

**SUOMEN GEOLOGINEN KARTTA 1 : 100 000**  
**GEOLOGICAL MAP OF FINLAND 1 : 100 000**

**KALLIOPERÄKARTTOJEN SELITYKSET**  
**EXPLANATION TO THE MAPS OF**  
**PRE-QUATERNARY ROCKS**

**LEHTI 3343**

**SHEET 3343**

**Jorma Paavola**

## **Rautavaaran kartta-alueen kallioperä**

**Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area**

**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS**  
**GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND**

**ESPOO 1999**



SUOMEN GEOLOGINEN KARTTA — GEOLOGICAL MAP OF FINLAND  
1 : 100 000

Kallioperäkarttojen selitykset, lehti 3343  
Explanation to the maps of Pre-Quaternary rocks, sheet 3343

Jorma Paavola

**RAUTAVAARAN KARTTA-ALUEEN KALLIOPERÄ**

**Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area**

Geologian tutkimuskeskus — Geological Survey of Finland

Espoo 1999

**Paavola, Jorma 1999.** Rautavaaran kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area. *Geological Map of Finland 1 : 100 000. Explanation of maps of Pre-Quaternary rocks, Sheet 3343.* 53 pages, 28 figures and 5 tables.

The Rautavaara map-sheet area is located in northeastern Savo, between the Archaean granulite blocks of the Iisalmi area in the west and the southern end of the Palaeoproterozoic Kainuu schists in the east. The western border zone of the area consists of Archaean amphibolite-banded tonalitic - trondhjemitic migmatite, with granulitic blocks in the southeastern corner. The same type of well-preserved Archaean bedrock is predominant in the Iisalmi - Lapinlahti - Sonkajärvi area. Eastwards the banded type passes into homogeneous quartz diorite. The middle part of the map-sheet area is characterized by different types of granitized gneisses and migmatites with a large, discontinuous, arc-shaped zone of amphibolites and chemically altered rocks: garnet-cordierite-stauro-lite-orthoamphibole rocks, quartzose cordierite, aluminium silicate, and tourmaline rocks with various amphibolites and mica gneisses. Silicification and chloritization are prominent in the arc zone. The Archaean gneisses east of Rautavaara village are strongly granitized, with abundant pegmatitic granite material. Excluding the western part of the map-sheet area, all the Archaean rocks were deformed during Proterozoic time. This is clearly demonstrated by the Proterozoic diabases, which are well-preserved and plentiful in the west of the area but variably deformed elsewhere. In addition, Proterozoic quartzites of the Kainuu schist belt extend into the area from the north as does Keyritty quartzite from the south. Serpentinites with sulphide-bearing schists occur near Rautavaara village. Chemical whole rock analyses are presented.

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

Key words (Georef Thesaurus, AGI): areal geology, explanatory text, bedrock, metamorphic rocks, plutonic rocks, diabase, geochemistry, structural analyses, metamorphism, absolute age, Paleoproterozoic, Archean, Rautavaara, Pohjois-Savo, Finland

*Jorma Paavola, Geological Survey of Finland,  
P.O. Box 1237, FIN-70211 KUOPIO, FINLAND*

*E-mail: Jorma.Paavola@gsf.fi*

ISBN 951-690-733-4

**Paavola, Jorma 1999.** Rautavaaran kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area. *Suomen geologinen kartta 1 : 100 000. Kallioperäkartojen selitykset, lehti 3343 Rautavaara* . 53 sivua, 28 kuvaa ja 5 taulukkoa.

Rautavaaran kartta-alue on Koillis-Savossa. Geologisesti se rajoittuu lännessä Iisalmen alueen arkeisiin granuliittilohkoihin ja idässä paleoproterotsooisien Kainuun liuskejaksoson eteläisiin osiin. Alueen länsiosaa on arkeista amfiboliittiraitaista tonaliittista - trondhjemittista migmatiittia, jossa on granuliittisia lohkoja alueen lounaisnurkassa. Samantyyppinen hyvin säilynyt arkeinen kallioperä on vallitsevana koko Iisalmen - Lapinlahden - Sonkajärven alueella. Raitainen kivityyppi vaihettuu homogeeniseksi kvartsidioriittiksi itäsuuntaan. Kartta-alueen keskiosaa luonnehtivat monenlaiset graniittituneet gneissit ja migmatiitit sekä laaja, epäyhtenäinen, kaarenmuotoinen vyöhyke, jossa esiintyy amfiboliittien yhteydessä kemiallisesti muuttuneita kiviä: granaatti-kordieritti-stauroliitti-ortoamfibolikiviä sekä kvartsirikkaita kordieritti-, alumiinisilikaatti- ja turmaliinikiviä. Myös vaihtelevasti muuttuneet amfiboliitit ja kiillegneissit ovat yleisiä. Kvartsiutumisen ja kloritisaatio on kaaren alueella huomattavaa. Rautavaaran kirkonkylän itäpuolella olevat arkeiset gneissit ovat vahvasti graniittituneita ja ne sisältävät runsaasti nuorta pegmatiittista graniittia. Karttalehtialueen läntistä osaa lukuun ottamatta alueen kaikki arkeiset kivet ovatkin deformatuneet proterotsooisena aikana. Tämä voidaan todeta selvästi koko kartta-alueella runsaina esiintyvistä proterotsooisista diabaaseista, jotka ovat hyvin säilyneitä alueen länsiosissa, mutta vaihtelevasti deformatuneita alueen muissa osissa. Proterotsooisien diabaasimateriaalin lisäksi alueella on proterotsooisia kvartsiitteja, jotka ulottuvat kartalle pohjoisesta päin Älänteen jaksona sekä Kainuun liuskejaksoson kapeana jatkeena ja etelästä päin Keyrityn selänteenä. Serpentiinittejä ja niihin liittyviä kiisupitoisia liuskeita on Rautavaaran kirkonkylän lähistöllä.

Kartta-alueen kivistä esitetään kemiallisia analyysituloksia.

Teksti on suomen kielellä. Tiivistelmien, kuvien, taulukoiden ja yhteenvetöön teksti on myös englanniksi.

Asiasanat (Fingeo-sanasto, GTK): aluegeologia, karttaselitykset, kallioperä, metamorfiset kivet, syväkivet, diabaasi, geokemia, rakenneanalyysi, metamorfoosi, absoluuttinen ikä, paleoproterotsooinen, arkeinen, Rautavaara, Pohjois-Savo, Suomi

*Jorma Paavola, Geologian tutkimuskeskus, Pl 1237, 70211 KUOPIO*

*E-mail: Jorma.Paavola@gsf.fi*

## SISÄLLYSLUETTELO-CONTENTS

Alue ja tutkimusvaiheet .....	7
Kallioperän pääpiirteet .....	7
Arkeinen kallioperä .....	9
Amfiboliittiraitaiset migmatiitit .....	10
Homogeeniset syväkivet .....	14
Kemiallisesti muuttuneet kivet .....	14
Kiillegneissit .....	29
Muut migmatiittiset gneissit .....	29
Paleoproterotsooiset kivet .....	30
Liuskeet .....	30
Syväkivet .....	31
Diabaasit .....	34
Rakenteellinen ja metamorfinen kehitys .....	39
Radiometriset iänmääritykset .....	44
Malmimineralisaatiot ja rakennuskivet .....	47
Geologisia tutustumiskohteita .....	48
Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area .....	49
Introduction .....	49
Archaean rocks .....	50
Palaeoproterozoic rocks .....	50
Metamorphic and structural evolution .....	51
Kirjallisuutta - References .....	52

## ALUE JA TUTKIMUSVAIHEET

Rautavaaran kallioperäkartta 1 : 100 000 (3343) (Paavola 1997) sisältää alueita Rautavaaran, Sonkajärven, Sotkamon, Valtimon ja Varpaisjärven kunnista. Karttalehtialue jakaantuu Joensuun (Frosterus & Wilkman 1924), Nurmeksen (Wilkman 1924), Kajaanin (Wilkman 1929) ja Kuopion (Wilkman 1935) 1 : 400 000-mittakaavaisille geologisille yleiskartoille. Näihin karttoihin on myös selitykset (Frosterus & Wilkman 1920; Wilkman 1921, 1931 ja 1938).

Jokela ja Paavola (1991) esittivät kartoituksen alkuvaiheessa tulkinnan alueen arkeisen kallioperän deformaatioista. Proterotsooisen deformaation merkittävää osuutta ei tässä tulkinnassa kuitenkaan täysin ymmärretty. Welin (1997) on selvittänyt kartta-alueen itälaidan proterotsooisten liuskeiden deformaatiohistoriaa.

Tätä selitystä laadittaessa on ollut käytettävissä GTK:n malmiosaston tutkimusmateriaalia alueelta. GTK:n Väli-Suomen aluetoimiston kuvankäsittelylaboratoriossa työstyetty geofysikaalinen matalalentoaineisto on auttanut kallioperän kokonaiskuvan hahmottamisesta. Kemiaalliset analyysit on tehty XRF-menetelmällä GTK:ssa, Otaniemessä.

Rautavaaran kallioperäkartan kenttätöitä on tehty vuosina 1989 - 93. Kenttätöihin osallistuivat tekijän lisäksi kausiapulaisina Jukka Jokela 1989 - 92 ja Tua Welin 1989 - 91 sekä tutkimusavustaja Jukka Eskelinen kaikkina kesinä. Jukka Eskelinen on osallistunut myös tutkimusaineiston käsittelyyn talvikausina ja digitoitunut kallioperäkartan. Digitointiin osallistui myös kartanpiirtäjä Annä Vuori. Kuvien painokuntoon saattamisessa avustivat kartanpiirtäjät Helinä Moberg ja Terttu Muraja sekä geologi Jouko Vanne, joka on malminetsintätöittensä yhteydessä perehtynyt myös alueen geologiaan. Käsikirjoituksen on tarkastanut valtioneurologi Tapio Koistinen. Suomen kielen on tarkastanut Kotimaisten kielten tutkimuskeskus ja englannin kielen Käännöstoimisto G & A Häkli Oy.

Esitän kaikille työhön osallistuneille ja siinä avustaneille parhaat kiitokseni.

## KALLIOPERÄN PÄÄPIIRTEET

Rautavaaran kartta-alueen (3343) kallioperä rajoittuu lännessä Iisalmen - Varpaisjärven alueen hyvin säilyneisiin arkeisiin granuliittilohkoihin ja idässä intensiivisesti hiertyneisiin arkeisiin kiviin, joissa esiintyy mukana hierittyä paleoproterotsooista kvartsiittia ja amfiboliittia (metadiabaasia). Näitä liuskekiiloja ja paikoin runsastakin juonikiviainesta lukuun ottamatta on lähes koko alueen muu kallioperä arkeista. Keski- ja itäosistaan kallioperä on kui-

tenkin selvästi myös proterotsooisena aikana deformoitunutta ja retrograadisesti metamorfoitunutta sekä graniittiutunutta.

Alueen länsireunan kallioperä on amfiboliittiraitaista, tonaliittista - trondhjemiittista migmatiittia. Samanlainen kallioperä on vallitseva myös lännempänä, Iisalmen (3341) ja Lapinlahden (3332) kartta-alueilla. Vyöhykkeellä Itäkoski - Kökkökangas - Rokanmäki - Pohjakangas (01 - 02) kallioperä muuttuu homogeeniseksi tonaliitiksi, jossa vain paikoin voi nähdä tummempia, haamumaisia jäänteitä. Vaihtuminen tapahtuu asteittaisena homogenisoidumisena, mutta itäreunaltaan tämä tasalaatuinen vyöhyke rajautuu raitaiseksi suhteellisen terävästi ja vaihtuminen liittyy tiettyihin siirroksiin tai hierto-saumoihin. Idempänä kallioperä muuttuu vaihtelevasti graniittiutuneeksi ja amfiboliittiraidat ovat usein biotiittiutuneet tai kloriittiutuneet. Suhteellisen hyvin säilyneitä amfiboliittiraitaisia migmatiitteja on tosin kartta-alueen keski-  
osissakin.

Kartta-alueen keskellä on kallioperässä epäyhtenäisenä, kaarimaisena vyöhykkeenä ns. kemiallisesti muuttuneita kiviä. Ne ovat alkuperältään ilmeisesti vulkano-sedimentogeenisiä, mutta ne ovat kokeneet voimakkaita hydrotermisiä muuttumisprosesseja ja saaneet seuranneissa metamorfoosi- ja deformaatio-vaiheissa hyvin moninaisen mineraalikoostumuksen ja rakenteen. Kvartsi-rikkaat kordieriitti-, alumiinisilikaatti- ja turmaliinikivet sekä granaatti-kordieriitti-stauroliitti-ortoamfibolikivet, erilaiset kiillegneissit ja eriasteisesti muuttuneet amfiboliitit ovat yleisiä. Migmatiitti on näiden muuttuneiden kiven lähistöllä leukokraattista. Honkalammen alueella (09A) on kapea jakso ultramafista vulkaanista kiveä. Kemiallisesti muuttuneita kiviä on pieninä taskuina myös varsinaisen kaarimaisen alueen ulkopuolella, usein juuri amfiboliittien yhteydessä tai lähistöllä.

