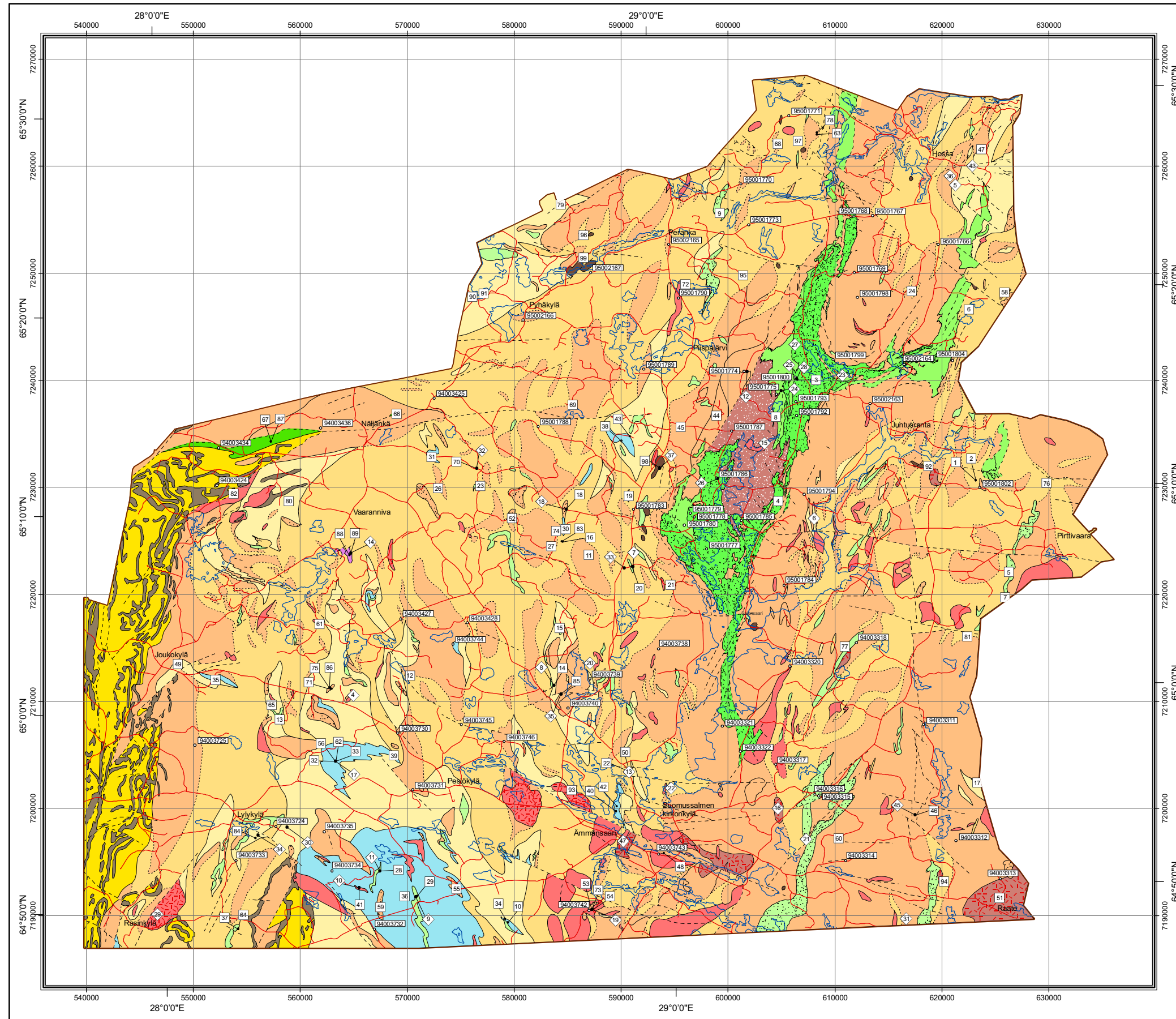
- Piirainen, T. (toim.) 1985.** Arkeisten alueiden malmiprojektin loppuraportti. Arkeisten alueiden malmiprojekti, Raportti 28. Oulu: Oulun yliopisto. 183 s., 2 liitekarttaa.
- Pirinen, H. & Niskanen, M. 2007.** Tutkimustyöselostus Suomussalmen kunnassa valtausalueilla Hoikkakangas (7178/1), Kangaslampi (7256/1), Takkospuro (7256/2), Hakovaara (7177/1), Kallioranto (6856/1), Pitkänoro (7170/1), Aurasalo (7169/1) ja Huutopelto (7179/1) suoritetuista vuolukivitutkimuksista vuosina 2000–2005. Valtausraportti. 27 s., 24 liitettä.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R. & Bornhorst, T. J. 2007.** The Rock Geochemical Database of Finland Manual. Tutkimusraportti – Report of Investigation 164. 40 s. Koko teksti: <http://arkisto.gsf.fi/tr164/tr164.pdf>
- Riihiaho, M. A. & Holmes, P. K. 1997.** Summary Report for the Kalettomanpuro (5939/7). Valtausraportti. 3 s., 2 liitettä. Koko teksti: [http://arkisto.gtk.fi/valrap/5939\\_7.pdf](http://arkisto.gtk.fi/valrap/5939_7.pdf)
- Rämö, O. T. & Luukkonen, E. J. 2001.** 2.4 Ga A-type granites of the Kainuu region, eastern Finland: characterization and tectonic significance. Julkaisussa: EUG XI, Journal of Conference Abstracts. Koko teksti: <http://www.the-conference.com/JConfAbs/6/SS02.pdf>
- Sederholm, J. J. 1930.** Pre-Quaternary Rocks of Finland. Bulletin de la Commission géologique de Finlande 91. 47 s., 1 liitekartta.
- VALTRAP.** Valtaukset ja valtausraportit. [www.tietokanta.gtk.fi/geotieto/viitetiedot/Valtaukset.html](http://www.tietokanta.gtk.fi/geotieto/viitetiedot/Valtaukset.html)
- Vuollo, J. & Huhma, H. 2005.** Paleoproterozoic mafic dikes in NE Finland. Julkaisussa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, O. T. (toim.) Precambrian geology of Finland: key to the evolution of the Fennoscandian Shield. Developments in Precambrian geology 14. Amsterdam: Elsevier, 195–236.



AEROMAGNEETTINEN KARTTA

TOTAALI-INTENSITEETTI  
DGRF-65 TASOSSA





**KOILLIS-KAINUUN KARTTA-ALUEEN  
 KALLIOPERÄ**  
**PRE-QUATERNARY ROCKS OF NORTHEAST KAINUU  
 MAP-SHEET AREA**

- PROTEROTSOOISET KIVILAJIT  
 PROTEROZOIC ROCKS**
- Klastisia sedimenttikiviä  
Clastic sedimentary rocks
  - Emäksistä vulkaniittia  
Basic volcanic rock
  - Porfyriittistä leukogranitiita  
Porphyritic leucogranite
- ARKEEISET KIVILAJIT  
 ARCHEAN ROCKS**
- Vihreäkiviviyöhykkeiden kivilajit - Rocks of the greenstone belts*
- Saarikylä-ryhmä - Saarikylä Group
  - Luoma-ryhmä - Luoma Group
  - Määrittelemättömät vulkaniitit - Undefined volcanic rocks
- Arkeaiset syväkivet - Archean plutonic rocks*
- Leukogranitoidia  
Leucogranitoid
  - Kvartsidioriittia: Riihivaara-tyyppi  
Quartz diorite: Riihivaara type
  - Porfyriittistä granodioriittia: Sanukitoidisarja  
Porphyritic granodiorite: Sanukitoid series
  - Tonalittia: Sanukitoidisarja  
Tonalite: Sanukitoid series
  - Alkalisiveä  
Alkaline rock
  - Migmatiittista tonalittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi  
Migmatitic tonalite and granodiorite: Päivärinta type
  - Tonalittia ja granodioriittia: TTG-sarja  
Tonalite and granodiorite: TTG series
- Arkeaiset migmatiitit - Archean migmatites*
- Paragneissiä: Nurmes-tyyppi  
Paragneiss: Nurmes type
  - Amfiboliittia  
Amphibolite
  - Tonalittigneissiä  
Tonalite gneiss
- ikäään määrittelemätön - Unknown age*
- Ultramafista kiveä  
Ultramafic rock
- Analyysipiste  
Analysed sample
- Analyysi kalliogeokemian tietokannasta (Rasilainen ja muut 2007)  
Analysis from the rock Geochemical Database of Finland
- Valokuva  
Photograph



Liite 3. Geokemian diagrammeissa käytetyt litogeokemian aineiston analyysit (Rasilainen ja muut 2007).  
Appendix 3. Analyses from the Rock Geochemical Database of Finland used in geochemical diagrams.

Numero	E-UTM35	N-UTM35	Kivilaji	Ryhmä
Number	E-UTM35	N-UTM35	Rock type	Group
95001785	601263	7226925	Komatiitti	Komatiitti
95001793	606340	7238005	Vuolukivi	Komatiitti
95001800	606260	7240303	Vuolukivi	Komatiitti
94003315	608491	7201176	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
94003316	608133	7201329	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
94003322	601167	7205352	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001768	611800	7255330	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001777	598007	7224248	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001778	596873	7227246	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001786	598921	7230897	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001792	606401	7236707	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95001799	609834	7241975	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
95002164	616463	7241490	Emäksinen vulkaniitti	Arkeinen vulkaniitti
94003420	542031	7225226	Emäksinen vulkaniitti	Emäksistä vulkaniittia: Kurkikylä-ryhmä
94003434	552387	7233693	Emäksinen vulkaniitti	Emäksistä vulkaniittia: Kurkikylä-ryhmä
95001775	604554	7238721	Intermediäärinen vulkaniitti, arkeinen	Arkeinen vulkaniitti
95001779	596476	7227597	Intermediäärinen vulkaniitti, arkeinen	Arkeinen vulkaniitti
94003321	599477	7207685	Hapan vulkaniitti, arkeinen	Arkeinen vulkaniitti
95001780	595929	7226501	Hapan vulkaniitti, arkeinen	Arkeinen vulkaniitti
94003311	618312	7207877	Diabaasi	Diabaasi
94003313	625473	7193424	Diabaasi	Diabaasi
94003733	554027	7195138	Diabaasi	Diabaasi
95001773	601949	7254540	Diabaasi	Diabaasi
94003424	552227	7230224	Gabro	Gabroa kerrosjuonina
94003734	562983	7194189	Paragneissi	Paragneissia: Nurmes-tyyppi
94003744	574299	7215395	Paragneissi	Paragneissia: Nurmes-tyyppi
94003317	604496	7204139	Granodioriitti	Leukogranitoidi
94003438	565132	7243539	Graniitti	Leukogranitoidi
94003732	566951	7188731	Trondhemiitti	Leukogranitoidi
95001790	595370	7247691	Graniitti	Leukogranitoidi
95002168	582904	7263992	Granodioriitti	Leukogranitoidi
94003742	587009	7190499	Tonaliitti	Tonaliittia: Riihivaara-tyyppi
94003743	593537	7195732	Granodioriitti	Porfyryistä granodioriittia: Sanukitoidisarja
95001787	600366	7235249	Tonaliitti	Tonaliittia: Sanukitoidisarja
94003312	621321	7196981	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003314	611012	7195117	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003425	572547	7238349	Leukogranodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003427	569430	7217729	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003436	561903	7235572	Leukogranodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003437	558755	7241969	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003724	557755	7198297	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003725	550168	7205934	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003730	569121	7207034	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003731	570550	7201766	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003735	562263	7197837	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003738	593517	7214906	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003740	585052	7209401	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003745	575099	7207868	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003746	579086	7206265	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001745	627668	7274153	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001764	610099	7269402	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001765	605019	7275174	Graniitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001766	619653	7252701	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001767	613539	7255413	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001769	611820	7250086	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001770	601217	7258359	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001771	605686	7264767	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001774	601501	7240828	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001783	591187	7227926	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001784	605254	7220859	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001789	592133	7241052	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001794	607132	7229356	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001798	612091	7247757	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001802	623556	7229996	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95001804	621020	7241857	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95002163	613286	7237815	Granodioriitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95002165	594472	7252683	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95002166	580856	7245654	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
95002169	591290	7261068	Tonaliitti	Tonaliittia ja granodioriittia: TTG-sarja
94003318	612015	7215475	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
94003320	605792	7213328	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
94003428	575627	7217359	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
94003739	587094	7212120	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
95001746	625418	7270973	Migmatiittinen granodioriitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
95001762	617432	7273034	Migmatiittinen granodioriitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
95001788	582260	7235708	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi
95002167	587170	7250073	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittista tonaliittia ja granodioriittia: Päivärinta-tyyppi

Liite 4. Geokemian analyysit, näytteiden koordinaatit ja kivilajit.