Kartta-alueen keskiosan kallioperä on kuitenkin valtaosin tonaliittista - trondhjemiittista tai granodioriittista, osin vahvastikin graniittiutunutta migmatiittista gneissia. Migmatiittityypit vaihtelevat nebuliittisista paleosomi-valtaisiin. Paleosomina on niin amfiboliittia kuin kiillegneissia. Amfiboliittia on etenkin alueen keskiosissa laajoina yhtenäisinä alueina. Kiillegneissi on vallitsevana kartta-alueen itälaidalla. Graniitti- ja pegmatiittigraniittijuonet ovat yleisiä etenkin alueen pohjois- ja itäosassa, missä läpikotaisin graniittiutuneet ja graniittipegmatiittivaltaiset vyöhykkeet ovat erittäin yleisiä. Silmägneissia esiintyy monin paikoin.

Kainuun paleoproterotsooisien liuskejakson eteläisimmät liuskekiilat yltävät Rautavaaran kartta-alueen itäosaan. Jakson kivet ovat erityyppisiä kvartsiitteja sekä amfiboliittia. Kiilleliusketta on vain satunnaisesti. Itälaidan hirtovvyöhykkeellä on kapeita liuskeluirakkeita ja serpentiniittipahkuja, jotka jatkuvat etelään Nilsin (3334) karttalehden alueelle. Keyrityn jatulinen kvartsiittiselänne ulottuu niin ikään etelästä Nilsin karttalehtialueelta 07- ja 04C-lehdille. Erityisesti kartta-alueen lounaisosassa on runsaasti leveitä diabaasi-juonia, joista monia voi seurata useita kilometrejä. Osa juonista on pyrokseenipitoisia.

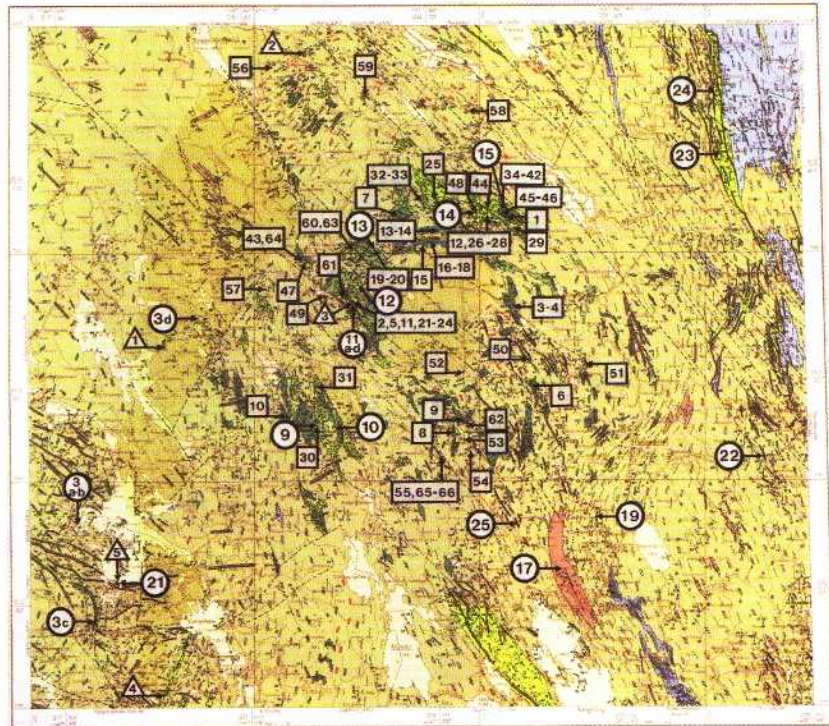
Alueen kallioperä on intensiivisesti deformoitunutta, paikoin tektonisesti

breksioitunutta. Sekä arkeaisen alueen migmatiiteissa että proterotsooisissa liuskeissakin voidaan erottaa useita deformaatiovaiheita. Silmiinpistävämpänä rakennepiirteinä etenkin kartta-alueen itäisellä puoliskolla on erittäin voimakas etelään - etelälounaaseen kaatuva loiva lineaatio. Alueen kallioperä on yleisesti ottaen riittävästi paljastunutta 1 : 100 000 -mittakaavaista kartoitusta varten. Merkittävin heikosti paljastunut alue on Tiilikka-niminen järvi ympäröivine laajoine suoalueineen. Myös 03-lehdellä ja Rautavaaran kirkonkylän eteläpuolella on hyvin peitteisiä alueita.

### ARKEINEN KALLIOPERÄ

Kartta-alueen arkeisessa kallioperässä voidaan tunnistaa osa-alueita, joiden vaihtuminen toinen toisekseen on usein asteittaista ja vaikeaselkoista.

Osa-alueiden joistakin yhteisistä piirteistä huolimatta on ilmeistä, että jo alkuaan on ollut erillisiä, eri-ikäisiä ja niin varhaisimmalta metamorfoosi- kuin deformaatiohistorialtaankin toisistaan poikkeavia lohkoja ja vyöhykkeitä. Ne ovat arkeisten ja proterotsooisten liikuntojen seurauksena assosioituneet nykyiseen asemaansa. Voimakkaiden metamorfoosi-, deformaatio-, sulamis- yms. prosessien muokkaamina ne ovat viimein saaneet nykyisen asunsa.



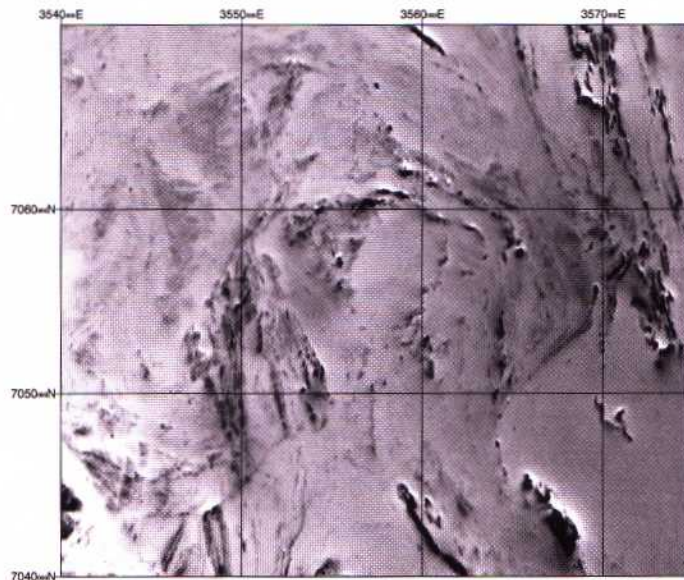
Kuva 1. Rautavaaran (3343) kartta-alue. Symbolit: Suorakulmio = kemiallisen analyysin numero (taulukot 1 - 4), ympyrä = valokuvan numero, kolmio = isotooppiajoituksen numero (taulukko 5).  
Fig. 1. The Rautavaara (3343) map-sheet area. Symbols: Rectangle = chemical analysis no. (Tables 1-4), Circle = Fig.no., Triangle = isotopic dating no. (Table 5).



### Amfiboliittiraitaiset migmatiitit

Kartta-alueen länsilaidan kallioperä on amfiboliittiraitaista tonaliittista - trondhjemittista migmatiittia (kuva 3a), joka ei ole kokenut proterotsooisena aikana yhtä läpikotaista plastista deformaatiota kuin muu kartta-alueen kallioperä, vaan puristusvoimat ovat purkautuneet lukuisia myloniittisia heikkousvyöhykkeitä pitkin. Myloniittien rajoittamat lohkot ovat siten enimmäkseen hyvin säilyneitä. Migmatiitit jatkuvat Iisalmen - Lapinlahden arkeiselle alueelle (Paavola 1988 & 1991), missä niiden kvartsidioriittinen ja amfiboliittinen paleosomiaines on ajoitettu 3,1 Ga vanhaksi (Paavola 1986). NORDSIM-laitteistolla vanhimman zirkonipopulaation ikä vielä kasvoi 3,2 Ga:een (Mänttari et al. 1998). Kartta-alueen kallioperän lounaisimmassa nurkassa (01A) on paikoin hyvin homogeenisia tai nebuliittisia osia, jotka kuuluvat tyypiltään Varpaisjärven - Iisalmen alueen granuliittilohkojen leukodioriitteihin ja enderbiitteihin.

Amfiboliittiraitainen tonaliittinen - trondhjemittinen kallioperä on valtaosin stromaattista tai phlebiittistä migmatiittia. Sälevän järvialueella (01) on schollentyyppisiä migmatiittirakenteita (kuva 3b). Neosomi on pääasiassa trondhjemittista, harvemmin leukograniittista, ja sen raekoko vaihtelee keskirakeisesta karkeaan. Vaihtelevan levyiset amfiboliittiraidat ja vyöhykkeet ovat yleisiä. Amfiboliitissa on paikoin granaatteja (kuva 3c). Eräs runsaasti granaatteja sisältävä amfiboliittivyöhyke on Otramästä pohjoiseen, Säynelähdän länsipuolella (01A).



Kuva 2. Rautavaaran kartta-alueen aeromagneettinen kartta. Harmaasävyversion ovat laatineet Korhonen ja Airo (1984).

*Fig. 2. Aeromagnetic map of the Rautavaara map sheet area. Grey-tone version compiled by Korhonen and Airo (1984).*

Taulukko 1. Arkeisten amfiboliittien kemiallisia koostumuksia.  
Table 1. Chemical compositions of Archaean amphibolites.

Oksidi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	54,27	54,16	45,93	50,57	48,06	51,09	54,20	50,09	47,53
TiO <sub>2</sub>	0,84	0,78	1,06	1,09	1,40	0,87	0,57	0,87	0,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,92	13,51	14,52	17,09	12,54	13,11	15,29	14,03	15,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,01	12,53	14,13	11,08	17,72	12,39	8,75	12,05	9,49
MnO	0,18	0,20	0,23	0,31	0,19	0,15	0,18	0,31	0,20
MgO	4,11	4,56	7,47	4,13	5,28	7,75	6,40	5,13	8,39
CaO	7,44	7,59	9,83	10,42	7,62	6,93	5,97	12,82	12,66
Na <sub>2</sub> O	3,22	2,76	2,36	3,13	1,81	3,11	4,64	1,75	1,73
K <sub>2</sub> O	0,98	0,87	1,30	0,67	1,12	1,89	1,83	0,54	0,68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,09	0,08	0,08	0,22	0,16	0,09	0,07	0,04
Summa	97,09	97,05	96,91	98,57	95,96	97,45	97,92	97,66	97,03

ppm

V	259	292	336	342	415	177	170	288	177
Cr	20	20	241	319	14	580	214	242	381
Cu	21	59	31	78	10	0	17	110	13
Zn	149	129	175	113	237	153	109	103	96
Ni	19	19	97	164	7	231	119	139	216
S	470	1730	850	1030	250	50	40	360	160
Nb	4	0	4	3	9	9	4	4	4
Ba	296	267	206	76	331	339	512	112	73
Sr	247	223	120	148	157	175	162	175	200
Zr	110	82	53	49	139	110	94	48	25
La	22	19	20	15	27	28	30	20	14
Ce	48	41	32	30	71	44	46	19	16
Pb	30	19	15	17	27	22	14	21	20
Cl	210	294	271	184	352	118	74	42	64
Ca	22	21	17	20	30	25	23	22	20
Rb	23	11	23	5	29	44	49	8	11
Y	17	18	29	24	21	13	13	18	11

1.	Rautavaara, Hakolampi	09A	7061,660	3561,140
2.	Rautavaara, Susi-Kervinen	05B	7057,820	3554,320
3.	Rautavaara, Niskakangas	08B	7057,645	3561,480
4.	Rautavaara, Niskakangas	08B	7057,645	3561,480
5.	Rautavaara, Susi-Kervinen	05B	7057,890	3554,385
6.	Rautavaara, Saarilampi	08A	7054,130	3562,300
7.	Rautavaara, Talkousmäki	06C	7061,620	3556,450
8.	Rautavaara, Raiskionmäki	05C	7052,240	3558,815
9.	Rautavaara, Heinälampi	05C	7052,670	3559,280

Taulukko 1. jatkuu  
 Table 1, continues

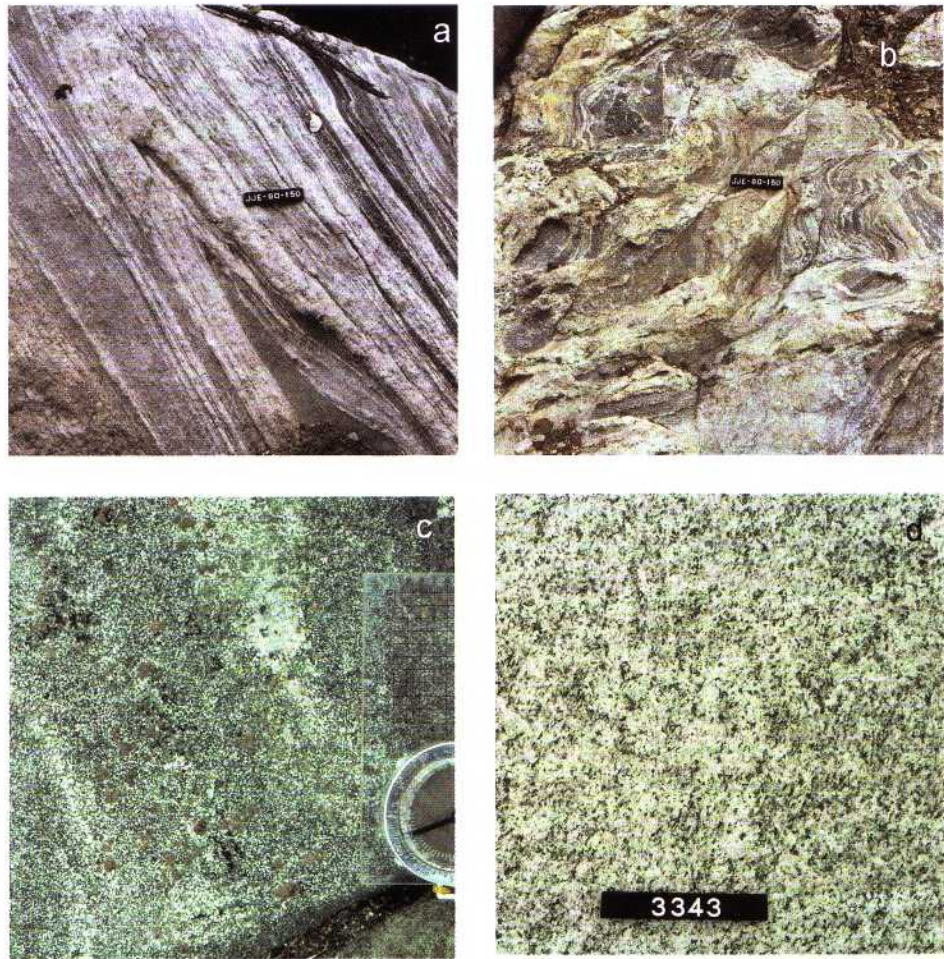
Oksidi	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO <sub>2</sub>	51,30	63,77	50,96	61,50	54,31	53,81	59,87	53,27	51,57
TiO <sub>2</sub>	0,64	0,69	0,34	1,63	1,05	1,30	1,31	2,16	1,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,37	14,86	8,33	11,21	11,87	11,14	13,27	11,52	14,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,03	7,07	16,82	9,84	14,55	11,98	8,04	14,44	11,83
MnO	0,18	0,21	0,18	0,11	0,19	0,23	0,15	0,30	0,20
MgO	6,27	2,96	11,84	5,61	9,42	7,91	6,26	9,68	9,34
CaO	9,54	2,97	4,55	5,23	3,79	8,51	4,82	2,36	2,18
Na <sub>2</sub> O	3,10	2,87	1,82	3,73	4,05	2,46	4,81	4,32	4,36
K <sub>2</sub> O	0,71	2,55	0,24	0,11	0,05	0,20	0,08	0,17	1,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,12	1,40	0,38	0,38	0,28	0,11	0,21	0,01
Summa	97,22	98,07	96,48	99,35	99,66	97,82	98,72	98,43	97,27

ppm

V	240	162	32	82	50	75	59	108	73
Cr	21	188	25	16	14	13	17	20	16
Cu	47	71	5	0	0	4	0	8	5
Zn	97	345	116	73	146	124	81	158	140
Ni	42	85	16	9	7	13	6	6	8
S	550	3710	150	90	60	80	390	90	180
Nb	4	6	1	13	10	11	16	24	16
Ba	156	528	39	22	28	25	97	38	210
Sr	224	126	26	80	95	48	63	57	57
Zr	64	134	191	196	202	198	251	356	254
La	30	28	51	32	19	27	12	50	24
Ce	29	50	116	81	47	71	42	113	48
Pb	16	42	35	21	22	23	26	32	40
Cl	102	165	356	83	171	235	69	198	642
Ga	21	21	26	31	29	27	29	23	36
Rb	5	101	11	1	3	4	3	3	65
Y	14	17	99	198	70	220	103	82	35

10.	Sonkajärvi, Alimmainen	05A	7052,900	3551,470
11.	Rautavaara, Susi-Kervinen	05B	7057,890	3554,380
12.	Rautavaara, Honkamäki	09A	7061,680	3560,340
13.	Rautavaara, Ristikipuro	06C	7061,015	3558,130
14.	Rautavaara, Ristikipuro	06C	7061,015	3558,130
15.	Rautavaara, Heikinmäki	06C	7060,370	3557,590
16.	Rautavaara, Heikinmäki	06C	7060,510	3557,810
17.	Rautavaara, Heikinmäki	06C	7060,510	3557,810
18.	Rautavaara, Heikinmäki	06C	7060,510	3557,810





Kuva 3. Kartta-alueen länsilaidan hyvin säilyneen arkeisen kallioperän tyyppejä. -

a) Amfiboliittiraitaista tonaliittia - trondhjemiiittia. Laatan pituus 12 cm.

b) Schollen-migmatiittia.

c) Granaattipitoinen pyrokseeniamfiboliitti.

d) Homogeenista tonaliittia. (Rokanmäen tyyppi).

*Fig.3. Well-preserved Archaean bedrock types of western map-sheet area.*

*a) Amphibolite-banded tonalite - trondhjemite. Length of scale 12 cm.*

*b) Schollen migmatite.*

*c) Garnetiferous pyroxene amphibolite.*

*d) Homogenous tonalite (Rokanmäki type).*

a) Kumpusaari, 01B, x = 7048.150, y = 3542.100.

b) Kumpusaari, 01B, x = 7048.140, y = 3542.120.

c) Otramäki, 01A, x = 7043.720, y = 3542.820.

d) Vehmasjärvi, 02D, x = 7057.150, y = 3547.430.

Muina päämineraaleina ovat sarvivälke ja plagioklaasi, joskus uraliitti, jossa voi vielä olla pieniä pyrokseenijäänteitä. Amfiboliitin tekstuuri on grano-blastinen. Ulkoasultaan hyvin samantyyppistä, mutta nuorempaa ja kemialliselta koostumukseltaankin erilaista amfiboliittia (Hölttä, 1997) esiintyy monin paikoin myös ns. muuttuneiden kivien yhteydessä Rokanmäen tonaliitin (s. 14) itäpuolella kartta-alueen keskiosissa. Runsaimmin tällaista amfiboliittia on paljastuneena myös Ylimmäinen-nimisen järven ja Tervämäen välillä (05A), missä se on osittain granuliiteille ominaista, paikoin granaattipitoista kahden pyrokseenin amfiboliittia. Tämä arkeinen amfiboliitti on kartalla merkitty tummanvihreällä värillä; kun se esiintyy raitaisuutena, on käytetty liekkikuviota.

### **Homogeeniset syväkivet**

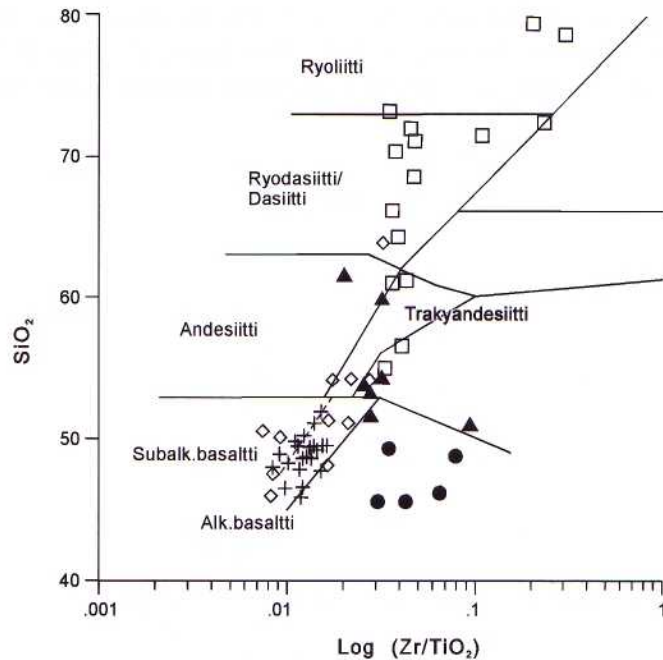
Kartta-alueen länsilaidan amfiboliittiraitainen arkeinen migmatiittikallioperä muuttuu idempänä ilman jyrkkää rajaa hyvin tasalaatuisiksi syväkiveksi, joka taas itälaidaltaan rajautuu selvemmin siirroksiin ja hiertovyöhykkeisiin. Tätä homogeenista, ns. Rokanmäen tyyppistä tonaliittia - kvartsidioriittia (kuva 3d) on noin 2 - 3 km leveänä vyöhykkeenä Itäkoskelta (01C,D) Kokkokankaan (02A,C), Rokanmäen (02D) ja Pohjakankaan (02D, 03C) kautta aina Rehvon (03C) alueelle asti. Muuttuneiden kivien kaaren keskellä, Poikainmäen ja Heikinmäen välisellä alueella (05D), on niin ikään laaja, pyöreähkö alue samantyyppistä homogeenista tonaliittista - kvartsidioriittista kallioperää. Tällaista kallioperää löytyy paikallisesti myös muualta 05- ja 06-lehtien alueelta - laajimmin Haukilammen (05A) ympäristöstä. Tämän homogeenisen arkeisen kallioperätyypin esiintymistä on havainnollistettu kartalla hieman raitaisia osia tummemmalla pohjavärillä. Näistä kohdista luonnollisesti myös amfiboliittipäällemerkinnät puuttuvat.

Graniittijuonia ja graniittitumista on tässä kallioperätyypissä runsaasti, etenkin sen pohjoisosissa (03, 06). Kohdakkoin on nähtävissä nebuliittisia amfiboliittijäänteitä tai haamumaista raitaisuutta. Homogeenisen tonaliittisen kivityypin päämineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi, biotiitti ja sarvivälke. Kalimaasälpää on joskus vähän, enimmäkseen alueen pohjoisosissa. Epidootti ja titaniitti ovat yleisiä. Rokanmäen (02D) alueelta on kivistä tehty zirkonin U-Pb-ikämääritys (s. 45).

### **Kemiallisesti muuttuneet kivet**

Kartta-alueen keskellä näkyy - parhaiten aeromagneettisella kartalla (kuva 2) - laajaa katkonaista kaarta muistuttava rakenne, joka länsiosastaan erottuu suunnikkaan muotoisena, osin siirrosten rajaamana lohkona. Tämän kaaren alueella on verrattain kapeina vyöhykkeinä valtaosa niistä alueen aiemmin mainituista kivilajeista, jotka ovat eriasteisesti muuttuneet primaariselta kemialliselta koostumukseltaan. Ne ovat valtaosin mitä ilmeisimmin vulkano-genisiä ja sedimentogeenisiä, mutta kokeneet voimakkaita hydrotermisiä

muutoksia. Näiden kivilajien kemiallisen koostumuksen pääalkuaineista on osa uuttunut ja osa vastaavasti rikastunut. Myöhemmät metamorfiset tapahtumat ja poimutukset ovat tehneet vyöhykkeen kivet mineraalikoostumukseltaan ja rakenteeltaan moninaisiksi. Muuttuneita kiviä on pieninä taskuina myös varsinaisen kaaren ulkopuolella, vaikka siellä hallitsevina ovatkin hyvin leukokraattiset migmatiitit sekä tonaliittiset tai granodioriittiset granitoidit ja migmatiitit, joita luonnollisesti on myös em. kaaren alueella. Kemiallisesti muuttuneiden kiven koostumukselle on tyypillistä erityisesti CaO:n vähäisyys, mutta myös  $K_2O$  ja  $Na_2O$  ovat vaihtelevan asteisesti vähentyneet.  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO_1$  ja  $MgO$  ovat vastaavasti suhteellisesti rikastuneet (taul. 2; kuva 8). Näistä poikkeuksellisista kemiallisista koostumuksista ja kohtalaisen korkeista metamorfoosiolosuhteista johtuen on näiden kiven mineraalikoostumuskin hyvin kirjava. Yleisimpiä päämineraaleja ovat kvartsi, granaatti, kordieriitti, ortoamfiboli, staurolitti, kyaniitti, sillimaniitti, andalusiitti ja kloriitti. Kummingtoniittia ja vaaleaa biotiittia esiintyy paikoin vaihtelevia määriä, muskoviittia ja plagioklaasia satunnaisesti. Rutiilia ja magnetiittia on usein poikkeuksellisen runsaasti. Turmaliinia on yleisesti, paikallisesti hyvin runsaastikin. Pieniä zirkonirakeita (enimmäkseen 0,01-0,05 mm) on joissakin



Kuva 4. Rautavaaran kartta-alueen kiven koostumuksia esitettynä diagrammilla  $SiO_2$  vs.  $Zr/TiO_2$  (Winchester & Floyd 1977). Symbolit: risti = proterotsooinen diabaasi, vinoneliö = arkeinen amfiboliitti, kolmio = muuttunut amfiboliitti, neliö = kemiallisesti muuttunut kivi, piste = ultramafinen kivi (vrt. taulukot 1 - 4).