Appendix 4. Geochemical analysis, sample coordinates and rock types.

Arkeisia vulkaniitteja Archean volcanites						
Numero	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub> %	48.50	49.20	37.60	47.90	47.90	48.70
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.41	0.04	0.51	0.97	1.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.23	7.29	1.00	16.50	14.50	13.60
FeO <sub>t</sub>	9.28	9.56	6.65	7.63	9.43	10.37
MnO	0.16	0.16	0.11	0.15	0.21	0.21
MgO	19.60	19.00	35.20	9.26	6.62	6.89
CaO	7.43	7.24	0.37	12.57	13.54	11.69
Na <sub>2</sub> O	<0.07	<0.07	<0.07	1.83	2.07	1.79
K <sub>2</sub> O	0.16	0.57	<0.0036	0.24	0.21	1.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.06	<0.014	0.02	0.07	0.10
<b>Total</b>	<b>92.83</b>	<b>93.48</b>	<b>80.97</b>	<b>96.62</b>	<b>95.51</b>	<b>95.84</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	32	82	20	88	53	204
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	66	80	<60	100	205	174
<b>Co</b>	72.2	70.4	109.0	39.7	45.2	48.6
<b>Cr</b>	2230	1937	2508	967	370	231
<b>Cu</b>	<20	<20	<20	<20	83	88
<b>Ga</b>	<20	<20	<20	20	<20	21
<b>Hf</b>	1.2	1.4	<0.5	0.7	1.4	2.0
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	1.8	1.7	<0.2	1.0	2.2	3.4
<b>Ni</b>	997	922	2611	138	218	126
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	9.1	29.0	0.3	7.0	5.3	41.3
<b>S</b>	<60	<60	<60	<60	1010	1739
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	18.3	16.3	5.6	49.6	36.0	37.1
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	11	13	23	182	169	197
<b>Ta</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2
<b>Th</b>	1.9	1.7	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
<b>U</b>	0.4	0.4	<0.2	<0.2	<0.2	0.3
<b>V</b>	123	118	19	183	257	259
<b>Y</b>	7.9	7.9	1.1	10.7	19.1	25.6
<b>Zn</b>	95	103	52	64	92	131
<b>Zr</b>	50.1	47.6	4.4	19.9	44.4	67.2
<b>La ppm</b>	6.27	8.92	0.68	1.29	3.14	4.56
<b>Ce</b>	14.70	16.30	0.86	3.40	8.09	11.70
<b>Pr</b>	1.77	1.93	0.10	0.56	1.20	1.84
<b>Nd</b>	7.23	7.46	0.40	2.51	6.71	8.84
<b>Sm</b>	1.41	1.43	<0.2	0.98	1.98	2.55
<b>Eu</b>	0.70	0.53	<0.1	0.42	0.77	1.08
<b>Gd</b>	1.70	1.78	0.15	1.49	2.87	3.72
<b>Tb</b>	0.26	0.24	<0.1	0.25	0.49	0.67
<b>Dy</b>	1.41	1.37	0.18	1.88	3.29	4.66
<b>Ho</b>	0.29	0.29	<0.1	0.36	0.69	0.93
<b>Er</b>	0.80	0.73	0.16	1.25	2.08	2.78
<b>Tm</b>	0.14	0.13	<0.1	0.16	0.32	0.41
<b>Yb</b>	0.74	0.70	<0.15	1.04	1.99	2.63
<b>Lu</b>	<0.1	<0.1	<0.1	0.17	0.31	0.40
<b>C</b>	169	102	59500	690	2610	444
<b>Mg#</b>	79.02	77.99	90.41	68.40	55.58	54.21
<b>Eu/Eu*</b>	1.38	1.02	-	1.06	0.99	1.07
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	5.71	8.59	-	0.84	1.06	1.17
<b>Näyte / Sample</b>	BBT\$-2006-131.2	BBT\$-2006-131.3	PIM\$-2006-8.3	EPHE-2004-362.1	MTL1-2003-144.1	BBT\$-2006-287.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Komatiitti	Komatiitti	Vuolukivi	Emäksinen vulkaniitti	Emäksinen vulkaniitti	Emäksinen vulkaniitti
<b>E_UTM35</b>	623009	623009	606300	604523	626090	622362
<b>N_UTM35</b>	7230740	7230740	7240113	7228787	7222162	7246682
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (FeO / 40.31) / ((MgO / 40.31) + (FeO / 71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuoran, määrittämissuoran suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

Liite 4. Jatkuu.  
Appendix 4. Continued.

Numero	Arkeisia vulkaniitteja Archean volcanites			Amfiboliitteja Amphibolites		
	7	8	9	10	11	12
SiO2 %	47.50	56.30	58.60	49.40	48.90	48.30
TiO2	0.83	1.01	0.97	0.66	1.06	0.97
Al2O3	16.40	15.70	14.40	13.80	14.30	14.80
FeOt	9.89	8.23	8.33	9.53	11.56	11.57
MnO	0.23	0.10	0.12	0.18	0.19	0.20
MgO	5.81	4.52	5.26	8.91	8.41	7.44
CaO	15.74	7.41	5.83	10.50	9.96	10.06
Na2O	1.52	3.52	2.47	2.16	2.27	2.80
K2O	0.13	1.42	2.17	0.52	0.52	1.10
P2O5	0.05	0.26	0.32	0.05	0.06	0.07
<b>Total</b>	<b>98.10</b>	<b>98.47</b>	<b>98.48</b>	<b>95.70</b>	<b>97.23</b>	<b>97.31</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	58	404	718	54	128	108
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	283	162	355	163	1236	446
<b>Co</b>	32.8	31.6	26.8	50.2	46.1	48.0
<b>Cr</b>	232	72	174	469	298	210
<b>Cu</b>	<20	<20	<20	26	36	81
<b>Ga</b>	24	<20	24	<20	22	<20
<b>Hf</b>	1.1	3.9	4.4	1.4	1.9	1.5
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	1.8	8.6	8.6	1.2	2.4	2.2
<b>Ni</b>	118	54	76	164	155	128
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	3.6	34.9	79.7	8.1	9.8	37.6
<b>S</b>	<60	<60	82	322	<60	<60
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	32.9	26.2	19.0	38.5	37.8	37.8
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	165	303	309	105	145	135
<b>Ta</b>	<0.2	0.5	0.5	<0.2	<0.2	<0.2
<b>Th</b>	<0.5	4.7	5.2	<0.5	<0.5	<0.5
<b>U</b>	<0.2	1.0	1.1	<0.2	<0.2	<0.2
<b>V</b>	208	128	132	227	272	279
<b>Y</b>	17.7	25.6	21.4	13.8	21.6	20.4
<b>Zn</b>	84	62	92	93	109	136
<b>Zr</b>	40.5	177.0	183.0	33.3	57.5	47.1
<b>La ppm</b>	2.50	26.60	34.30	2.07	3.31	2.66
<b>Ce</b>	5.98	61.30	70.20	5.04	7.82	7.10
<b>Pr</b>	0.97	6.84	8.06	0.74	1.28	1.10
<b>Nd</b>	5.12	27.90	31.10	4.16	6.94	6.32
<b>Sm</b>	1.66	5.64	5.27	1.34	2.07	2.24
<b>Eu</b>	0.65	1.28	1.30	0.52	0.79	0.70
<b>Gd</b>	2.38	4.82	5.03	1.84	3.19	2.81
<b>Tb</b>	0.40	0.69	0.73	0.34	0.55	0.54
<b>Dy</b>	2.76	4.32	4.32	2.21	3.56	3.62
<b>Ho</b>	0.59	0.83	0.80	0.50	0.81	0.69
<b>Er</b>	1.78	2.47	2.30	1.44	2.25	2.28
<b>Tm</b>	0.27	0.34	0.32	0.20	0.34	0.31
<b>Yb</b>	1.77	2.47	2.13	1.63	2.32	2.10
<b>Lu</b>	0.27	0.34	0.30	0.23	0.33	0.32
<b>C</b>	--	357	245	360	595	302
<b>Mg#</b>	51.15	49.46	52.95	62.50	56.45	53.40
<b>Eu/Eu*</b>	1.00	0.75	0.77	1.01	0.94	0.85
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	0.95	7.26	10.86	0.86	0.96	0.85
<b>Näyte / Sample</b>	PIM\$-2007-20.1	EPHE-2004-327.3	PIM\$-2003-117.1	BBT\$-2004-248.1	BBT\$-2005-37.1	BBT\$-2005-291.1
<b>Kivilaaji / Rock type</b>	Emäksinen vulkaniitti	Intermediäärinen vulkaniitti	Intermediäärinen vulkaniitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti
<b>E_UTM35</b>	625748	604303	599062	579239	586816	570110
<b>N_UTM35</b>	7219783	7236648	7255679	7189412	7223760	7212486
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeOt/71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuoran, määrittämissuoran suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

		Amfiboliitteja Amphibolites					
Numero	13	14	15	16	17	18	
SiO <sub>2</sub> %	50.50	47.80	53.50	49.50	50.30	48.90	
TiO <sub>2</sub>	0.79	0.92	0.94	0.67	0.57	0.83	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.20	15.10	14.90	13.80	14.10	14.80	
FeO <sub>t</sub>	9.47	11.70	8.89	9.40	9.54	9.57	
MnO	0.22	0.20	0.23	0.20	0.18	0.18	
MgO	8.36	7.46	5.96	9.61	8.24	8.19	
CaO	10.06	10.37	7.62	9.29	10.22	10.16	
Na <sub>2</sub> O	2.34	2.34	4.21	2.37	3.29	3.16	
K <sub>2</sub> O	0.87	0.49	1.89	1.38	0.82	1.00	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.06	0.36	0.10	0.04	0.06	
<b>Total</b>	<b>96.86</b>	<b>96.44</b>	<b>98.50</b>	<b>96.32</b>	<b>97.29</b>	<b>96.86</b>	
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
Ba	226	93	508	277	86	363	
Bi	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
Cl	149	123	159	306	100	250	
Co	48.2	46.8	30.0	44.9	46.7	44.1	
Cr	298	272	100	599	420	333	
Cu	41	66	147	<20	25	88	
Ga	20	22	25	21	<20	<20	
Hf	1.5	1.4	3.8	1.0	1.2	1.4	
Mo	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Nb	1.8	1.9	16.6	1.8	1.5	1.6	
Ni	106	140	82	177	105	169	
Pb	<30	<30	32	<30	<30	<30	
Rb	25.3	24.6	58.4	40.7	4.5	14.9	
S	374	382	1836	406	310	135	
Sb	<100	<100	<100	<100	<100	<100	
Sc	43.0	36.6	27.6	38.9	41.6	37.9	
Sn	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Sr	151	150	295	215	142	279	
Ta	<0.2	<0.2	1.7	<0.2	<0.2	<0.2	
Th	<0.5	<0.5	17.9	<0.5	0.8	<0.5	
U	0.4	<0.2	4.2	0.4	0.6	<0.2	
V	274	260	165	228	214	247	
Y	19.9	19.4	39.0	14.5	14.0	18.0	
Zn	212	107	190	129	92	95	
Zr	40.4	43.3	127.0	31.7	35.4	39.7	
<b>La ppm</b>	3.49	2.60	52.10	6.64	5.27	3.00	
Ce	8.52	6.72	104.00	15.10	10.60	6.70	
Pr	1.20	1.03	12.20	1.99	1.26	1.04	
Nd	6.10	5.83	49.70	8.89	6.19	5.98	
Sm	2.06	1.99	8.98	2.12	1.56	1.75	
Eu	0.71	0.74	1.99	0.80	0.55	0.66	
Gd	2.81	2.69	8.74	2.34	1.93	2.65	
Tb	0.51	0.55	1.31	0.44	0.35	0.45	
Dy	3.59	3.32	6.89	2.54	2.24	2.97	
Ho	0.70	0.70	1.34	0.52	0.51	0.64	
Er	2.24	2.02	3.62	1.47	1.44	1.98	
Tm	0.28	0.29	0.51	0.23	0.23	0.30	
Yb	1.93	2.10	3.12	1.54	1.55	1.85	
Lu	0.28	0.31	0.46	0.25	0.23	0.29	
<b>C</b>	108	154	129	161	233	109	
<b>Mg#</b>	61.15	53.20	54.45	64.56	60.63	60.39	
Eu/Eu*	0.90	0.98	0.69	1.10	0.97	0.94	
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	1.22	0.83	11.26	2.91	2.29	1.09	
<b>Näyte / Sample</b>	EIPO-2005-296.1	KKK1-2004-8.1	KKK1-2004-113.1	KKK1-2004-168.1	PIMS-2003-309.1	PIMS-2003-317.2	
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	
<b>E_UTM35</b>	557927	583548	584104	584385	623131	584199	
<b>N_UTM35</b>	7207397	7211561	7216903	7224987	7202477	7228026	
<b>Kommentti</b>							