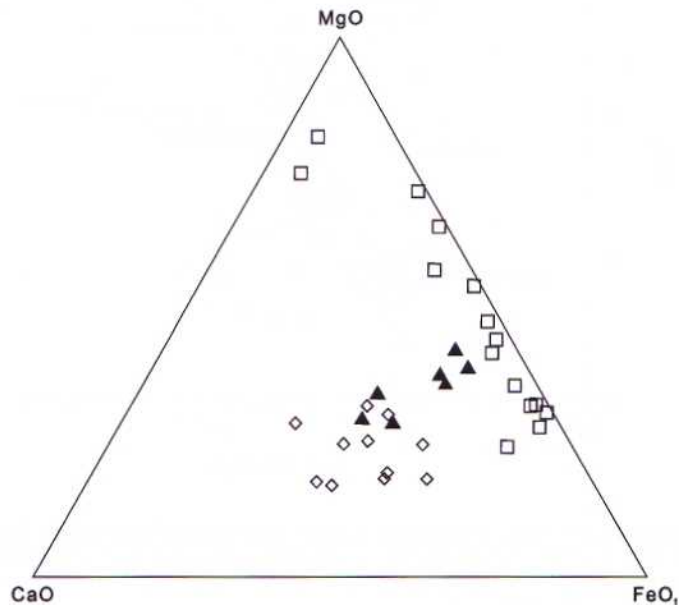
Fig. 4. Rock compositions from the Rautavaara map-sheet area in  $SiO_2$  vs  $Zr/TiO_2$  diagram (Winchester & Floyd 1977). Symbols: cross = Proterozoic diabase, diamond = Archaean amphibolite, triangle = altered amphibolite, square = chemically altered rock, dot = ultramafic rock (cf Tables 1-4).



hieissä havaittavissa poikkeuksellisen paljon. Muuttuneista kivistä analysoitujen näytteiden zirkoniumin keskipitoisuus on 295 ppm (vrt kuva 6). Granaatti on yleensä muuttunut reunoiltaan ja lohkoraoiltaan kordieritiksi ja edelleen stauroliitiksi ja kloriitiksi.

Selvästi samaan ryhmään kuuluvia kiviä on mm. Nilsin Pajuniemen (3334 04A) alueella. Varpaisjärven Jonsan - Karsanlahden alueen (3334 02, 03) kivet (ks. Paavola 1984) voivat niin ikään olla rinnastettavissa, vaikkakin ne ovat korkeamman metamorfoosiasteen muunnoksia. Tuon alueen pyrokseeniamfiboliitit näyttäisivätkin pääosin poikkeavan kemialliselta koostumukseltaan läntisemmästä, Iisalmen - Lapinlahden alueen vanhemmasta tholeiittisesta tyypistä (Hölttä 1997) ja sopivan Rautavaaran alueen arkeisten amfiboliittityyppien koostumuskenttään. (Kartta-alueen länsilaidan hyvin säilyneiden migmatiittien katsotaan tosin kuuluvan läntiseen vanhempien tholeiittien ryhmään.)

Dymek ja Smith (1990) ovat kuvanneet Länsi-Grönlannista Malenen supra-krustisen sarjan, johon kuuluvat kivet ovat kuvauksen mukaan hämmästyttävän samantyyppisiä, joskin ilmeisesti vanhempaa materiaalia kuin Varpaisjärven - Rautavaaran alueella. Malenen sarjan kvartsi-kordieriittikivien ei kuitenkaan katsota voivan olla peräisin emäksisestä lähtömateriaalista, vaan jo alun perin happamasta (A-tyyppisestä aineksesta), mahdollisesti ryoliittisesta tuffimateriaalista. Sama pätee varmasti myös tiettyihin Rautavaaran alueen runsas-kvartsiin kiviin (esim.  $Zr/TiO_2$  vs.  $SiO_2$ , Winchester & Floyd 1977, kuva 4). Osa kivistä sitä vastoin voi edustaa koostumuksensakin perusteella pitkälle



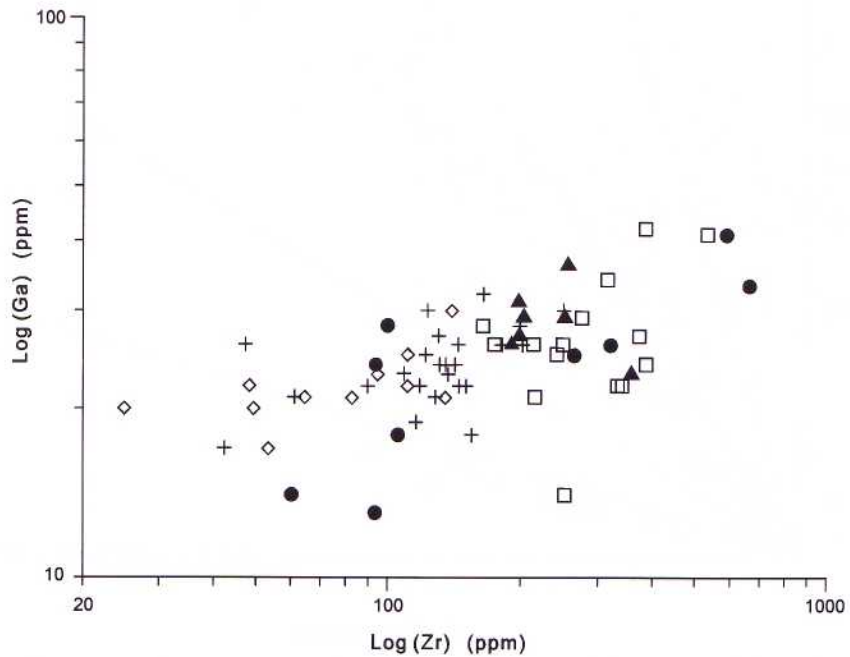
Kuva 5. Rautavaaran kartta-alueen arkeisten kivilajien koostumuksia diagrammilla MgO-FeO<sub>1</sub>-CaO. Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig 5. Compositions of Archean rocks from the Rautavaara map-sheet area in MgO-FeO<sub>1</sub>-CaO diagram. Symbols as Fig. 4.

muuttunutta basalttista materiaalia. Helposti liikkuvat alkuaineet muodostavat trendejä ainakin joistakin arkeisista amfiboliiteista muuttuneisiin amfiboliiteihin ja edelleen ns. muuttuneisiin kiviin (esim.  $\text{CaO-FeO}_1\text{-MgO}$  ja  $\text{Zr/TiO}_2$  vs.  $\text{SiO}_2$ ; kuvat 4 & 5). Toisaalta joidenkin alkuaineiden kesken havaittavasta korrelaatiosta (esim.  $\text{V/Ti}$ , kuva 7) saa vaikutelman, ettei muuttuneilla amfiboliiteilla (eikä muillakaan muuttuneilla kivillä) ole mitään tekemistä hyvin säilyneiden amfiboliittien kanssa. Hölttä (1997) katsoo kemiallisten koostumusten perusteella Varpaisjärven Jonsan alueen kordieriitti-ortoamfiboli/ortopyrokseenikivien ja kvartsi-kordieriittikivien olevan peräisin alueen tholeiittisista amfiboliiteista, joista ne olisivat syntyneet merenpohjan muuttuessa tai jonkin muun premetamorfisen prosessin vaikutuksesta.

Muuttuneiden kivien ulkonäkö on hyvin moninainen, ja se riippuu mm. porfyroblastien laadusta ja määrästä. Kvartsi ja kloriitti esiintyvät yleensä runsaina ja määräävät usein kiven värisävyn. Muuttuneiden kivien eroavuudet näkeekin parhaiten vasta mikroskooppitarkastelussa. Toisaalta jotkin kivistä voivat olla mikroskooppisesti hämmästyttävän samankaltaisia, vaikka ne paljastumassa näyttäisivätkin selvästi erilaisilta. Voimakkaan kvartsiutumisen ja kloriittiutumisen lisäksi kivissä esiintyy tavallista enemmän myös magnetiittia. Osa kivistä näkyikin magneettisella kartalla selvinä positiivisina anomaliaina.

Erityyppiset kemiallisesti muuttuneet kivet, kuten mm. kvartsi- ja kloriitti-valtaiset kordieriittipitoiset kivet, granaatti-kordieriitti-stauroliittikivet, kordieriitti-ortoamfibolikivet tai kolmen alumiinisilikaatin kivet, on merkitty



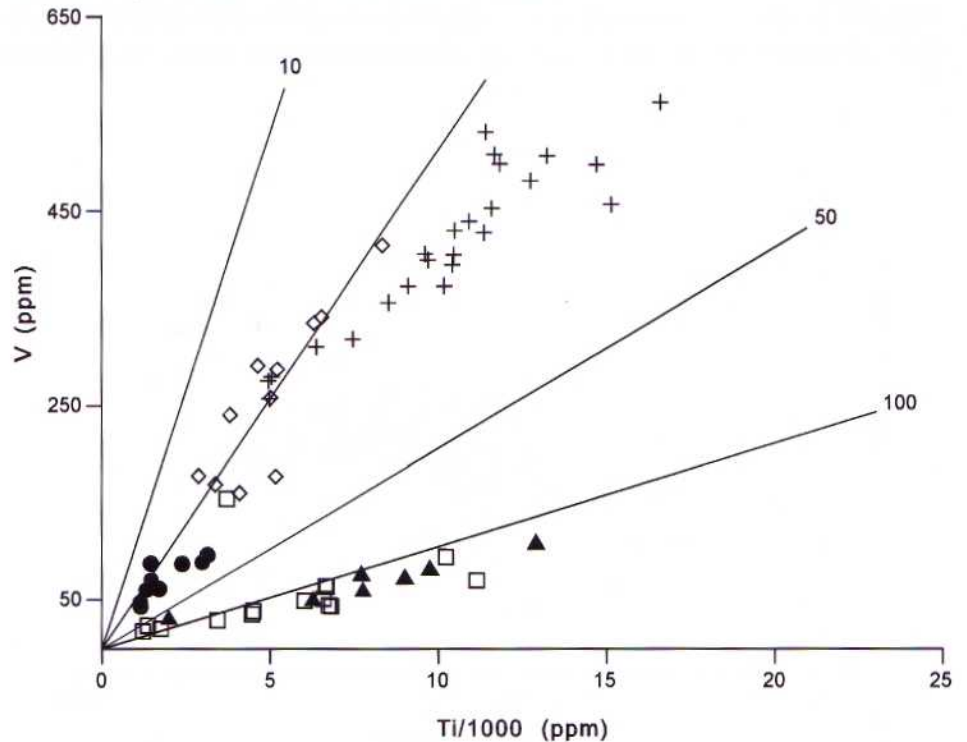
Kuva 6. Rautavaaran kartta-alueen kivien koostumuksia esitettynä diagrammilla Zr vs. Ga. Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig. 6. Rock compositions from the Rautavaara map-sheet area in Zr vs Ga diagram. Symbols as in Fig. 4.



Rautavaaran kallioperäkartalle yhteisellä kellanvihreällä pohjavärillä ja pyrity erottelemaan merkittävimmillä diagnostisilla mineraalisymboleilla. Näiden melko suppea-alaisten kivilajien tarkempi erottelu olisi muuten vaikeaa 1 : 100 000-mittakaavaisella kartalla.