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (M\ddot{t}Mg\# = (MgO/40.31)/((MgO/40.31)+(FeO/71.85)))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

		Amfiboliitteja Amphibolites					
Numero	19	20	21	22	23	24	
SiO <sub>2</sub> %	49.50	46.60	53.40	48.90	48.70	52.80	
TiO <sub>2</sub>	0.68	0.79	0.81	0.89	1.06	1.02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.76	14.80	14.00	15.00	14.70	15.40	
FeOt	6.31	9.83	9.26	11.09	11.63	9.03	
MnO	0.17	0.19	0.19	0.23	0.19	0.19	
MgO	15.90	8.34	6.43	6.90	7.57	5.61	
CaO	10.27	10.25	8.71	10.23	10.18	9.73	
Na <sub>2</sub> O	0.73	2.40	3.09	3.25	2.70	1.73	
K <sub>2</sub> O	2.30	1.73	1.17	1.01	0.55	0.79	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	
<b>Total</b>	<b>95.81</b>	<b>94.99</b>	<b>97.12</b>	<b>97.55</b>	<b>97.37</b>	<b>96.39</b>	
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
<b>Ba</b>	745	383	330	97	156	75	
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
<b>Cl</b>	78	104	181	293	310	146	
<b>Co</b>	48.7	48.5	37.4	47.6	45.2	48.7	
<b>Cr</b>	956	274	216	236	265	310	
<b>Cu</b>	<20	62	57	<20	78	50	
<b>Ga</b>	<20	20	22	20	22	25	
<b>Hf</b>	1.6	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
<b>Nb</b>	3.1	1.9	3.3	2.1	2.3	2.8	
<b>Ni</b>	532	177	105	135	108	105	
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30	
<b>Rb</b>	103.0	42.9	27.6	8.0	20.6	49.7	
<b>S</b>	<60	741	451	539	479	1480	
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100	
<b>Sc</b>	25.7	35.3	32.8	40.4	40.7	42.4	
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
<b>Sr</b>	508	328	274	210	210	372	
<b>Ta</b>	<0.2	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	0.3	
<b>Th</b>	4.3	<0.5	0.8	0.9	<0.5	<0.5	
<b>U</b>	1.0	0.3	1.0	1.2	<0.2	0.2	
<b>V</b>	142	231	220	256	279	286	
<b>Y</b>	10.2	17.0	18.4	19.8	21.7	22.1	
<b>Zn</b>	140	147	126	126	122	89	
<b>Zr</b>	52.7	40.6	38.4	44.3	46.4	48.2	
<b>La ppm</b>	34.10	7.60	4.86	7.74	2.83	6.32	
<b>Ce</b>	77.50	10.80	10.20	16.90	9.02	12.00	
<b>Pr</b>	9.86	1.42	1.61	2.00	1.38	1.89	
<b>Nd</b>	43.20	6.27	7.78	9.42	6.95	8.73	
<b>Sm</b>	7.59	2.05	2.22	2.37	2.39	2.50	
<b>Eu</b>	1.63	0.67	0.66	0.83	0.81	0.85	
<b>Gd</b>	6.14	2.36	2.86	3.07	2.89	3.61	
<b>Tb</b>	0.64	0.43	0.48	0.51	0.58	0.58	
<b>Dy</b>	2.56	3.10	2.94	3.49	3.76	4.00	
<b>Ho</b>	0.43	0.63	0.64	0.71	0.81	0.78	
<b>Er</b>	0.94	1.91	1.98	2.20	2.33	2.48	
<b>Tm</b>	0.12	0.29	0.29	0.33	0.33	0.33	
<b>Yb</b>	0.81	1.90	2.09	2.19	2.36	2.35	
<b>Lu</b>	0.10	0.28	0.32	0.33	0.37	0.39	
<b>C</b>	806	320	257	134	241	--	
<b>Mg#</b>	81.80	60.18	55.31	52.59	53.70	52.56	
<b>Eu/Eu*</b>	0.73	0.93	0.80	0.94	0.94	0.87	
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	28.38	2.70	1.57	2.38	0.81	1.81	
<b>Näyte / Sample</b>	PIM\$-2003-357.2	PIM\$-2003-364.1	PIM\$-2003-372.1	PIM\$-2003-455.5	VIHU-2005-6.1	KKK1-2005-69.1	
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	
<b>E_UTM35</b>	590559	590848	594473	590623	576697	617029	
<b>N_UTM35</b>	7229269	7222666	7220957	7203511	7230207	7248398	
<b>Kommentti</b>							

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (M\# / Mg\#) = (MgO / 40.31) / ((MgO / 40.31) + (FeOt / 71.85))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	Amfiboliitteja Amphibolites			Paragneissejä Paragneisses		
	25	26	27	28	29	30
SiO <sub>2</sub> %	53.90	50.30	49.00	46.70	47.80	67.50
TiO <sub>2</sub>	1.31	1.45	0.96	1.12	0.86	0.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.30	13.60	14.00	15.10	14.80	13.60
FeO <sub>t</sub>	9.14	12.10	11.86	11.91	11.34	4.89
MnO	0.14	0.20	0.20	0.14	0.20	0.08
MgO	5.55	6.40	7.55	8.34	8.21	3.13
CaO	8.37	8.62	10.82	10.22	10.49	3.43
Na <sub>2</sub> O	3.38	3.53	1.54	2.56	2.25	3.14
K <sub>2</sub> O	0.49	1.19	0.23	0.52	1.06	1.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.23	0.06	0.28	0.06	0.14
<b>Total</b>	<b>97.66</b>	<b>97.62</b>	<b>96.23</b>	<b>96.90</b>	<b>97.07</b>	<b>98.14</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Ba	146	277	51	105	217	664
Bi	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Cl	265	530	1132	299	199	205
Co	40.8	39.8	48.4	58.3	47.4	23.7
Cr	149	225	283	320	331	277
Cu	75	48	101	123	96	89
Ga	25	20	<20	23	<20	21
Hf	1.7	2.5	1.3	1.6	1.1	2.7
Mo	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	3.5	3.7	2.1	2.6	1.6	3.7
Ni	141	95	122	160	212	107
Pb	<30	<30	<30	36	35	<30
Rb	6.3	26.5	3.2	9.1	27.8	51.1
S	709	<60	868	3590	1038	2076
Sb	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Sc	21.3	34.3	45.8	47.0	41.3	13.9
Sn	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	210	225	86	323	147	612
Ta	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Th	<0.5	1.2	<0.5	0.8	<0.5	4.2
U	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	0.3
V	130	275	278	315	257	97
Y	14.8	28.7	21.1	18.9	17.9	10.9
Zn	145	167	108	166	126	145
Zr	62.3	85.5	39.3	40.1	38.2	104.0
<b>La ppm</b>	4.38	7.54	2.59	13.20	1.78	27.30
Ce	10.20	17.50	7.26	34.60	6.91	53.80
Pr	1.40	2.46	1.18	4.86	1.07	6.06
Nd	7.05	12.40	6.41	23.30	5.95	23.10
Sm	2.29	3.34	2.26	4.72	1.78	3.66
Eu	0.89	1.16	0.77	1.48	0.68	1.02
Gd	2.97	5.08	2.97	5.16	2.41	3.32
Tb	0.49	0.77	0.55	0.65	0.49	0.42
Dy	2.76	5.19	3.87	3.92	3.12	2.06
Ho	0.52	1.04	0.78	0.73	0.68	0.41
Er	1.47	3.11	2.40	2.07	1.93	1.13
Tm	0.18	0.46	0.37	0.28	0.26	0.17
Yb	1.39	3.01	2.48	1.55	2.07	1.19
Lu	0.17	0.43	0.36	0.26	0.28	0.17
<b>C</b>	--	231	--	251	217	1250
<b>Mg#</b>	51.97	48.52	53.16	55.51	56.35	53.28
Eu/Eu*	1.04	0.86	0.91	0.92	1.00	0.89
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	2.12	1.69	0.70	5.74	0.58	15.47

Näyte / Sample	D4512-04- R002/2375-2400	JJE-2006-34.2	KKK1-2004-163.1	PIM\$-2004-65.3	PIM\$-2005-175.1	PIM\$-2003-318.1
Kivilaji / Rock type	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Amfiboliitti	Paragneissi
E_UTM35	574301	572721	583311	567268	570802	584636
N_UTM35	7250050	7229979	7224586	7194226	7191907	7226161
Kommentti				Välikerros paragneisseissä	Välikerros paragneisseissä	

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (FeO / 40.31) / ((MgO / 40.31) + (FeO / 71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämisen raja, määrittämisen suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	Paragneissejä Paragneisses					
	31	32	33	34	35	36
SiO <sub>2</sub> %	65.70	64.60	66.20	64.10	62.00	59.70
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.63	0.60	0.63	0.63	0.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.50	15.80	14.90	15.70	14.50	17.00
FeO <sub>t</sub>	5.00	5.24	5.14	5.70	7.71	7.91
MnO	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.08
MgO	2.70	3.00	3.00	2.93	5.12	4.02
CaO	3.36	3.33	3.01	2.77	1.34	2.62
Na <sub>2</sub> O	3.63	3.41	3.33	4.05	3.30	3.73
K <sub>2</sub> O	1.93	2.53	2.37	2.73	3.56	2.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.17	0.11	0.10	0.14	0.13
<b>Total</b>	<b>98.59</b>	<b>98.79</b>	<b>98.73</b>	<b>98.78</b>	<b>98.40</b>	<b>98.40</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Ba	571	713	605	452	766	670
Bi	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Cl	248	158	144	268	168	347
Co	16.8	21.5	23.9	22.3	26.4	30.3
Cr	151	159	279	170	270	222
Cu	28	55	60	69	<20	52
Ga	24	23	23	22	29	23
Hf	3.2	4.1	3.8	4.1	4.9	3.9
Mo	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	3.6	5.3	4.3	5.1	6.0	5.4
Ni	65	61	108	69	150	108
Pb	35	<30	<30	<30	<30	<30
Rb	52.5	102.0	91.9	144.0	128.0	73.5
S	1009	2722	3991	2385	<60	3381
Sb	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Sc	10.8	14.7	14.5	14.3	14.1	22.0
Sn	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	450	510	450	407	155	364
Ta	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
Th	6.8	5.9	5.8	12.3	7.6	6.3
U	0.8	1.7	1.4	0.9	0.7	1.1
V	88	100	100	109	104	153
Y	9.8	14.9	10.3	10.1	10.7	15.6
Zn	202	99	103	105	108	142
Zr	155.0	166.0	148.0	155.0	194.0	128.0
<b>La ppm</b>	21.40	39.00	19.80	35.30	38.40	40.90
Ce	43.00	74.60	40.40	67.20	66.50	81.90
Pr	4.73	8.85	4.66	7.59	6.72	8.98
Nd	18.40	33.70	16.80	28.10	24.30	35.50
Sm	3.07	5.36	2.83	4.31	3.70	6.08
Eu	1.08	1.17	0.97	1.09	0.88	1.32
Gd	2.41	4.74	2.34	3.61	3.37	5.43
Tb	0.34	0.60	0.35	0.44	0.44	0.72
Dy	1.71	2.76	2.06	2.20	2.30	3.36
Ho	0.32	0.52	0.41	0.41	0.42	0.62
Er	0.95	1.44	1.15	1.07	1.16	1.67
Tm	0.16	0.22	0.19	0.16	0.15	0.22
Yb	0.86	1.41	1.12	0.95	0.99	1.63
Lu	0.12	0.21	0.16	0.14	0.15	0.25
<b>C</b>	224	160	264	<100	469	1830
<b>Mg#</b>	49.06	50.50	50.97	47.82	54.21	47.52
<b>Eu/Eu*</b>	1.21	0.71	1.15	0.84	0.76	0.70
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	16.78	18.65	11.92	25.05	26.15	16.92
<b>Näyte / Sample</b>	PIM\$-2003-332.1	PIM\$-2003-494.6	PIM\$-2003-494.7	BBT\$-2004-249.1	EIPO-2005-359.2	PIM\$-2003-460.2
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi
<b>E_UTM35</b>	572119	563122	563122	579008	551938	569610
<b>N_UTM35</b>	7232909	7204486	7204486	7189730	7212063	7191867
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (M_t Mg\# = (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeO_t/71.85)))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

	Paragneissejä Paragneisses					
Numero	37	38	39	40	41	42
SiO2 %	64.90	63.10	66.60	69.10	61.30	56.50
TiO2	0.42	0.71	0.56	0.56	0.57	0.93
Al2O3	14.40	16.40	15.60	12.90	15.30	18.60
FeOt	4.80	5.96	4.30	5.02	8.12	7.24
MnO	0.10	0.09	0.06	0.07	0.08	0.11
MgO	4.21	3.43	2.44	3.99	3.63	4.24
CaO	4.33	2.95	3.31	2.30	2.88	3.20
Na2O	2.89	4.03	3.91	2.28	2.90	4.15
K2O	2.67	1.92	2.04	2.73	3.14	3.46
P2O5	0.14	0.15	0.20	0.05	0.15	0.03
<b>Total</b>	<b>98.87</b>	<b>98.74</b>	<b>99.01</b>	<b>99.00</b>	<b>98.07</b>	<b>98.45</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Ba	563	616	536	450	601	655
Bi	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Cl	130	248	249	134	438	269
Co	19.3	14.0	15.0	16.1	23.7	47.1
Cr	244	190	108	467	233	736
Cu	97	<20	<20	<20	<20	89
Ga	26	23	22	22	24	24
Hf	3.4	3.1	3.4	3.2	2.7	3.8
Mo	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	3.7	4.9	5.2	4.2	4.0	5.9
Ni	39	43	37	63	107	262
Pb	61	258	39	<30	<30	<30
Rb	383.0	63.8	77.9	82.5	101.0	125.0
S	835	461	1366	206	714	6397
Sb	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Sc	10.9	16.4	11.4	17.3	15.1	32.0
Sn	24	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	435	527	489	178	322	376
Ta	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
Th	7.8	5.5	6.6	6.0	2.9	7.3
U	2.3	0.7	0.9	1.8	0.6	0.8
V	81	128	82	110	105	215
Y	15.3	6.9	14.1	4.3	13.1	10.6
Zn	235	339	111	100	174	148
Zr	107.0	115.0	121.0	110.0	102.0	132.0
<b>La ppm</b>	21.00	10.10	30.90	5.37	17.70	20.40
Ce	39.80	20.60	61.90	8.79	31.20	40.50
Pr	4.65	2.38	7.11	0.85	3.89	4.37
Nd	18.00	8.52	26.90	3.32	15.50	17.50
Sm	3.66	1.69	4.39	0.64	3.16	2.99
Eu	0.99	0.78	1.02	0.39	0.88	0.97
Gd	3.53	1.35	3.93	0.76	3.32	2.74
Tb	0.53	0.21	0.46	0.13	0.46	0.37
Dy	2.70	1.29	2.40	0.77	2.47	1.86
Ho	0.53	0.24	0.48	0.18	0.48	0.40
Er	1.54	0.82	1.52	0.61	1.32	1.18
Tm	0.24	0.15	0.21	<0.1	0.18	0.18
Yb	1.45	0.99	1.33	0.60	1.28	1.28
Lu	0.22	0.17	0.19	<0.1	0.19	0.18
<b>C</b>	141	1460	161	691	211	109
<b>Mg#</b>	60.97	50.63	50.30	58.60	44.36	51.09
<b>Eu/Eu*</b>	0.84	1.58	0.75	1.71	0.83	1.04
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	9.76	6.88	15.66	6.03	9.32	10.74
<b>Näyte / Sample</b>	M52/3444/1986/317/ 9885-9935	KKK1-2005-200.1	PIM\$-2003-447.1	PIM\$-2005-15.1	PIM\$-2005-160.1	PIM\$-2005-40.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi	Paragneissi
<b>E_UTM35</b>	554028	589882	568603	589391	565352	589460
<b>N_UTM35</b>	7188816	7234422	7205024	7199802	7192665	7200266
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (FeO / 40.31) / ((MgO / 40.31) + (FeO / 71.85))))$  $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$ 

&lt;10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined



## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	Paragneissejä	TTG-sarjan granitoideja				
	Paragneisses	43	44	45	46	47
SiO <sub>2</sub> %	65.70	73.80	72.20	76.40	71.30	72.80
TiO <sub>2</sub>	0.46	0.16	0.36	0.27	0.33	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.70	14.50	14.70	12.10	15.50	14.30
FeOt	4.09	1.32	2.69	1.80	1.99	1.76
MnO	0.07	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04
MgO	3.30	0.46	0.95	0.79	1.13	0.57
CaO	3.77	1.61	2.14	2.27	2.44	1.66
Na <sub>2</sub> O	4.50	5.18	4.80	5.18	4.48	4.18
K <sub>2</sub> O	1.44	2.60	1.63	0.53	2.10	3.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.05	0.12	0.10	0.13	0.07
<b>Total</b>	<b>99.16</b>	<b>99.69</b>	<b>99.62</b>	<b>99.47</b>	<b>99.43</b>	<b>99.42</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	660	842	613	101	809	599
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	177	80	99	97	151	86
<b>Co</b>	20.7	2.0	5.0	2.8	5.9	3.5
<b>Cr</b>	342	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cu</b>	20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Ga</b>	21	23	27	<20	21	23
<b>Hf</b>	2.4	2.8	4.8	4.1	3.0	3.8
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	2.7	2.8	3.7	3.6	3.1	6.2
<b>Ni</b>	155	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Pb</b>	58	35	<30	<30	<30	54
<b>Rb</b>	40.8	64.6	65.4	41.2	63.0	125.0
<b>S</b>	672	<60	<60	<60	<60	<60
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	10.0	1.7	3.9	1.0	1.2	3.5
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	513	586	320	275	358	221
<b>Ta</b>	<0.2	0.3	<0.2	0.3	<0.2	0.4
<b>Th</b>	1.4	3.5	7.2	4.8	7.3	14.8
<b>U</b>	0.3	1.0	0.7	1.1	0.5	1.9
<b>V</b>	70	12	25	10	28	16
<b>Y</b>	6.4	3.8	6.0	4.1	2.4	6.4
<b>Zn</b>	163	47	33	24	39	58
<b>Zr</b>	99.6	90.6	216.0	175.0	124.0	133.0
<b>La ppm</b>	9.95	5.73	3.58	17.10	30.50	31.70
<b>Ce</b>	20.40	16.00	12.90	32.90	48.00	58.40
<b>Pr</b>	2.48	1.56	1.39	3.09	4.65	5.96
<b>Nd</b>	10.30	7.22	6.30	10.70	13.70	20.00
<b>Sm</b>	2.09	1.66	2.68	1.54	1.46	2.80
<b>Eu</b>	0.82	0.33	0.68	0.48	0.51	0.50
<b>Gd</b>	2.01	1.18	2.50	1.49	1.20	2.50
<b>Tb</b>	0.26	0.14	0.28	0.19	0.13	0.29
<b>Dy</b>	1.23	0.45	1.09	0.77	0.51	1.37
<b>Ho</b>	0.24	0.13	0.21	0.13	<0.1	0.21
<b>Er</b>	0.57	0.33	0.53	0.34	0.24	0.61
<b>Tm</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Yb</b>	0.57	0.30	0.53	0.28	0.17	0.43
<b>Lu</b>	<0.1	<0.1	0.10	<0.1	<0.1	<0.1
<b>C</b>	--	317	976	199	202	697
<b>Mg#</b>	58.98	38.34	38.53	44.02	50.26	36.66
<b>Eu/Eu*</b>	1.22	0.72	0.80	0.97	1.18	0.58
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	11.77	12.88	4.55	41.17	120.96	49.70

Näyte / Sample	PIM\$-2003-282.1	EPHE-2005-17.1	EPHE-2005-35.1	EPHE-2004-99.1	EPHE-2006-341.1	PIM\$-2003-11.1
Kivilaji / Rock type	Paragneissi	Leukogranodioriitti	Tonaliitti	Tonaliitti	Tonaliitti	Leukograniitti
<b>E_UTM35</b>	590676	598748	595412	617304	623517	593858
<b>N_UTM35</b>	7234824	7236753	7235695	7199457	7261639	7195886
<b>Kommentti</b>				Voimakkasti muuttunut		Muuttunut