Amfiboliitit ovat alkuaan mitä todennäköisimmin vulkaniitteja. Ne ovat siis jo primaarisestikin koostumukseltaan ja ulkonäöltään vaihtelevia. Lisäksi Rautavaaran alueen amfiboliiteilla myös kemiallinen koostumus vaihtelee selvästi (kuvat 4 & 16). Amfiboliitteja esiintyy säännöllisesti muuttuneiden kivien tuntumassa. Lisäksi karttaan on eroteltu muuttuneita amfiboliitteja. Niillä tarkoitetaan mineralogialtaan retrogradisia emäksisiä kivityyppejä, joiden lähiympäristössä on monin paikoin nähtävissä hyvin säilynyt, usein granoblastinen amfiboliitti. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, että amfiboliitit olisivat alkuperältään samoja. Kemiallisilta koostumuksiltaan nämä kivet näyttävätkin liittyvän joidenkin erotteludiagrammien perusteella (esim. Ti/V, kuva 7) ennemminkin muuttuneiden kivien kuin hyvin säilyneiden amfiboliittien tuntumaan, vaikka amfiboliitit maastossa näyttäisivätkin vaihettuvan toisikseen; tähän viittaa tosin myös joidenkin amfiboliittien koostumus. Muuttuneet amfiboliitit koostuvat pääosin plagioklaasista, sekundaarisista amfiboileista (vaalea sarvivälke, aktinoliitti, antofylliitti), biotiitista, kloriitista ja vaihtelevasta määrästä kvartssia.



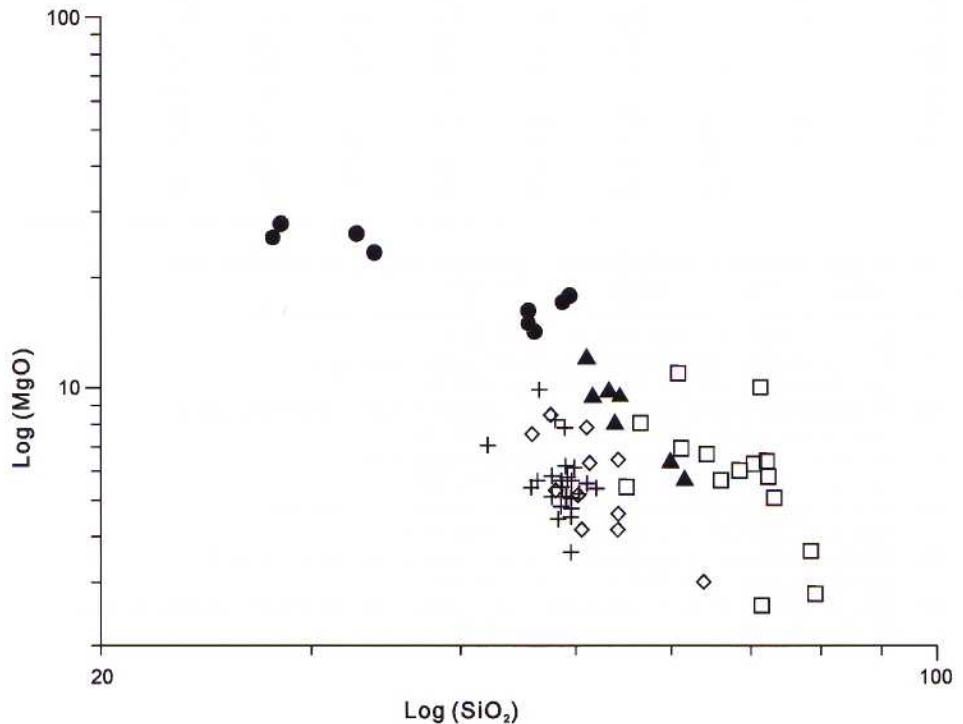
kuva 7. Rautavaaran kartta-alueen kivien koostumuksia esitettyinä diagrammilla V vs. Ti. Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig. 4. Rock compositions from the Rautavaara map-sheet area in V vs Ti diagram. Symbols as in Fig. 4.

Korpisenjärven (01C) länsipuolella on vyöhykkeitä, joiden kivien koostumus poikkeaa ympäristöstä. Parhaiten paljastunut näistä vyöhykkeistä ulottuu Isosta Pääjärvestä Tielahteen. Vyöhykkeen keskellä on muutaman kymmenen metrin levyinen yhtenäinen kvartsiittinen jakso. Se on vahvasti deformatunutta ja sisältää kvartsin lisäksi vähän sillimaniittia, kloriittia, muskoviittia, kyaniittia, antofylliittia ja rutiilia. Kvartsiittia reunustaa runsaasti kvartsia sisältävä granaatti-kloriittikivi, missä kvartsi on verkostona granaattien ympärillä. Tämä tyyppi on hyvin tavallinen muuttuneiden kivien joukossa, ja se sisältää lisäksi antofylliittia, sillimaniittia ja rutiilia, usein myös piniittitynyttä kordieriittia.

Mynninmäen ja Vehmasmäen (02C,D) välisellä alueella on amfiboliittiraitainen arkeinen migmatiitti monin paikoin vahvasti graniittiutunut ja pegmatiittigraniitin määrä kasvaa. Migmatiitti muuttuu monin paikoin nebuliittiseksi ja leukokraattiseksi, ja amfiboliittinen paleosomi kloriittiutuu, kiilteytyy ja kvartsiutuu. Paikoin on granaatteja. Joissakin vyöhykkeissä on runsaasti kookkaita magnetiittirakeita. Alueen tyypillinen kloriittiutunut kivi voi sisältää kloriitin ja kvartsin lisäksi vaihtelevia määriä hailakan väristä biotiittia, antofylliittia, kummingtoniittia, plagioklaasia ja rutiilia.

Välillä Ylimmäisenmäensuo - Tervämäki (05A) - Raatomäki (04B) on kahden pyrokseenin amfiboliittien ja amfiboliittiraitaisten migmatiittien yhteydes-



Kuva 8. Rautavaaran kartta-alueen kivien koostumuksia esitettyinä diagrammilla  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{MgO}$ . Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig. 8. Rock compositions from the Rautavaara map-sheet area in  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{MgO}$  diagram. Symbols as in Fig. 4.

Taulukko 2. Muuttuneiden kivien kemiallisia koostumuksia Rautavaaran karttalehdeltä.  
 Table 2. Chemical compositions of altered rocks from the Rautavaara map-sheet area.

Oksidi	19	20	21	22	23	24	25	26
SiO <sub>2</sub>	71,12	60,92	66,10	73,19	55,12	72,41	70,39	61,18
TiO <sub>2</sub>	0,75	1,11	1,13	1,01	1,71	0,24	0,77	0,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,05	12,34	10,67	7,78	14,81	10,81	8,85	15,62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,12	7,70	12,79	9,47	16,25	5,25	8,36	8,07
MnO	0,03	0,06	0,16	0,15	0,50	0,11	0,04	0,07
MgO	9,94	10,83	5,58	5,02	5,38	5,74	6,21	6,83
CaO	0,20	1,11	0,50	0,49	2,39	0,11	0,33	0,27
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,12	0,08	0,04	2,90	0,15	0,00	0,69
K <sub>2</sub> O	0,10	0,47	1,12	1,29	0,68	1,60	0,09	1,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,78	0,35	0,37	0,05	0,02	0,28	0,16
Summa	95,42	95,44	98,48	98,81	99,79	96,44	95,32	94,99
ppm								
V	36	63	46	49	95	24	39	154
Cr	17	12	17	18	16	23	14	143
Cu	0	0	0	9	2	0	8	68
Zn	55	78	67	100	95	190	199	230
Ni	9	3	7	9	19	7	9	88
S	130	150	120	100	90	110	160	4080
Nb	5	7	6	5	8	8	3	6
Ba	23	45	460	505	140	324	41	444
Sr	0	6	7	7	86	7	3	18
Zr	214	242	248	213	338	331	173	163
La	7	29	32	22	24	37	19	32
Ce	28	83	63	59	39	60	44	72
Pb	13	10	10	11	15	10	16	19
Cl	96	261	310	226	134	91	83	68
Ga	21	25	26	26	22	22	26	28
Rb0	16	25	33	22	48	4	29	
Y	27	53	56	44	84	55	40	21

19. Kvartsi-kordieriitti-antofylliittikivi - *Quartz-cordierite-anthophyllite rock*  
Lumimäki 06C, x = 7060,140; y = 3555,320
20. Kvartsi-kloriitti-kordieriittikivi - *Quartz-chlorite-cordierite rock*  
Lumimäki 06C, x = 7060,180; y = 3555,280
21. Kvartsi-granaatti-kordieriittikivi - *Quartz-garnet-cordierite rock*  
Susi-Kervinen 05B, x = 7057,890; y = 3554,380
22. Granaatti-kordieriitti-antofylliittikivi - *Garnet-cordierite-anthophyllite rock*  
Susi-Kervinen 05B, x = 7057,880; y = 3554,360
23. Granaatti-antofylliittikivi - *Garnet-anthophyllite rock*  
Susi-Kervinen 05B, x = 7057,885; y = 3554,365
24. Kvartsi-granaatti-kordieriittikivi - *Quartz-garnet-cordierite rock*  
Susi-Kervinen 05B, x = 7057,880; y = 3554,380
25. Kvartsi-kordieriitti-stauroliittikivi - *Quartz-cordierite-staurolite rock*  
Kulvemäki 06C, x = 7062,370; y = 3558,000
26. Kvartsi-kloriitti-kyaniitti-andalusiittikivi - *Quartz-chlorite-kyanite-andalusite rock*  
Honkamäki 09A, x = 7061,680; y = 3560,340



Taulukko 2 jatkuu  
Table 2, continues

Oksidi	27	28	29	30	31	32	33
SiO <sub>2</sub>	56,64	71,51	78,49	79,25	64,24	72,05	68,51
TiO <sub>2</sub>	1,12	0,58	0,21	0,31	1,09	1,14	1,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,17	14,73	11,11	9,37	11,45	15,50	19,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,65	7,01	2,04	6,80	15,07	0,48	0,52
MnO	0,10	0,09	0,04	0,06	0,24	0,02	0,02
MgO	8,04	2,56	3,57	2,75	6,58	6,33	5,97
CaO	0,81	0,33	0,05	0,08	0,41	0,95	1,45
Na <sub>2</sub> O	1,34	0,64	0,36	0,03	0,00	0,66	1,60
K <sub>2</sub> O	0,32	1,26	2,12	1,03	0,02	0,03	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	0,03	0,02	0,02	0,11	0,53	0,51
Summa	94,56	98,74	98,01	99,70	99,21	97,69	99,82
ppm							
V	64	29	18	22	55	44	70
Cr	25	24	17	17	18	7	12
Cu	75	0	4	1	3	0	0
Zn	446	384	109	117	90	40	42
Ni	10	9	13	5	6	4	8
S	4480	110	170	130	100	10	20
Nb	10	17	13	11	11	7	15
Ba	115	291	423	109	17	19	7
Sr	31	33	28	2	2	19	30
Zr	274	380	385	369	253	312	527
La	36	56	41	26	42	0	4
Ce	77	108	96	54	83	30	32
Pb	25	62	24	13	16	14	19
Cl	105	117	32	72	169	134	118
Ga	29	42	24	27	14	34	41
Rb	10	39	67	25	0	0	0
Y	46	108	59	67	79	65	94

27. Kvartsi-kloriitti-stauroliittikivi - *Quartz-chlorite-staurolite rock*  
Honkamäki 09A, x = 7061,680; y = 3560,340
28. Kvartsi-stauroliittikivi - *Quartz-staurolite rock*  
Honkamäki 09A, x = 7061,600; y = 3560,210
29. Kvartsi-kordieriittikivi - *Quartz-cordierite rock*  
Kalliolampi 09A, x = 7061,050; y = 3561,530
30. Granaatti-kordieriitti-stauroliittikivi - *Garnet-cordierite-staurolite rock*  
Haukilampi 05A, x = 7052,630; y = 3552,830
31. Granaatti-kordieriitti-antofylliittikivi - *Garnet-cordierite-anthophyllite rock*  
Sonkajärvi, Kaivoslampi 05A, x = 7054,310; y = 3552,720
32. Kvartsi-turmaliinikivi - *Quartz-tourmaline rock*  
Kortimomäki 06C, x = 7062,260; y = 3557,440
33. Kvartsi-turmaliinikivi - *Quartz-tourmaline rock*  
Kortimomäki 06C, x = 7062,260; y = 3557,440



Kuva 9. Granaatti-kordieriitti-antofylliitti-stauroliittikivi.  
*Fig. 9. Garnet-cordierite-anthophyllite-staurolite rock.*  
Kämpäkoski, 05A, x = 7052,630, y = 3552,930.