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg/Mg\#) = (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeOt/71.85))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	TTG-sarjan granitoideja TTG suite granitoids		Sanukitoidi Sanukitoid	Riihivaara-tyypin kvartsidioriitteja Riihivaara type quartz diorites		
	49	50	51	52	53	54
SiO <sub>2</sub> %	68.40	66.30	68.50	53.50	55.50	56.40
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.47	0.30	1.22	1.76	1.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.70	16.80	15.50	17.40	17.90	18.20
FeO <sub>t</sub>	3.57	3.55	2.54	8.12	7.61	7.32
MnO	0.04	0.05	0.05	0.13	0.10	0.10
MgO	2.20	1.49	1.21	4.10	2.67	2.19
CaO	1.46	3.90	3.18	6.54	6.03	6.02
Na <sub>2</sub> O	3.95	5.00	4.68	4.67	4.43	5.15
K <sub>2</sub> O	3.22	1.58	2.94	1.79	2.22	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.13	0.20	0.53	0.57	0.46
<b>Total</b>	<b>99.18</b>	<b>99.26</b>	<b>99.10</b>	<b>98.00</b>	<b>98.79</b>	<b>98.59</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	944	397	1445	889	378	359
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	77	171	130	198	392	278
<b>Co</b>	10.6	9.9	6.0	26.5	19.1	--
<b>Cr</b>	<30	<30	30	58	<30	<30
<b>Cu</b>	<20	<20	<20	37	<20	<20
<b>Ga</b>	25	24	22	30	27	30
<b>Hf</b>	2.9	2.4	4.3	3.4	2.8	--
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	4.3	2.9	2.9	4.7	14.3	--
<b>Ni</b>	<20	<20	<20	37	<20	<20
<b>Pb</b>	<30	<30	33	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	94.2	58.3	55.3	43.8	96.0	--
<b>S</b>	1226	105	<60	350	<60	<60
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	7.3	7.7	6.2	17.3	16.1	--
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	184	460	727	1097	585	683
<b>Ta</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.8	--
<b>Th</b>	6.0	3.1	12.5	1.5	8.6	--
<b>U</b>	1.9	0.3	0.4	<0.2	1.4	--
<b>V</b>	60	49	33	155	102	--
<b>Y</b>	8.2	5.1	10.4	19.1	19.9	--
<b>Zn</b>	41	84	57	139	107	105
<b>Zr</b>	100.0	91.1	173.0	157.0	102.0	144.0
<b>La ppm</b>	16.60	12.90	52.90	35.40	43.90	--
<b>Ce</b>	32.40	29.10	96.20	81.50	96.90	--
<b>Pr</b>	3.61	2.68	10.00	10.20	10.80	--
<b>Nd</b>	13.70	10.60	37.70	47.30	48.10	--
<b>Sm</b>	2.26	1.80	5.64	8.97	8.54	--
<b>Eu</b>	0.63	0.60	1.25	2.29	2.14	--
<b>Gd</b>	1.91	1.70	4.64	7.86	8.01	--
<b>Tb</b>	0.31	0.20	0.52	0.88	0.91	--
<b>Dy</b>	1.44	1.02	2.04	3.88	3.95	--
<b>Ho</b>	0.29	0.19	0.33	0.63	0.78	--
<b>Er</b>	0.72	0.53	0.84	1.70	1.96	--
<b>Tm</b>	0.10	<0.1	0.10	0.20	0.23	--
<b>Yb</b>	0.67	0.41	0.74	1.26	1.56	--
<b>Lu</b>	0.10	<0.1	<0.1	0.17	0.22	--
<b>C</b>	143	122	984	266	360	272
<b>Mg#</b>	52.37	42.82	45.93	47.36	38.47	34.77
<b>Eu/Eu*</b>	0.93	1.05	0.75	0.83	0.79	-
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	16.70	21.21	48.20	18.94	18.97	-
<b>Näyte / Sample</b>	MMFA-2005-280.1	PIMS-2003-455.8	PIMS-2003-225.1	PIMS-2003-326.1	PIMS-2004-98.4	PIMS-2004-99.2
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Migmatiittinen tonaliitti	Migmatiittinen tonaliitti	Granodioriitti	Kvartsidioriitti	Tonaliitti	Tonaliitti
<b>E_UTM35</b>	548399	590623	625212	579640	587121	587114
<b>N_UTM35</b>	7213554	7203511	7191714	7227163	7190640	7190587
<b>Kommentti</b>					Terve kivi	Rapaumalinssi

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeO/71.85))))$  $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$ 

&lt;10 = alle määrittämisen raja, määrittämisen suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

Liite 4. Jatkuu.  
Appendix 4. Continued.

	Riihivaara-typin kvartsidioriitteja <i>Riihivaara type quartz diorites</i>				Leukogranitoideja <i>Leucogranitoids</i>	
Numero	55	56	57	58	59	60
SiO <sub>2</sub> %	59.90	61.20	59.80	58.60	58.70	73.10
TiO <sub>2</sub>	0.97	0.87	0.89	2.20	1.01	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.60	17.10	17.10	15.80	17.20	15.00
FeO <sub>t</sub>	6.17	5.69	6.11	5.40	6.75	1.38
MnO	0.11	0.09	0.10	0.05	0.13	0.03
MgO	2.93	2.49	2.85	2.57	3.24	0.37
CaO	5.17	4.54	5.81	5.56	4.37	2.06
Na <sub>2</sub> O	4.14	4.07	4.67	4.94	4.22	4.98
K <sub>2</sub> O	2.40	2.41	1.14	2.54	2.72	2.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	0.36	0.33	1.06	0.41	0.06
<b>Total</b>	<b>98.79</b>	<b>98.82</b>	<b>98.80</b>	<b>98.71</b>	<b>98.75</b>	<b>99.55</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	1013	768	595	1129	835	754
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	276	284	179	268	227	<60
<b>Co</b>	17.2	13.3	17.4	18.5	16.9	1.9
<b>Cr</b>	49	37	44	<30	54	<30
<b>Cu</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Ga</b>	27	32	31	25	31	26
<b>Hf</b>	4.6	4.2	5.9	10.3	3.2	3.0
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	5.4	7.1	4.9	26.1	4.7	2.4
<b>Ni</b>	50	20	29	21	30	<20
<b>Pb</b>	<30	31	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	64.1	104.0	25.2	69.3	276.0	70.6
<b>S</b>	773	736	427	1421	834	<60
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	10.8	10.3	13.6	8.2	12.1	1.9
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	896	878	617	863	875	347
<b>Ta</b>	0.3	0.6	<0.2	1.0	0.2	<0.2
<b>Th</b>	4.9	6.3	3.0	13.6	2.1	4.4
<b>U</b>	0.3	1.6	0.4	2.1	0.3	0.9
<b>V</b>	101	95	86	68	109	11
<b>Y</b>	15.9	16.1	22.1	25.2	14.4	2.0
<b>Zn</b>	108	109	103	70	113	44
<b>Zr</b>	188.0	164.0	259.0	472.0	142.0	104.0
<b>La ppm</b>	48.20	48.00	43.00	111.00	25.80	4.58
<b>Ce</b>	99.20	96.90	94.70	262.00	58.80	19.60
<b>Pr</b>	12.00	10.60	10.40	31.90	7.64	1.20
<b>Nd</b>	49.10	46.60	43.70	119.00	34.30	5.44
<b>Sm</b>	8.42	7.58	7.18	16.30	6.27	0.94
<b>Eu</b>	2.12	1.93	1.58	2.94	1.94	0.28
<b>Gd</b>	6.48	5.95	6.39	12.20	5.48	0.83
<b>Tb</b>	0.74	0.74	0.89	1.47	0.68	0.10
<b>Dy</b>	3.23	3.28	4.14	5.87	2.83	0.33
<b>Ho</b>	0.56	0.57	0.78	0.91	0.51	<0.1
<b>Er</b>	1.43	1.45	2.14	2.09	1.22	<0.15
<b>Tm</b>	0.19	0.21	0.27	0.29	0.17	<0.1
<b>Yb</b>	1.26	1.36	1.77	1.63	1.08	<0.15
<b>Lu</b>	0.17	0.20	0.27	0.25	0.15	<0.1
<b>C</b>	<100	<100	--	575	--	347
<b>Mg#</b>	45.83	43.83	45.42	45.91	46.10	32.33
<b>Eu/Eu*</b>	0.88	0.88	0.71	0.64	1.01	0.97
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	25.79	23.80	16.38	45.91	16.11	-
<b>Näyte / Sample</b>	HMLA-2004-305.1	PIM\$-2003-494.1	Jää41/1930-1965	BBT\$-2006-353.1	TTK1-2005-277.1	PIM\$-2003-86.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Tonaliitti	Tonaliitti	Kvartsidioriitti	Dioriitti	Tonaliitti	Granodioriitti
<b>E_UTM35</b>	574443	563120	573067	625682	567325	610187
<b>N_UTM35</b>	7192555	7204487	7249701	7248275	7190826	7197272
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg/Mg\#) = (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeO/71.85))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	Leukogranitoideja <i>Leucogranitoids</i>			Porfyryisiä leukograniteja <i>Porphyric leucogranitoids</i>	
	61	62	63	64	65
SiO <sub>2</sub> %	75.80	75.20	74.70	76.60	77.40
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.03	0.02	0.03	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.80	14.20	15.10	13.10	12.10
FeOt	0.31	0.51	0.20	0.88	1.25
MnO	0.01	0.02	<0.008	0.02	0.02
MgO	0.05	0.06	<0.03	0.07	0.07
CaO	0.20	1.64	0.91	0.51	0.22
Na <sub>2</sub> O	4.74	3.98	6.07	4.13	3.26
K <sub>2</sub> O	4.78	3.93	2.62	4.22	5.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014	<0.014
<b>Total</b>	<b>99.72</b>	<b>99.57</b>	<b>99.62</b>	<b>99.55</b>	<b>99.55</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30
Ba	179	532	800	69	97
Bi	<30	<30	<30	<30	<30
Cl	102	67	117	<60	71
Co	<0.5	<0.5	<0.5	0.9	1.0
Cr	<30	<30	<30	<30	<30
Cu	<20	<20	<20	<20	<20
Ga	23	27	24	31	24
Hf	2.8	3.2	1.2	6.4	8.1
Mo	<10	<10	<10	<10	10
Nb	8.3	9.9	2.0	47.9	22.6
Ni	<20	<20	<20	<20	<20
Pb	<30	65	<30	53	<30
Rb	194.0	66.4	73.3	395.0	224.0
S	<60	<60	<60	<60	<60
Sb	<100	<100	<100	<100	<100
Sc	1.7	2.7	0.5	1.3	2.8
Sn	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	37	265	387	18	29
Ta	1.1	1.3	<0.2	4.7	1.7
Th	18.2	9.9	<0.5	44.7	38.9
U	7.4	12.0	0.7	12.0	4.3
V	<0.5	2	<0.5	<0.5	<0.5
Y	13.8	10.0	3.5	83.6	38.3
Zn	<20	<20	<20	34	23
Zr	60.0	66.9	31.8	91.7	200.0
<b>La ppm</b>	4.73	5.02	1.45	17.80	53.10
Ce	13.50	8.76	3.45	46.80	105.00
Pr	1.20	1.36	0.34	6.32	11.00
Nd	4.65	5.44	1.16	25.40	34.30
Sm	1.35	1.39	0.36	8.59	6.90
Eu	0.18	0.38	0.11	0.10	0.14
Gd	1.61	1.89	0.56	10.20	5.96
Tb	0.29	0.26	<0.1	2.02	0.99
Dy	1.86	1.62	0.66	14.20	6.11
Ho	0.36	0.33	0.12	3.05	1.41
Er	1.41	0.97	0.33	10.50	4.50
Tm	0.18	0.16	<0.1	1.69	0.77
Yb	1.49	1.15	0.36	12.20	5.37
Lu	0.20	0.19	<0.1	1.76	0.85
<b>C</b>	<100	192	362	--	361
<b>Mg#</b>	22.06	17.10	-	12.23	9.36
<b>Eu/Eu*</b>	0.37	0.72	0.75	0.03	0.07
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	2.14	2.94	2.72	0.98	6.67
<b>Näyte / Sample</b>	PIMS-2003-596.1	PIMS-2003-494.2	EPHE-2006-159.1	M52/3444/1986/317/ 565-620	MMFA-2005-262.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Leukograniitti	Leukograniitti	Leukograniitti	Leukograniitti	Leukograniitti
<b>E_UTM35</b>	561639	563122	608132	554028	557158
<b>N_UTM35</b>	7217300	7204486	7263040	7188816	7209727
<b>Kommentti</b>					

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (FeO / 71.85)))$  $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$ 

&lt;10 = alle määrittämisen raja, määrittämisen suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

Liite 4. Jatkuu.  
Appendix 4. Continued.

Numero	Proterotsooisia vulkaniitteja <i>Proterozoic volcanites</i>		Diabaaseja <i>Diabases</i>			
	66	67	68	69	70	71
<b>SiO2 %</b>	52.90	42.90	48.50	52.10	50.90	48.90
<b>TiO2</b>	0.45	3.33	1.98	0.63	1.78	1.45
<b>Al2O3</b>	13.30	10.90	12.60	9.80	13.30	15.40
<b>FeOt</b>	9.02	14.95	14.65	9.14	12.41	11.01
<b>MnO</b>	0.15	0.19	0.24	0.18	0.20	0.20
<b>MgO</b>	8.90	5.86	5.37	10.30	5.57	7.07
<b>CaO</b>	10.21	9.91	9.74	10.99	7.94	10.36
<b>Na2O</b>	0.10	1.99	2.05	1.95	2.47	2.59
<b>K2O</b>	0.42	0.05	0.65	0.29	1.66	0.78
<b>P2O5</b>	0.07	0.31	0.21	0.06	0.19	0.13
<b>Total</b>	95.53	90.38	95.99	95.44	96.42	97.89
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	156	49	164	130	368	203
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	<60	<60	1771	86	858	277
<b>Co</b>	53.8	52.8	50.4	59.1	46.1	40.7
<b>Cr</b>	461	132	104	410	<30	281
<b>Cu</b>	<20	371	360	95	63	41
<b>Ga</b>	<20	31	28	21	27	27
<b>Hf</b>	1.6	2.9	3.2	1.1	3.6	2.2
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	2.2	22.1	10.9	2.2	10.7	7.4
<b>Ni</b>	163	174	66	203	29	97
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	14.6	1.5	24.3	10.2	66.3	35.9
<b>S</b>	<60	219	333	60	1041	600
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	23.6	17.5	42.8	40.3	40.1	35.1
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	114	664	139	270	195	235
<b>Ta</b>	<0.2	1.2	0.7	<0.2	0.7	0.4
<b>Th</b>	1.9	1.9	3.2	1.4	4.3	1.5
<b>U</b>	0.3	0.2	0.4	0.3	1.0	0.3
<b>V</b>	187	444	323	220	315	288
<b>Y</b>	10.0	13.7	39.4	10.4	33.9	21.7
<b>Zn</b>	124	180	128	79	95	109
<b>Zr</b>	58.0	94.5	172.0	53.0	186.0	72.4
<b>La ppm</b>	11.70	16.40	17.10	8.29	22.30	10.40
<b>Ce</b>	24.30	28.90	37.60	18.00	48.00	22.70
<b>Pr</b>	2.97	3.33	4.65	2.24	5.80	2.92
<b>Nd</b>	11.40	13.80	20.70	9.66	24.80	12.80
<b>Sm</b>	2.13	2.79	5.16	2.05	5.61	3.35
<b>Eu</b>	0.61	0.82	1.45	0.62	1.51	1.15
<b>Gd</b>	2.08	3.09	7.13	2.72	6.28	3.93
<b>Tb</b>	0.31	0.41	1.13	0.37	0.99	0.63
<b>Dy</b>	1.92	2.50	6.59	2.27	5.70	3.69
<b>Ho</b>	0.34	0.51	1.34	0.37	1.10	0.79
<b>Er</b>	1.06	1.47	3.80	1.05	3.17	2.10
<b>Tm</b>	0.16	0.20	0.59	0.15	0.43	0.30
<b>Yb</b>	1.07	1.34	3.44	0.91	2.98	2.03
<b>Lu</b>	0.17	0.19	0.52	0.14	0.47	0.30
<b>C</b>	478	21200	131	536	<100	375
<b>Mg#</b>	63.76	41.14	39.51	66.75	44.44	53.36
<b>Eu/Eu*</b>	0.89	0.85	0.73	0.80	0.78	0.97
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	7.37	8.25	3.35	6.14	5.05	3.45
<b>Näyte / Sample</b>	EIPO-2005-429.1	PIM\$-2004-204.3	PIM\$-2003-108	PIM\$-2003-269	PIM\$-2003-331.2	BBT\$-2005-220.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Emäksinen vulkaniitti	Emäksinen vulkaniitti	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi
<b>E_UTM35</b>	568855	557092	604500	585322	576325	562586
<b>N_UTM35</b>	7236925	7234348	7262158	7237787	7231851	7211350
<b>Kommentti</b>						

Normaisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeOt/71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Diabaaseja Diabases						
Numero	72	73	74	75	76	77
SiO <sub>2</sub> %	52.30	48.20	51.20	47.50	49.80	49.60
TiO <sub>2</sub>	0.83	2.70	0.62	1.45	2.54	1.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.00	12.80	14.00	14.80	11.70	14.50
FeO <sub>t</sub>	10.81	15.52	9.62	10.70	17.05	12.55
MnO	0.18	0.23	0.18	0.22	0.23	0.20
MgO	9.06	5.34	7.99	7.12	3.53	5.43
CaO	9.95	8.75	11.13	9.79	7.29	10.10
Na <sub>2</sub> O	1.72	2.47	1.64	2.80	2.44	2.33
K <sub>2</sub> O	0.47	1.00	0.24	0.98	1.21	0.48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.39	0.04	0.12	0.33	0.10
<b>Total</b>	<b>98.39</b>	<b>97.40</b>	<b>96.66</b>	<b>95.48</b>	<b>96.12</b>	<b>96.44</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	162	360	90	251	359	136
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	315	1970	517	222	2765	1473
<b>Co</b>	48.5	50.0	43.6	38.2	44.2	48.1
<b>Cr</b>	579	77	321	247	44	48
<b>Cu</b>	127	60	72	32	225	158
<b>Ga</b>	<20	26	21	<20	29	<20
<b>Hf</b>	1.7	3.9	0.8	1.8	5.9	2.0
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	2.7	12.5	1.2	7.3	14.1	6.0
<b>Ni</b>	154	62	116	60	43	59
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	13.5	23.9	8.2	41.1	39.2	14.5
<b>S</b>	410	1552	598	202	746	645
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	39.6	43.8	46.4	40.5	33.4	41.0
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	150	200	104	293	161	164
<b>Ta</b>	<0.2	0.8	<0.2	0.5	0.9	0.4
<b>Th</b>	1.3	1.9	<0.5	1.5	5.4	1.6
<b>U</b>	0.2	0.5	<0.2	<0.2	0.7	<0.2
<b>V</b>	233	412	240	295	298	274
<b>Y</b>	14.8	40.8	15.5	21.6	50.3	25.1
<b>Zn</b>	128	173	100	126	196	125
<b>Zr</b>	57.2	143.0	26.8	64.2	223.0	75.5
<b>La ppm</b>	7.68	21.10	2.03	10.00	27.70	9.67
<b>Ce</b>	16.70	46.60	5.12	22.70	61.90	21.50
<b>Pr</b>	2.16	6.01	0.83	3.03	7.95	2.88
<b>Nd</b>	8.75	27.30	4.17	13.60	35.20	12.60
<b>Sm</b>	2.13	6.32	1.48	3.38	8.46	3.43
<b>Eu</b>	0.70	2.15	0.53	1.17	2.12	1.12
<b>Gd</b>	2.92	8.27	2.25	4.06	9.67	4.33
<b>Tb</b>	0.44	1.26	0.36	0.67	1.57	0.69
<b>Dy</b>	2.71	7.59	2.49	3.86	8.81	4.36
<b>Ho</b>	0.56	1.55	0.60	0.84	1.94	1.01
<b>Er</b>	1.59	4.30	1.80	2.27	5.33	2.69
<b>Tm</b>	0.24	0.60	0.24	0.34	0.77	0.40
<b>Yb</b>	1.45	3.96	1.73	2.21	5.07	2.79
<b>Lu</b>	0.22	0.58	0.27	0.30	0.75	0.40
<b>C</b>	--	158	--	--	--	--
<b>Mg#</b>	59.91	38.01	59.69	54.26	26.95	43.54
<b>Eu/Eu*</b>	0.86	0.91	0.89	0.97	0.72	0.89
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	3.57	3.59	0.79	3.05	3.68	2.34
<b>Näyte / Sample</b>	Toukkavaara-Kel- lari-02/1090-1240	PIM\$-2004-98.2	BBT\$-2005-12.1	BBT\$-2005-221.1	BBT\$-2006-123.1	EIPO-2004-19.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi
<b>E_UTM35</b>	595865	587121	583763	562694	629625	610758
<b>N_UTM35</b>	7249042	7190640	7225980	7211259	7230451	7215201
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeO/71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

Liite 4. Jatkuu.  
Appendix 4. Continued.

Diabaaseja Diabases					
Numero	78	79	80	81	82
SiO2 %	48.20	51.20	49.40	49.70	50.90
TiO2	1.84	0.58	1.64	0.96	0.69
Al2O3	12.00	10.50	14.90	16.00	8.39
FeOt	16.21	9.48	12.62	11.24	10.86
MnO	0.25	0.16	0.21	0.18	0.30
MgO	4.92	12.90	6.22	4.83	11.10
CaO	9.05	7.12	10.17	10.32	8.85
Na2O	1.77	1.56	2.56	2.41	2.58
K2O	0.91	0.47	0.36	0.55	0.61
P2O5	0.15	0.10	0.14	0.10	0.07
<b>Total</b>	<b>95.30</b>	<b>94.07</b>	<b>98.22</b>	<b>96.29</b>	<b>94.36</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	207	183	105	157	113
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	1408	141	605	1061	139
<b>Co</b>	49.7	52.5	47.1	42.2	53.3
<b>Cr</b>	98	1334	230	47	433
<b>Cu</b>	212	<20	316	110	52
<b>Ga</b>	43	<20	27	23	<20
<b>Hf</b>	2.9	1.1	3.0	1.9	1.6
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	7.8	2.2	5.1	5.8	2.9
<b>Ni</b>	59	355	111	56	192
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	33.5	13.2	12.3	16.0	24.8
<b>S</b>	358	<60	201	779	129
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	40.0	27.9	41.1	35.5	37.0
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	127	172	136	214	60
<b>Ta</b>	0.6	<0.2	0.4	0.3	0.2
<b>Th</b>	2.2	1.5	1.4	1.6	1.7
<b>U</b>	0.2	<0.2	0.2	<0.2	0.2
<b>V</b>	322	159	282	184	206
<b>Y</b>	32.4	10.8	30.9	23.5	12.0
<b>Zn</b>	145	76	118	69	128
<b>Zr</b>	107.0	47.9	97.5	70.8	55.6
<b>La ppm</b>	12.60	9.54	8.56	9.76	8.90
<b>Ce</b>	28.80	20.10	21.10	21.90	19.40
<b>Pr</b>	3.91	2.50	3.02	2.94	2.43
<b>Nd</b>	18.00	10.80	15.30	12.90	10.70
<b>Sm</b>	5.07	2.31	4.52	3.25	2.57
<b>Eu</b>	1.42	0.54	1.27	0.97	0.65
<b>Gd</b>	6.08	2.30	5.90	4.14	2.83
<b>Tb</b>	0.99	0.35	0.93	0.67	0.40
<b>Dy</b>	5.91	1.95	5.36	4.16	2.24
<b>Ho</b>	1.25	0.47	1.23	0.95	0.48
<b>Er</b>	3.45	1.25	3.48	2.74	1.29
<b>Tm</b>	0.48	0.16	0.50	0.39	0.17
<b>Yb</b>	3.23	1.04	3.25	2.62	1.10
<b>Lu</b>	0.47	0.15	0.43	0.35	0.15
<b>C</b>	--	--	--	--	--
<b>Mg#</b>	35.11	70.80	46.78	43.38	64.56
<b>Eu/Eu*</b>	0.78	0.72	0.75	0.81	0.74
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	2.63	6.18	1.78	2.51	5.45
<b>Näyte / Sample</b>	EPHE-2006-160.1	KKK1-2006-170.1	PIM\$-2006-108.1	SOMA-2006-259.1	PIM\$-2006-36.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Diabaasi	Gabro
<b>E_UTM35</b>	608129	584190	558754	622208	553603
<b>N_UTM35</b>	7263214	7256503	7228766	7216124	7229482
<b>Kommentti</b>					