Kuva 10. Voimakkaasti muuttunut amfiboliitti, jossa kookkaat granaatit ovat lähes kokonaan kloriittituneet.  
*Fig. 10. An intensely altered amphibolite with almost completely chloritized large garnets.*  
Tervaniemi, 05A, x = 7052.420, y = 3553.600.



sä useissa vyöhykkeissä vaihtelevasti muuttuneita kiviä. Voimakkaimmin muuttuneet ovat hyvin kvartsirikkaita kordieriitti-kloriitti-flogopiittikiviä. Niissä on yleensä kohtalaisesti myös ortoamfibolia ja rutiilia. Ylimmäisenmäensuon (05A) alueella näissä kivissä on havaittu paikoin andalusiittiä ja kyaniittiä, Raatomäessä (04B) on lisäksi granaattia. Haukilammen ja Tervämäen välillä (04B) ovat granaatti-kordieriitti-stauroliittikivet (kuva 9) yleisiä. Joissakin ohuthieissä on havaittu sillimaniittiä. Granaatti on hajoamassa kordieriitiksi, stauroliitiksi ja edelleen kloriitiksi. Myös magnetiittia on usein kookkaina aggregoitumina. Paikoin kookkaat granaatit ovat täysin kloriittiutuneet (kuva 10). Alueen amfiboliitit muuttuvat tyypillisesti asteittain leukokraattisiksi ja paikoin runsaastikin magnetiittia sisältäviksi. Myös Issakan (05C) eteläpuolella on paljastuneena vaihtelevasti kvartsiutunutta granaatti-kordieriitti-antofylliittikiveä.

Susi-Kervisen alueella (05B) paljastettiin kartoituksen yhteydessä kaivurilla leikkaus kvartsi-kloriitti-granaattikiveä, migmatiittista amfiboliittia sekä peliittisiä ja psammiittisia metasedimenttejä (kuva 11). Kvartsivaltainen kloriitti-granaattikivi (kuva 11a & b) sisältää usein kordieriittiä, stauroliittiä ja ortoamfibolia. Kordieriitti näyttää täälläkin olevan granaatin hajoamistulos kuten stauroliitti ja myöhäisimpänä kloriittikin. Rutiilia on näille muuttuneille kiville tyypillisen runsaasti. Amfiboliitissa (kuva 11c) on paikoin pieniä granaatteja. Sarvivälkkeessä on huomattavasti opaakkipirotetta. Kiilleliuske (kuva 11d) sisältää niin ikään pieniä granaatteja. Lisäksi siinä on kvartsia, plagioklaasia, kloriittiutunutta biotiittia ja muskoviittia. Hieessä voi nähdä, miten varhaisempi liuskeisuus deformatuu tiuhaan esiintyvissä, yhdensuuntaisissa nuorissa hiertosaumoissa. Susi-Kervisen leikkauksessa on nähtävissä myös pegmatoidinen plagioklaasi-granaatti-antofylliittikivi, jossa plagioklaasi on kasvanut päälle kookkaina rakeina. Myös tämä kivi on kloriittiutunut ja kvartsiutunut.

Susi-Kervisen koillispuolella, Heinämäen alueella esiintyy hyvin leukokraattista kiveä. Kivi koostuu pääosin kvartsista ja plagioklaasista sekä kaikista kolmesta  $Al_2SiO_5$ -polymorfista. Biotiittia, kloriittiä ja serisiittiä on vaihtelevasti, rutiilia aksessorisesti (kuva 12). On lukuisia muitakin paikkoja esimerkiksi Autiomäen (06B) ja Honkamäen (09A) alueilla, missä kvartsirikkaissa kivissä on havaittu yhdessä esiintyvänä andalusiitti, kyaniitti ja sillimaniitti. Näissä leukokraattisissa kvartsi-kloriittikivissä esiintyy tosin mainittujen mineraalien lisäksi yleisinä myös stauroliitti, granaatti, kordieriitti, antofylliitti, kummingtoniitti ja kiilteet.

Lumimäen alueella (06C) on muuttuneiden amfiboliittien yhteydessä juoni-kvartsin migmatoimaa kloriittirikasta kiveä (kuva 13). Kvartsin ja kloriitin lisäksi on vaaleaa biotiittia, ortoamfibolia ja kordieriittiä, joka on yleensä läpeensä piniittiytynyttä. Rutiilia on paikoin runsaastikin; zirkonia, apatiittia, opaakkia ja turmaliinia hivenmineraaleina.

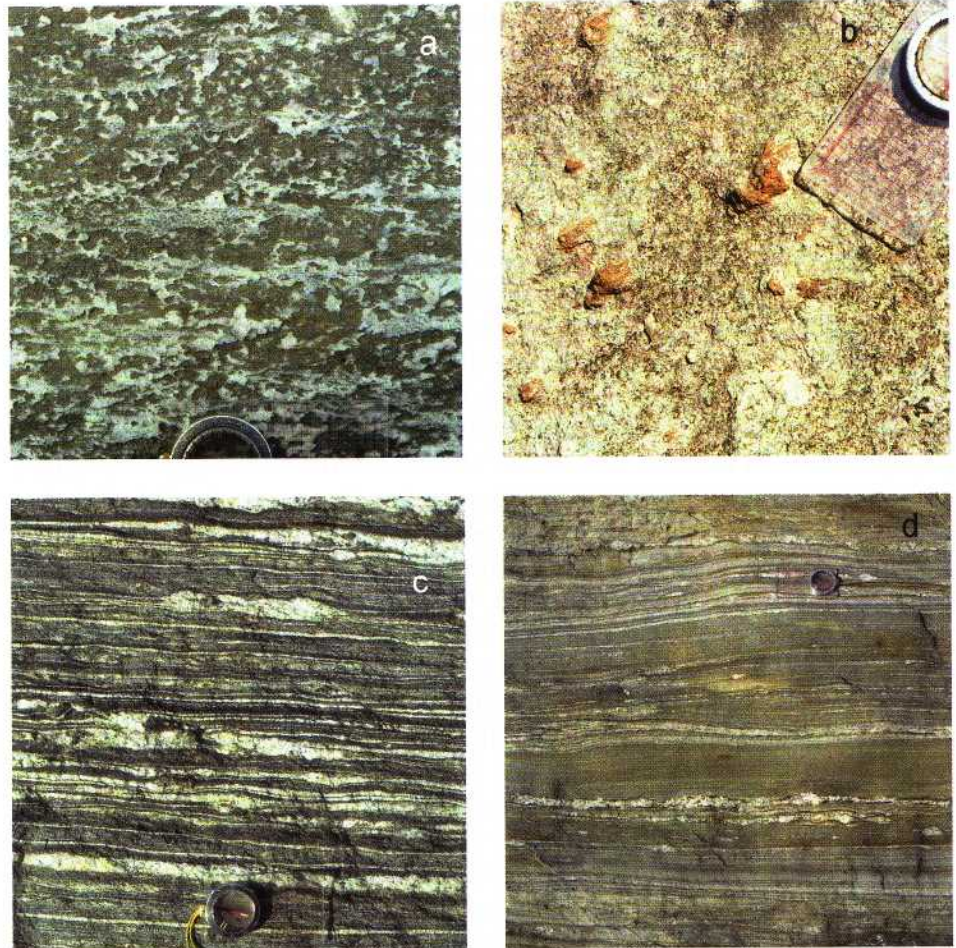
Kulvemäen alueella (06C) on runsaasti erilaisia voimakkaasti deformatuneita kvartsi-kloriittikiviä, joissa on paikoin nähtävissä kerroksellisuuteen viittaavia primaaripiirteitä, psammiittista ja peliittistä raitaisuutta. Kivet sisältävät yleisesti stauroliittiä ja vaihtelevasti piniittiytynyttä kordieriittiä. Gra-



naattia on monin paikoin, samoin ortoamfibolia. Kordieriitti on kasvanut kookkaiksi poikiloblasteiksi sulkien sisäänsä staurolittia ja granaattia.

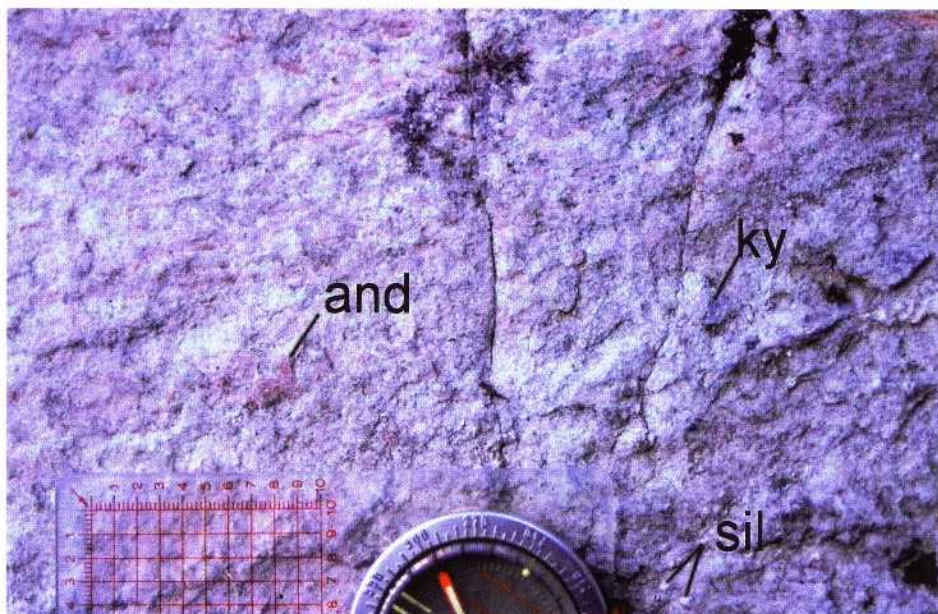
Kortimomäen kaakkoislaidalla (06C) on kookas paljastuma kvartsi-kloriittikiveä, jossa on kauttaaltaan poikkeuksellisen runsaasti ruskeaa turmaliinia. Sitä on rikastunut erityisesti poimun harjoihin. Lisäksi kivessä on flogopiittia ja rutiilia. Tämän turmaliinikiven kemiallinen koostumus poikkeaa jonkin verran muiden ns. muuttuneiden kivien koostumuskestästä (kuva 14). Niemelä (1988a) on koonnut tästä turmaliinaiheesta ja sen laboratoriotutkimuksista raportin.

Pienen Venäjänmäen - Honkamäen (06D,09A) alueella on usean tyyppisiä vahvasti deformatuneita muuttuneita kiviä ja amfiboliitteja. Erilaiset leuko-



Kuva 11. Susi-Kervisen profiilin kivilajeja: a) kvartsirikas kloriitti-granaattikivi, b) kvartsirikas granaatti-staurolitti-kordieriittikivi, c) migmatiittinen amfiboliitti ja d) kiillegneissi.  
Fig. 11. Rocks of the Susi-Kervinen profile: a) quartzose chlorite-garnet rock, b) quartzose garnet-staurolite-cordierite rock, c) migmatitic amphibolite and d) mica gneiss.  
Susi-Kervinen, 05B, x = 7057.900, y = 3554.350.





Kuva 12. Kvartsirikas kyanitti-sillimaniitti-andalusiittikivi.  
*Fig. 12. Quartzose kyanite-sillimanite-andalusite rock.*  
Heinämäki, 05B, x = 7058.530, y = 3554.550.



Kuva 13. Kvartsirikas kloriitti-kordieriitti-ortoamfibolikivi.  
*Fig. 13. Quartzose chlorite-cordierite-orthoamphibole rock.*  
Lumimäki, 06C, x = 7060.140, y = 3555.320.





Kuva 14. Kvartsi-turmalinikivi. Kolikon halkaisija 25 mm.  
*Fig. 14. Quartz-tourmaline rock. Diameter of coin 25 mm.*  
Korttimomäki, 06C, x = 7062.260, y = 3557.440.



Kuva 15. Ultramafinen kivi. Laatan pituus 12 cm.  
*Fig. 15. Ultramafic rock. Length of scale 12 cm.*  
Pieni Hakolampi, 09A, x = 7061.800, y = 3561.100.

Taulukko 3. Ultramafisen kiven kemiallisia koostumuksia Rautavaaran karttalehdeltä.  
Table 3. Chemical compositions of ultramafic rocks from the Rautavaara map-sheet area.