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeOt/71.85))))$   
 <10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit  
 -- = ei määritetty / not determined

$$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$$

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Numero	Plagioklaasiporfyyreja <i>Plagioclase-porphyrtes</i>		Juonikvartseja <i>Veinquartzes</i>		
	83	84	85	86	87
SiO2 %	48.70	52.70	99.30	97.30	99.30
TiO2	1.70	1.69	<0.01	0.04	0.01
Al2O3	18.50	18.60	0.21	0.68	0.08
FeOt	11.24	9.09	0.16	0.66	0.25
MnO	0.16	0.28	<0.008	0.01	0.01
MgO	4.09	2.59	<0.03	0.72	<0.03
CaO	8.99	6.00	0.02	0.01	0.05
Na2O	3.72	5.22	<0.07	<0.07	<0.07
K2O	0.87	1.88	0.05	0.01	0.00
P2O5	0.32	0.40	<0.014	<0.014	<0.014
<b>Total</b>	<b>98.28</b>	<b>98.45</b>	<b>99.73</b>	<b>99.42</b>	<b>99.70</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30
Ba	395	577	<20	<20	<20
Bi	<30	<30	<30	<30	<30
Cl	1300	196	<60	<60	133
Co	44.8	27.8	<0.5	1.8	0.5
Cr	<30	<30	<30	<30	<30
Cu	56	<20	<20	169	<20
Ga	27	28	<20	<20	<20
Hf	3.1	3.8	<0.5	<0.5	<0.5
Mo	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	26.5	38.0	<0.2	0.3	<0.2
Ni	53	<20	<20	32	<20
Pb	<30	<30	<30	<30	<30
Rb	25.7	64.9	2.6	0.6	<0.2
S	919	430	<60	<60	<60
Sb	<100	<100	<100	<100	<100
Sc	23.1	14.3	<0.5	<0.5	<0.5
Sn	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	508	463	<10	<10	<10
Ta	1.4	2.3	<0.2	<0.2	<0.2
Th	2.5	4.2	<0.5	<0.5	<0.5
U	0.5	1.0	<0.2	<0.2	<0.2
V	190	158	1	7	2
Y	22.5	21.4	<0.1	0.7	0.1
Zn	108	309	<20	<20	<20
Zr	124.0	164.0	1.8	4.7	2.0
<b>La ppm</b>	25.80	37.30	<0.1	0.50	0.17
Ce	51.50	76.40	<0.2	0.41	0.25
Pr	6.14	8.49	<0.1	<0.1	<0.1
Nd	25.40	33.90	<0.2	<0.2	<0.2
Sm	4.85	5.91	<0.2	<0.2	<0.2
Eu	1.74	2.01	<0.1	<0.1	<0.1
Gd	5.09	5.90	<0.15	<0.15	<0.15
Tb	0.77	0.77	<0.1	<0.1	<0.1
Dy	4.21	4.12	<0.1	<0.1	<0.1
Ho	0.78	0.80	<0.1	<0.1	<0.1
Er	2.37	2.08	<0.15	<0.15	<0.15
Tm	0.31	0.30	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	1.98	1.97	<0.15	<0.15	<0.15
Lu	0.32	0.29	<0.1	<0.1	<0.1
<b>C</b>	126	--	123	293	195
<b>Mg#</b>	39.35	33.69	-	66.03	-
<b>Eu/Eu*</b>	1.07	1.04	-	-	-
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	8.78	12.77	-	-	-
<b>Näyte / Sample</b>	KKK1-2005-223.1	JJE\$-2005-47.1	KKK1-2004-42.1	BBT\$-2005-222.1	PIM\$-2004-204.4
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Plagioklaasi-porfyyriitti	Plagioklaasi-porfyyriitti	Juonikvartsi	Juonikvartsi	Juonikvartsi
<b>E_UTM35</b>	584316	555659	584222	562730	557092
<b>N_UTM35</b>	7225025	7197300	7210771	7211236	7234348
<b>Kommentti</b>					

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeOt/71.85))))$  $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$ 

&lt;10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined



Liite 4. Jatkuu.  
Appendix 4. Continued.

Numero	Likamännikkö-tyyppejä <i>Likamännikkö type</i>			Ultramafisia kiviä <i>Ultramafic rocks</i>		
	88	89	90	91	92	93
SiO <sub>2</sub> %	70.30	46.30	58.00	48.00	44.80	45.20
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.31	0.66	1.49	2.64	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.80	6.42	18.10	13.30	4.24	10.80
FeO <sub>t</sub>	0.94	7.53	5.35	10.87	16.31	9.40
MnO	0.03	0.26	0.11	0.19	0.24	0.17
MgO	0.65	14.70	1.32	8.24	18.00	16.70
CaO	1.93	16.35	8.31	9.77	8.70	9.13
Na <sub>2</sub> O	5.99	0.46	6.14	2.61	0.08	0.47
K <sub>2</sub> O	3.35	0.34	0.54	0.72	0.06	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	3.32	0.31	0.94	0.13	0.03
<b>Total</b>	<b>99.35</b>	<b>95.99</b>	<b>98.84</b>	<b>96.13</b>	<b>95.20</b>	<b>92.49</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Ba</b>	1886	169	355	251	<20	60
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	191	78	141	177	103	183
<b>Co</b>	2.1	16.8	8.1	33.3	101.0	69.0
<b>Cr</b>	<30	<30	<30	289	943	1740
<b>Cu</b>	<20	<20	<20	<20	3307	<20
<b>Ga</b>	23	<20	35	27	<20	<20
<b>Hf</b>	4.2	1.1	3.4	7.8	1.2	0.5
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	12.0	20.7	8.4	17.1	7.6	0.5
<b>Ni</b>	29	<20	<20	158	1302	594
<b>Pb</b>	<30	<30	33	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	80.7	10.3	8.0	16.3	0.6	5.3
<b>S</b>	<60	<60	1086	<60	3854	215
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	2.6	3.4	6.7	28.3	19.8	31.1
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	554	561	1550	453	80	44
<b>Ta</b>	3.0	1.2	0.4	1.3	<0.2	<0.2
<b>Th</b>	0.8	5.5	9.2	36.7	1.2	<0.5
<b>U</b>	1.8	2.1	0.6	1.9	0.5	<0.2
<b>V</b>	14	76	65	194	410	169
<b>Y</b>	2.8	22.6	11.7	39.8	7.2	--
<b>Zn</b>	27	196	71	118	102	82
<b>Zr</b>	174.0	60.4	189.0	374.0	33.3	22.2
<b>La ppm</b>	6.15	82.60	50.30	82.50	4.25	1.62
<b>Ce</b>	13.80	236.00	111.00	174.00	8.70	3.62
<b>Pr</b>	1.66	33.80	12.50	21.60	1.20	0.55
<b>Nd</b>	7.46	155.00	50.70	87.80	5.01	2.64
<b>Sm</b>	1.39	23.80	7.13	15.90	1.57	0.73
<b>Eu</b>	0.75	5.27	2.15	3.36	0.36	0.23
<b>Gd</b>	1.25	17.80	5.64	14.00	1.62	1.06
<b>Tb</b>	0.16	1.72	0.64	1.67	0.24	0.19
<b>Dy</b>	0.57	6.02	2.91	7.59	1.50	1.33
<b>Ho</b>	<0.1	0.86	0.44	1.39	0.28	0.29
<b>Er</b>	0.26	1.75	1.10	3.53	0.72	0.79
<b>Tm</b>	<0.1	0.21	0.15	0.49	0.10	0.10
<b>Yb</b>	0.26	1.26	0.93	3.15	0.54	0.82
<b>Lu</b>	<0.1	0.18	0.11	0.42	<0.1	0.12
<b>C</b>	182	1390	<100	<100	227	190
<b>Mg#</b>	55.20	77.67	30.54	57.47	66.29	75.99
<b>Eu/Eu*</b>	1.74	0.78	1.04	0.69	0.69	0.80
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	15.95	44.20	36.46	17.66	5.31	1.33
<b>Näyte / Sample</b>	PIMS-2003-556.2	PIMS-2003-556.3	4512-04-R023/1600-1620	4512-04-R026/6270-6290	KKK-2003-191.1	TTK-2004-42.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Kvartsidioriitti	Ultramafinen murskale	Dioriitti	Ultramafinen murskale	Ultramafiitti	Ultramafiitti
<b>E_UTM35</b>	564440	564440	575922	576983	618580	585214
<b>N_UTM35</b>	7223739	7223739	7247886	7248166	7232042	7201781
<b>Kommentti</b>			Likamännikkö-tyyppejä?	Likamännikkö-tyyppejä?		

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (MgO/40.31) / ((MgO/40.31) + (FeO_t/71.85))))$

$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittelyrajan, määrittelyrajan suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

## Liite 4. Jatkuu.

## Appendix 4. Continued.

Ultramafisia kiviä Ultramafic rocks						
Numero	94	95	96	97	98	99
SiO <sub>2</sub> %	44.80	42.90	55.60	45.10	52.60	51.00
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.49	0.07	0.16	0.24	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.28	7.63	3.67	2.62	3.06	3.41
FeO <sub>t</sub>	7.83	13.87	7.41	12.96	7.60	11.90
MnO	0.14	0.18	0.10	0.20	0.190	0.234
MgO	38.20	22.60	30.00	31.30	18.80	16.00
CaO	1.50	5.10	1.31	1.74	12.39	12.10
Na <sub>2</sub> O	<0.07	0.22	<0.07	<0.07	0.39	0.33
K <sub>2</sub> O	0.01	0.07	0.04	0.00	0.19	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.014	0.04	0.02	0.02	0.022	<0.014
<b>Total</b>	<b>94.83</b>	<b>93.10</b>	<b>98.22</b>	<b>94.09</b>	<b>95.48</b>	<b>95.44</b>
<b>As ppm</b>	<30	<30	<30	523	<30	<30
<b>Ba</b>	20	24	24	<20	31	91
<b>Bi</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Cl</b>	200	<60	<60	96	73	112
<b>Co</b>	101.0	108.0	66.1	152.0	50.6	76.8
<b>Cr</b>	2006	336	2210	977	1293	1437
<b>Cu</b>	<20	68	<20	<20	<20	228
<b>Ga</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Hf</b>	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	0.6	1.1
<b>Mo</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<b>Nb</b>	0.2	1.0	1.1	0.4	0.6	1.0
<b>Ni</b>	2156	1569	1334	2505	242	456
<b>Pb</b>	<30	<30	<30	<30	<30	<30
<b>Rb</b>	1.1	1.8	1.9	0.2	1.6	2.3
<b>S</b>	880	1982	349	555	131	3230
<b>Sb</b>	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Sc</b>	12.4	15.6	17.2	10.5	42.6	46.1
<b>Sn</b>	<20	<20	<20	<20	<20	<20
<b>Sr</b>	10	42	<10	51	75	48
<b>Ta</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
<b>Th</b>	<0.5	0.6	0.9	0.5	<0.5	<0.5
<b>U</b>	<0.2	0.2	0.3	<0.2	0.20	<0.2
<b>V</b>	44	86	64	43	132	199
<b>Y</b>	1.8	8.6	3.7	2.5	7.1	11.6
<b>Zn</b>	85	109	63	100	127	195
<b>Zr</b>	4.8	26.1	13.6	4.4	14.9	31.6
<b>La ppm</b>	0.95	4.10	2.76	1.92	2.73	9.14
<b>Ce</b>	0.59	7.58	5.10	3.91	8.3	26.6
<b>Pr</b>	0.10	0.99	0.63	0.43	1.32	3.82
<b>Nd</b>	0.45	4.41	2.36	1.74	6.73	15.70
<b>Sm</b>	<0.2	1.13	0.35	0.29	1.64	3.23
<b>Eu</b>	<0.1	0.40	<0.1	<0.1	0.50	0.70
<b>Gd</b>	0.24	1.56	0.45	0.51	1.90	3.16
<b>Tb</b>	<0.1	0.24	<0.1	<0.1	0.25	0.47
<b>Dy</b>	0.28	1.67	0.60	0.46	1.41	2.65
<b>Ho</b>	<0.1	0.31	0.13	<0.1	0.25	0.48
<b>Er</b>	0.21	0.80	0.34	0.28	0.76	1.21
<b>Tm</b>	<0.1	0.12	<0.1	<0.1	0.11	0.17
<b>Yb</b>	0.25	0.82	0.53	0.24	0.59	1.16
<b>Lu</b>	<0.1	0.14	<0.1	<0.1	<0.1	0.13
<b>C</b>	--	--	--	--	242	192
<b>Mg#</b>	89.69	74.39	87.82	81.15	81.52	70.57
<b>Eu/Eu*</b>	-	0.92	-	-	0.87	0.67
<b>La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub></b>	2.56	3.37	3.51	5.39	3.12	5.31
<b>Näyte / Sample</b>	442404D-001/1990-2040	451401A1-001/1400-1450	Lapinpuro-01/3105-3165	MOIL-1/2875-2910	EPHE-2005-182.1	KKK-2006-129.1
<b>Kivilaji / Rock type</b>	Ultramafiitti	Ultramafiitti	Serpentiiniitti-vuolukivi	Serpentiiniitti	Ultramafiitti	Hornblendiitti
<b>E_UTM35</b>	620027	601241	586335	606366	593430	586329
<b>N_UTM35</b>	7193246	7249877	7253634	7262429	7231945	7251525
<b>Kommentti</b>						