Oksidi	34	35	36	37	38	39	40	41	42
SiO <sub>2</sub>	32,75	28,35	27,95	49,35	33,86	45,60	48,77	45,59	46,18
TiO <sub>2</sub>	0,20	0,23	0,25	0,29	0,53	0,41	0,20	0,51	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,24	20,24	18,64	5,42	14,58	10,15	6,16	9,31	11,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,44	9,16	9,68	8,13	11,59	9,30	9,02	10,39	8,36
MnO	0,31	0,32	0,32	0,40	0,28	0,44	0,47	0,34	0,32
MgO	26,13	27,59	25,43	17,66	23,00	14,88	16,93	16,17	14,17
CaO	5,68	1,07	3,87	12,68	5,21	12,58	12,67	11,52	12,08
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,36	0,26	0,66	0,32	0,85	0,83
K <sub>2</sub> O	0,01	0,02	0,03	0,30	0,14	0,37	0,10	0,15	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,01	0,01	0,04	0,09	0,09	0,03	0,13	0,28
Summa	88,78	86,99	86,18	94,63	89,54	94,48	94,67	94,96	94,94

ppm

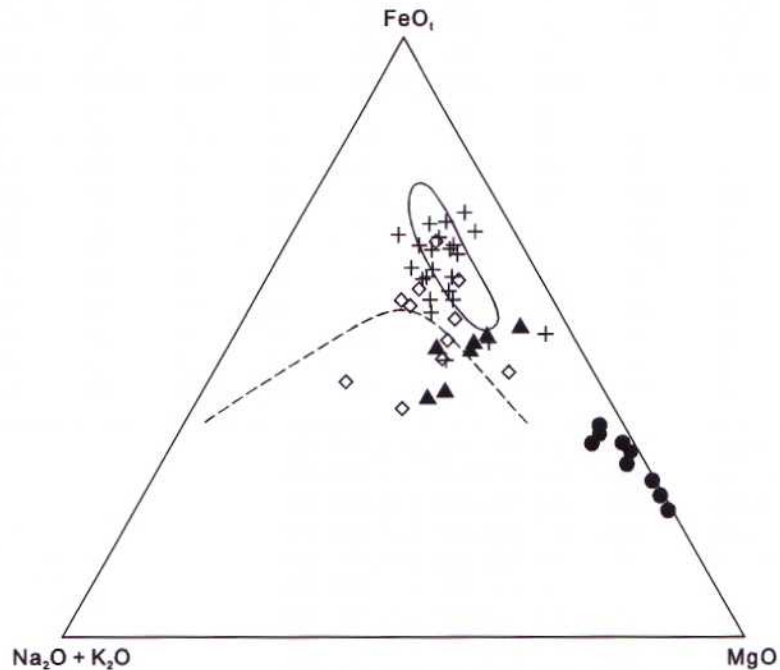
V	44	61	73	63	97	89	47	91	89
Cr	81	22	19	70	155	128	60	25	59
Cu	87	57	40	94	1114	21	65	94	91
Zn	304	384	326	280	312	342	350	469	352
Ni	24	34	25	50	48	51	22	38	44
S	1130	2220	1720	1010	19540	5990	5930	10810	4010
Nb	9	9	8	5	9	9	0	5	4
Ba	19	16	19	59	23	66	17	16	48
Sr	10	27	49	19	5	53	19	10	62
Zr	319	657	583	60	263	105	93	93	99
La	91	84	88	16	38	22	20	20	26
Ce	166	142	171	24	65	37	38	24	41
Pb	17	16	28	23	23	21	15	23	16
Cl	45	41	45	53	49	56	52	76	74
Ga	26	33	41	14	25	18	13	24	28
Rb	3	0	5	8	0	5	3	1	26
Y	49	62	69	8	10	19	11	18	12

34. Hakolampi	09A,	x = 7061,800; y = 3561,100
35. Hakolampi	09A,	x = 7061,800; y = 3561,100
36. Hakolampi	09A,	x = 7061,800; y = 3561,100
37. Hakolampi	09A,	x = 7061,800; y = 3561,100
38. Hakolampi	09A,	x = 7061,800; y = 3561,100
39. Hakolampi	09A,	x = 7061,890; y = 3560,800
40. Hakolampi	09A,	x = 7061,890; y = 3560,800
41. Hakolampi	09A,	x = 7061,900; y = 3560,900
42. Hakolampi	09A,	x = 7061,900; y = 3560,900



kraattiset kvartsi-kloriittikivet ovat yleisiä. Joissakin niistä on kordieriittia, joissakin myös kyaniittia, andalusiittia ja sillimaniittia, joskus kaikkia kolmea yhdessä. Staurolitti-kordieriittipitoiset kvartsi-kloriittikivet ovat niin ikään tavallisia, samoin granaattikiillegneissit. Lähes kaikissa tämänkin alueen kivissä on runsaasti rutiilia. Aksessorinen turmaliini on melko yleinen. Konformiset tremoliitti-antofylliittiamfiboliitit kuuluvat niin ikään assosiaatioon.

Honkamäen alueella on myös intensiivisesti poimuttuneen raitaisen kiillegneissin yhteydessä kapeahko emäksisen ja ultraemäksisen kiven jakso (kuva 15), jonka muutamassa paljastumassa on nähtävissä vulkaanisen kiven tyyppisiä rakennepiirteitä. Kontakti raitaiseen amfiboliittiin on paljastuneena. Pääalkuainekoostumuksensa perusteella kivi voisi olla basalttinen komatiitti, vaikka tietyt hivenalkuaineet viittaavat pikemminkin ryoliittiin. Koostumuksessa (ks. taul. 3) on siis ilmeisiä metasomaattisten muutosprosessien aiheuttamia ristiriitaisuuksia. Esimerkiksi MgO-pitoisuus voi olla jopa 25 - 28 %, vaikka zirkoniumia on 300 - 650 ppm. Ultramafiitti koostuu lähinnä aktinoliittisesta amfibolista ja kloriitista. Lisäksi voi olla vähän epidootia,



Kuva 16. Rautavaaran kartta-alueen arkeisten amfiboliittien ja ultramafiittien sekä proterotsooisten deformatuneiden diabaasien koostumuksia esitettyä AFM-diagrammilla (Irvine & Baragar 1971). Mukana Varpaisjärven - Sonkajärven alueen (Toivola 1988) 50:n hyvin säilyneen diabaasin koostumuskenttä. Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig. 16. Compositions of Archean amphibolites, ultramafites and deformed Proterozoic diabases from the Rautavaara map-sheet area in AFM diagram (Irvine & Baragar 1971). The composition field of the 50 well-preserved diabases from the Varpaisjärvi - Sonkajärvi area (Toivola 1988) included. Symbols as in Fig. 4.

karbonaattia ja opaakkia. Happamammassa tyypissä on sarvivälkettä.

Honkamäen kiillerikkaasta kyaniittikivestä on tehty Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa rikastuskokeita, joissa kyaniitin keskipitoisuudeksi on tullut 7,8 % (Niemelä 1988b).

Edellä mainittujen kohteiden lisäksi on pienempiä havaittuja muuttuneiden kivien "taskuja" merkitty eri puolille kartta-alueen keski- ja pohjoisosaa.

### **Kiillegneissit**

Arkeeista kiillegneissiiä on paleosomina kartta-alueen keski- ja itäosissa. Sitäkin on ilmeisesti ainakin kahden ikäistä. Muuttuneiden kivien yhteydessä arkeeista kiillegneissiiä esiintyy merkittävimmin Susi-Kervisen alueella (kuva 11b), missä sen päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi, biotiitti, muskoviitti, granaatti ja kloriitti.

Rionmäen luoteispuoleisella alueella (08D, 11B) on heikosti migmatisoitunutta kiillegneissiiä. Tämän yhteydessä on tektonisesti breksioitunutta migmatiittia, joka juonikvartsi- ja trondhjemiittisine neosomikappaleineen muistuttaa konglomeraattia. Paikoin on myös kvartsiittisia kappaleita, jotka ovat nähtävästi pätkiintyneitä kerroksia.

Kartta-alueen koillisnurkan kallioperä kvartsiittijakson itäpuolella on lähes yhtenäistä migmatiittista kiillegneissiiä. Samanlaista kiillegneissiiä on myös erikokoisina riekaleina muualla itäisen kartta-alueen granitoidien ja migmatiittien seassa. Kiillegneissit ovat stromaattisesti tai phlebiittisesti migmatoituneita. Paikoin niissä on amfiboliittisia vyöhykkeitä. Paleosomi on biotiitti-plagioklaasigneissiiä, jota enimmäkseen leukograniittinen neosomi migmatoi. Paikoin on kiisurikkaita, ruosteisia horisontteja. Näitä nk. Nurmes-tyyppisiä paragneissejä (Kontinen 1991) on laajalti muuallakin Itä-Suomen arkeisella alueella.

### **Muut migmatiittiset gneissit**

Valtaosa kartta-alueen keskiosan kallioperästä koostuu erilaisista gneissiytyneistä migmatiiteista, joiden paleosomi on kiillevaltaista, osin amfiboliittiraitaista. Amfiboliittiosueet ovat osin biotiittiutuneet, mutta enimmäkseen ne ovat säilyneet hyvin proterotsooisessa reaktiivaatiossa. Nämä migmatiitit ovat yleensä voimakkaasti graniittiutuneita – ilmeisesti sekä arkeisena että proterotsooisena aikana. Graniittiutuminen voi olla läpikotaista tai ilmetä suonituksena tai kalimaasälpähajarakeina tai -silmäkkeinä. Näitä rakeita tai silmäkkeitä on erityisesti Koiramäen (08A,B) ympäristössä sekä Tiilikan (09A) ja Ahvenisen (06D) välillä. Halla (1998) on todennut lyijyisotooppien avulla, että Nilsin alueen vastaavanlaiset silmäkkeet ovat alun perin arkeisia kalimaasälpähajarakeita, jotka ovat proterotsooisena aikana vahvasti deformatuneet ja osin myös kontaminoituneet runsaana esiintyvällä proterotsooisella kaligraniitilla. Myös homogeeniset graniittiaineksen suonittamat granodiiriittiset ja tonaliittiset gneissit, joissa ei ole mitään muuta näkyvää paleosomia, ovat yleisiä kartta-alueella.

Etenkin kartta-alueen kaakkoisosaa (10) on voimakkaasti graniittiutunutta, leukokraattista tai paikoin hyvin kiillerikasta gneissia. Usein graniittiutuminen on pegmatoidisen karkeaa. Tämän lisäksi alueella on runsaasti nuorempaa, deformatumattomaa ja hyvin karkearakeista graniittipegmatiittia, jolle ovat tyypillisiä mm. kämmenenkokoiset muskoviittipinkat sekä monin paikoin kirjomaasälpä. Nämä graniittipegmatiittipahkut jatkuvat etelään Nilsiä (3334) kartta-alueen puolelle.

Koko kartta-alueen keski- ja erityisesti itäosan arkeinen kallioperä on siis voimakkaasti – pääosin läpikotaisin – proterotsooisissa prosesseissa muokautunutta. Tämä näkyy kiistattomasti diabaasijuonia tarkastelemalla. Arkeisen kallioperän läpikotaisen proterotsooisen deformaation osoittaminen on kuitenkin usein hankalaa, koska tällaisella deformaatiolla on taipumus mukautua mahdollisuuksien mukaan varhaisempiin rakenteisiin.

## PALEOPROTEROTSOOSET KIVET

### Liuskeet

Kainuun liuskejakson eteläiset jatkeet pistävät kiilamaisina kartta-alueen itäosan arkeisten gneissien lomaan. Kivet ovat pääasiassa kvartsiittia ja kiilleliusketta sekä erittäin vahvasti liuskettuneita amfiboliittimaisia diabaaseja. Kiilleliusketta tulee paljastuneena kartta-alueelle kapeana kielekkeenä vain Ikosenkankaan (09D) itäpuolelle, Alasen alueen (3344 07) eteläisenä jatkeena. Kartta-alueen kvartsiitit ovat erittäin vahvasti hiertyneitä ja tiukasti poimuttuneita (kuva 24). Vahva deformaatio on tuhonnut primaarit rakennepiirteet. Pääosa kvartsiiteista sisältää runsaasti serisiittia. Ne ovat osin serisiittiliusketta, osin arkoosikvartsiittia, jossa maasälpää on säilynyt vaihtelevasti. Paikoin se sisältää biotiittia, esim. Maaselänmäen (12A) länsiosassa. Myös kordieriittia ja fibroliittista sillimaniittia on tavattu. Tremoliittia ja diopsidia sisältävää karsikvartsiittia on mm. Ison Sierajärven (12B) eteläpuolella sekä tremoliittia ja epidootia sisältävää kvartsiittia Ukonmäen (11B) pohjoispuolella. Ukonmäen alueella graniittijuonet leikkaavat kvartsiittia. Osa läntisimmistä epäpuhtaista kvartsiittikiiloista, kuten Rionmäen (11B) alueella, ei mahdollisesti kuulu Kainuun liuskejakson jatkeisiin lainkaan, vaan ne saattavat olla vanhempia arkoosikvartsiitteja, joita on havaittu kapeina vyöhykkeinä migmatiittisten gneissien yhteydessä.