Normalisointiarvot: Boynton 1984  $Mg\# = (Mg / (Mg + (FeO / 71.85))) / ((MgO / 40.31) + (FeO / 71.85))$

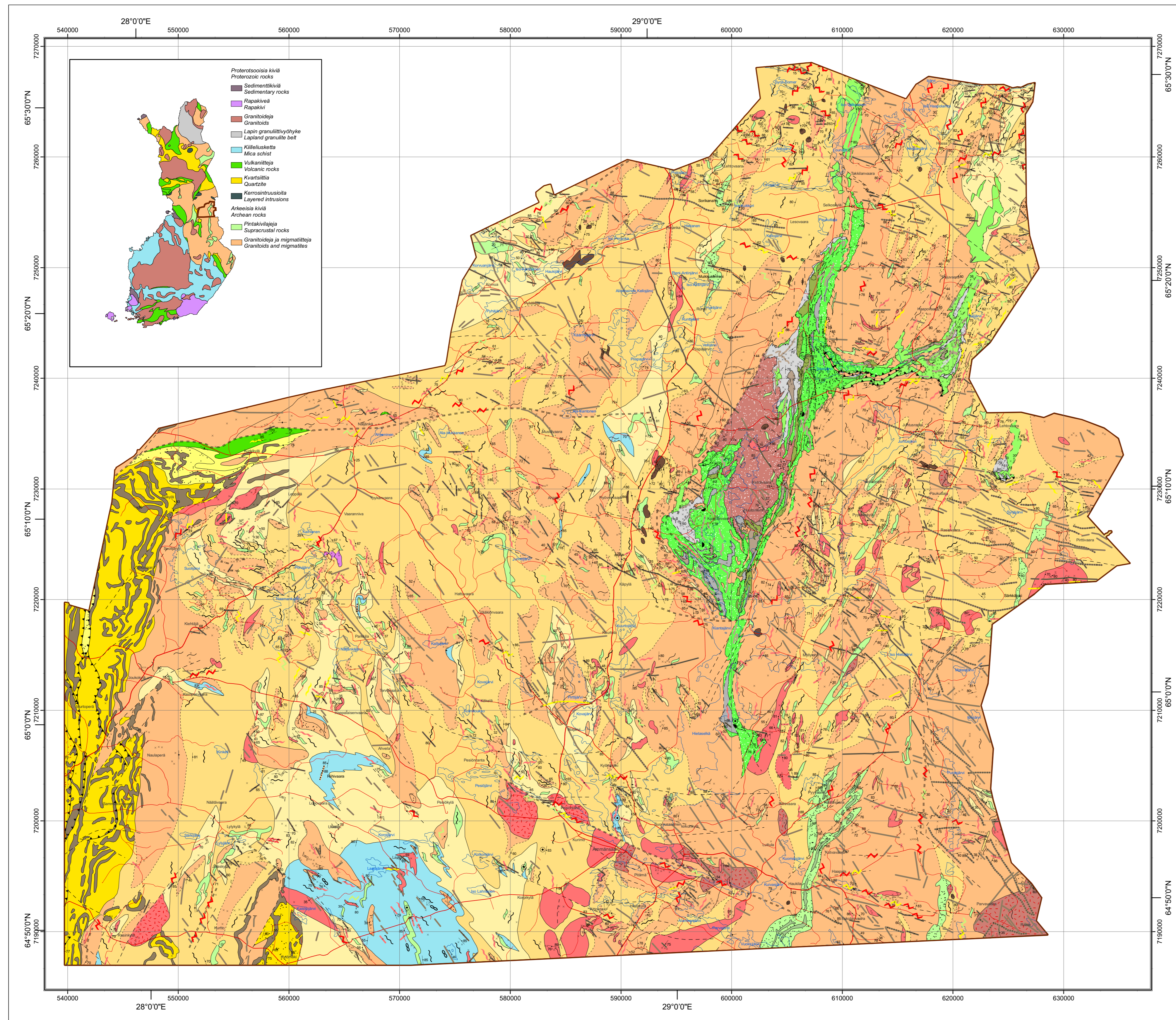
$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}$

<10 = alle määrittämissuuren, määrittämissuuren suuruus / below detection limit, size of the detection limit

-- = ei määritetty / not determined

Koillis-Kainuun kallioperä

Bedrock of Northeast Kainuu



MERKKIEN SELITYS - LEGEND

- PROTEROZOISIISET KIVILAJIT  
PROTEROZOIC ROCKS**
- Hydrotermiset juonet - Hydrothermal veins**
- Kvartsi- ja -suonia  
Quartz veins and veins
- Kainuun liuskejakson kivilajit - Rocks of the Kainuu Schist Belt**
- Kvartsi: Somerjärvi-ryhmä  
Quartzite: Somerjärvi Group
  - Gabbro kerrosjono: Karjalampi  
Gabbro as sill: Karjalampi
  - Kvartsi: Hyrynsalmi-ryhmä  
Quartzite: Hyrynsalmi Group
  - Klasista sedimenttikiviä: Itä-Pudonka-ryhmä  
Clastic sedimentary rocks: East-Pudonka Group
  - Klasista sedimenttikiviä: Konvansjärvi-ryhmä  
Clastic sedimentary rocks: Konvansjärvi Group
  - Klasista sedimenttikiviä: Kurkkylä-ryhmä  
Clastic sedimentary rocks: Kurkkylä Group
  - Enkäsä vulkaniitti: Kurkkylä-ryhmä  
Basic volcanic rock: Kurkkylä Group
- Paleoproterozoiset intrusiviset kivilajit - Paleoproterozoic intrusive rocks**
- Pilgoksaaporfyyri  
Pillgostae porphyry
  - Määritelmätön diabaasi  
Undefined diabase
  - Sarviväikeidiabaasi  
Hornblende diabase
  - Pyrokseenidiabaasi  
Pyroxene diabase
  - Porfyryttä leucogranitti juonina  
Porphyritic leucogranite as veins
  - Porfyryttä leucogranitti  
Porphyritic leucogranite
- ARKEISET KIVILAJIT  
ARCHEAN ROCKS**
- Vihreäkiviävyöhykkeiden kivilajit - Rocks of the greenstone belts**
- Saarkylä-ryhmä - Saarkylä Group**
- Mustalusketta välikerroksina  
Basic schist interbeds
  - Hapanta ja intermediaarisä vutkanilla välikerroksina  
Acid and intermediate volcanic rock interbeds
  - Hapanta ja intermediaarisä vutkanilla  
Acid and intermediate volcanic rock
  - Komatiittia basaltilla  
Basaltic komatiite
  - Komatiittia  
Komatiite
  - Enkäsän kerrosjuoni  
Basic sill
  - Enkäsän kerrosjuoni  
Basic sill
  - Rauta- / magnesiumtholeiitti  
Iron / magnesium tholeiite
- Luoma-ryhmä - Luoma Group**
- Hapanta ja intermediaarisä vutkanilla välikerroksina  
Acid and intermediate volcanic rock interbeds
  - Hapanta intermediaarisä vutkanilla  
Acid and intermediate volcanic rock
  - Enkäsä vulkaniitti  
Basic volcanic
  - Määritelmätön vutkanitit - Undefined volcanic rocks
  - Enkäsä vulkaniitti  
Basic volcanic rock
  - Komatiittia  
Komatiite
- Arkeiset syväkivet - Archean plutonic rocks**
- Leucogranitoidia juonina ja suonia  
Leucogranitoid veins and veins
  - Leucogranitoidia  
Leucogranitoid
  - Tonalittia juonina: Rihvaara-tyyppi  
Tonalite veins: Rihvaara type
  - Kvartsi- ja -suonia: Rihvaara-tyyppi  
Quartz diorite: Rihvaara type
  - Porfyryttä granodioritilla: Sanukitoidisarja  
Porphyritic granodiorite: Sanukitoid series
  - Tonalittia: Sanukitoidisarja  
Tonalite: Sanukitoid series
  - Alkalisä  
Alkaline rock
  - Migmatittia tonalittia ja granodioritilla: Päivänta-tyyppi  
Migmatite: tonalite and granodiorite: Päivänta type
  - Tonalittia ja granodioritilla: TTG-sarja  
Tonalite and granodiorite: TTG series
- Arkeiset migmatitit - Archean migmatites**
- Paragneissä: Numes-tyyppi  
Paragneiss: Numes type
  - Amfibolittia sulkeumina  
Amphibolite inclusions
  - Amfibolittia  
Amphibolite
  - Tonalittigneissä sulkeumina  
Tonalite gneiss inclusions
  - Tonalittigneissä  
Tonalite gneiss
- ÄLTÄÄN MÄÄRITTELEMÄTÖN  
UNKNOWN AGE**
- Ultramafista kiviä sulkeumina  
Inclusions of ultramafic rock
  - Ultramafista kiviä  
Ultramafic rock
  - Muuta merkkejä - Other symbols
  - Kerrosseisuus  
Bedding
  - Pysty kerrosseisuus  
Vertical bedding
  - Luskeisuus  
Foliation
  - Pysty luskeisuus  
Vertical foliation
  - Pönnäkseni  
Fold axis
  - Viväus  
Lineation
  - Kivilajiraja  
Lithologic contact
  - Kivilajin vaihtumisyöhyke  
Gneiss lithologic contact
  - Sirois tai rähje, tektoninen kontakti  
Fault or fracture, tectonic contact
  - Yhtäntä  
Thrust fault
  - Myönäni  
Mylonite
  - Vuokkiesäntymä  
Soapstone deposit
  - Molybdeenmineralisaatio  
Molybdenum mineralization
  - Kultamineralisaatio  
Gold mineralization
  - Nikkelimineralisaatio  
Nickel mineralization
  - Päljätelmähavainno  
Outcrop observation
  - Louhos / louhimo  
Quarry
  - Suljettu louhos / louhimo  
Abandoned quarry
  - Syväkarsuunäni  
Diamond drill hole
  - Granatti  
Garnet
  - Nebulittinen  
Neobulitic
  - Räntäinen  
Basalt
  - Gneissä  
Gneiss
  - Kalimetasonaalisä  
Potassium metasomatism
  - Epitotiuminen  
Epitotiumine
  - Kvartsiutuminen  
Silicification

Tutkimusraportissa on esitetty Koillis—Kainuu-alueen kallioperäkartoituksen tulokset. Tutkimusalueen pinta-ala on yli 5 500 km<sup>2</sup> ja se sijaitsee Suomussalmen, Hyrynsalmen ja Puolangan kuntien alueella. Työssä on käytetty soveltuvin osin hyväksi aiempien tutkimusten aineistoja, minkä lisäksi on tehty yli 8 000 uutta kallioperähavaintoa. Raportissa on kuvattu alueen kivilajeja, niiden rakenteita sekä kemiallista koostumusta. Alueen kallioperäkartta mittakaavassa 1:200 000 on raportin liitteenä.

This Report of Investigation contains the results of bedrock mapping of Northeast Kainuu. The study area covers over 5,500 km<sup>2</sup> and is located in Suomussalmi, Hyrynsalmi and Puolanka municipalities. Previous results were used to the appropriate extent and over 8,000 new bedrock observations were made. Different rock types, their structures and chemical compositions are described in the report. The bedrock map of the area, in scale 1:200 000, is to be found in the appendixes of the report.