Voimakkaasti hiertynyt Keyrityn kvartsiittiselänne jatkuu kartta-alueelle etelästä päin. Kvartsiitti on osin hyvin puhdasta, mutta suureksi osaksi se sisältää runsaasti serisiittia. Etenkin selänteen länsilaidalla, stratigrafisesti alimmissa osissa, on kivi serisiittiliusketta. Etelämpänä, Nilsiä kartta-alueella (3334 09), on tämän kvartsiittiselänteen länsilaidalla paljastuneena myös konglomeraatteja. Kvartsiitti on yleisesti hyvin rikkonaista, paikoin rautaksidien punaruskeaksi värjäämää. Selänteen länsirinteellä voidaan havaita albiittidiabaasijuoni voimakkaana magneettisena häiriönä. Kvartsiitin pohjoispäässä on sen väliin myloniitiksi hiertyneenä ilmeisiä arkeisia gneissikiiloja.

joiden mineraalikoostumus on täysin sekundaaristen mineraalien valtaama. Joukkoon voi olla sekoittuneena myös vähän karsityypistä ainesta.

Älänne-järven länsipuolella luode-kaakkosuuntaisena oleva ortokvartsiitti jatkuu selvästi karttalehden alueelle, vaikkakin paljastumattomana. Älänteen Lehtomäen kylän ympäristössä (3344 04C) on kvartsiitin lounaispuolella paljastuneena myös polymiittinen konglomeraatti ja diabaasi, jonka vahvasti magnetoituneita vyöhykkeitä voi helposti seurata magneettisena anomaliana kaakkoon 06D- ja 09B-lehtien alueelle.

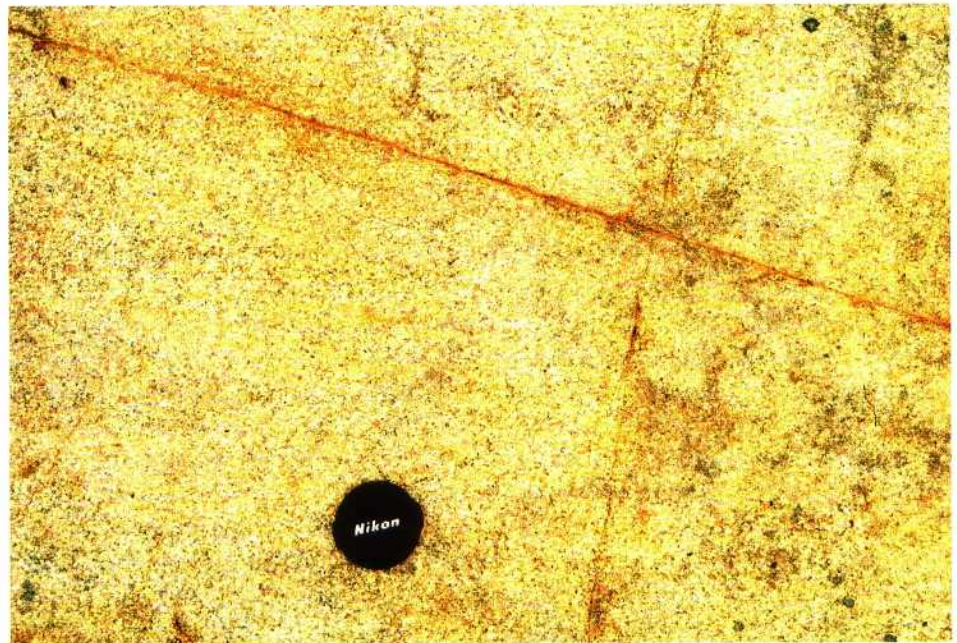
Korpimäen (3334 12B) alueen pieni kiisuliuske-serpentiniittiassosiaatio ylittää kartta-alueelle etelästä Vellipuron (07C) alueelle ja jatkuu geofysiikan mittausten perusteella pohjoiseen päin. Siellä sitä on kairattukin Pappilanmäen alueella (3343 07C,D) (Sipilä, 1984). Siellä on tavattu pääasiassa tremoliitti-diopsidikarsia ja mustaliuskeita, joissa on runsaasti paitsi kiisuja myös apatiittia ja titaniittia. Myös runsasgranaattisia, cherttiviirukkeisia rautamuodostumakerroksia esiintyy. Nämä kivet jatkuvat katkonaisena nauhana pohjoiseen, Alasen (3344 07) kautta Kainuuseen. Liuskeet käsittävät tummaa kvartsiittia, kloriitti-kiilleliusketta, kiisuliusketta ja ohuita karsikerroksia. Opaakimineraalit ovat pääasiassa rautakiisuja.

### Syväkivet

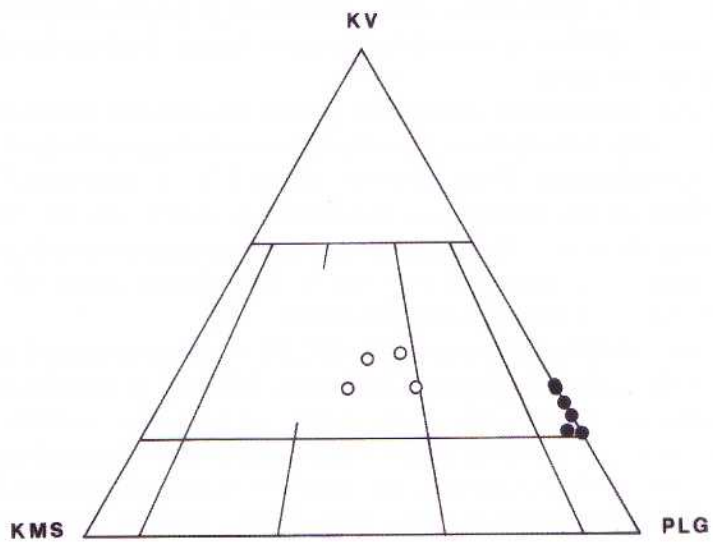
Rautavaaran kartta-alueella ei ole hyvin mittavia proterotsooisia syväkivi-intruusioita, mutta kylläkin runsaasti graniittista ja pegmatiittigraniittista ainesta juonina, pahkuina ja neosomiaineksena yleensä. Diabaasijuonia on niin ikään paikoin runsaasti.

Rautavaaran kirkonkylän alueella on noin 6 km pitkä ja suurimmillaan kilometrin levyinen, linssimäinen, alueellista loivaa kulkua myötäilevä Tulimäen leukograniitti-intruusio. Tämä graniitti (kuva 17) on punertavaa ja keskirakeista. Siinä ei ole havaittavaa deformaatiota, joten sitä on pidetty proterotsooisena, deformaation jälkeisenä tai sen viimeisiin vaiheisiin liittyvänä. Se koostuu pääasiassa kvartseista ja maasälvistä (kuva 18). Tummia mineraaleja siinä on vain viitisen prosenttia.

Korinmäen - Rehvon alueella (02D, 03C,D) on hyvin runsaasti graniittisia ja pegmatiittigraniittisia juonia. Graniittisia linssejä ja graniittista neosomimateriaalia on koko kartta-alueen keski- ja itäosassa. Ainakin osa graniittimateriaalista on arkeista, kuten Uran alueen (06B) porfyirisestä graniittilinsistä tehty U-Pb-ikä osoittaa (ks. sivu 45). Kartta-alueen kaakkoisosissa on täysin pegmatiittigraniitin vallitsevia alueita. Sitä on ilmeisesti ainakin kahden ikäistä, koska osa on selvästi suunnittunutta, osa täysin deformaatumatonta. Paikoin pegmatiitti on hyvin karkearakeista, ja se sisältää mm. kämmenenkokoisia muskoviittipinkkoja. Graniittiutumisen on pääasiassa suunnitusta tai läpikotaista. Kalimaasälpähajarakeita ja silmämuodostusta on erityisesti kartta-alueen pohjoisosissa (06, 09). Silmägneissisiä on myös Issakan (05C) ja Sammakkolan (08) välillä sekä kapeana vyöhykkeenä Suurimäestä (04A)



Kuva 17. Tasalaatuinen leukogranitti. Mittakaavan halkaisija 6 cm.  
*Fig. 17. Homogeneous leucogranite. Diameter of scale 6 cm.*  
Tulimäki, 07B, x = 7045.880, y = 3563.740.



Kuva 18. Rokaanmäen tyypin arkeinen tonaliitin (pisteet, n = 7) ja Tulimäen proterotsooisen graniitin (ympyrät, n = 4) mineraalikoostumuksia Streckeisenin (1976) kvartsi-plagioklaasi-kalimaasälpäkolmiossa.  
*Fig. 18. Mineral compositions of the Archaean Rokaanmäki type tonalite (dots, n = 7) and Proterozoic Tulimäki granite (circles, n = 4). Quartz - plagioclase - alkali feldspar diagram of Streckeisen (1976).*



Tervämäkeen (04B). Näiden proterotsooisena aikana vahvasti muokkaneiden arkeisten migmatiittien neosomimateriaalin primaari-ikää on tosin vaikea päätellä.

Muutamia kapeita serpentiniittilinssejä on paljastuneena Rautavaaran kirkonkylän (07) ympäristössä. Suurin osa serpentiniiteistä on kuitenkin nähtävissä vain magneettisina häiriöinä, joita mustaliuskeiden aiheuttamat sähköiset anomaliat usein kiertävät. Vähän etelämpänä, Korpimäen alueella (3334 12B), on näitä metaultramafiitteja paljastuneena mm. oliviivi-enstatiittikivinä. Lepuumäen (07D) alueen serpentiniitti (kuva 19) koostuu pääasiassa kloriitista, tremoliitista ja vaihtelevissa määrin muuttuneista oliviinirakeista.



Kuva 19. Serpentiniitti.

*Fig. 19. Serpentine.*

Lepuumäki, 07D, x = 7048.380, y = 3565.140.



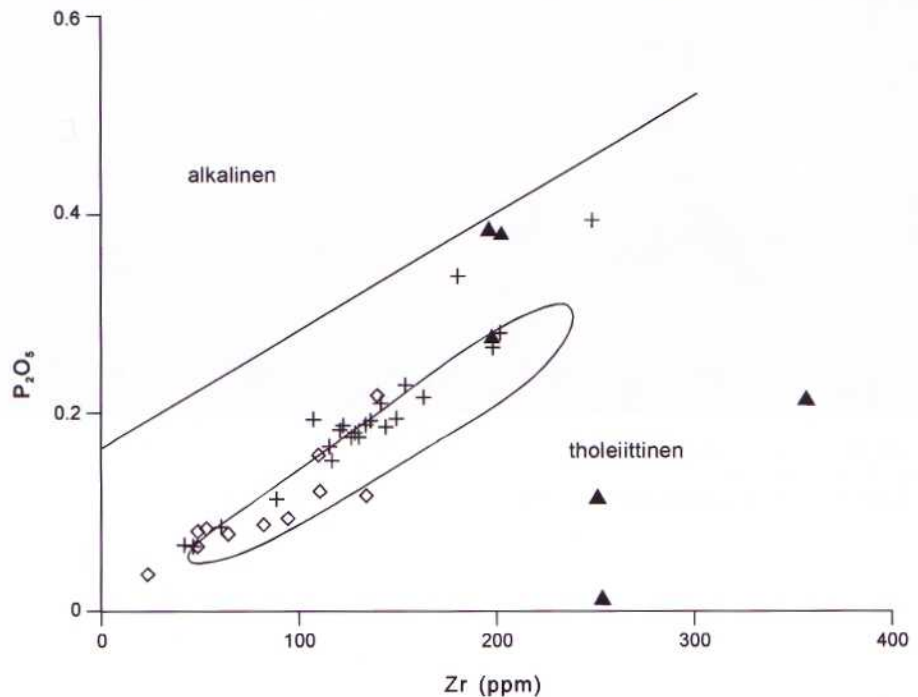
## Diabaasit

Diabaasit ovat erityisen keskeisessä asemassa, kun tarkastellaan Rautavaaran karttalehtialueen pääosin arkeaisen kallioperän proterotsooista reaktivoitumista. Alueen länsilaidan jäykkänä pysyneen kuoren osaan tunkeutuneet diabaasijuonet ovat säännöllisesti suoraviivaisia, deformatumattomia rakointruisioita. Niissä voi tosin nähdä satunnaisesti hiertyneisyyttä kontakteissa ja leikkaavissa ruhjeissa.

Alueen itäosan juonet ovat kaikki ympäristönsä mukana enemmän tai vähemmän läpikotaisin deformatuneita. Poikkeuksena on Keyrityn kvartsiitin (04, 07) yhteydessä esiintyvä albiittidiabaasi, jonka diabaasirakenne on enimmäkseen hyvin säilynyt. Tämä kerrosjuoni sisältää plagioklaasin, sarvivälkkeen, kvartsin ja biotiitin lisäksi runsaasti magnetiittia. Siksi se on silmiinpistävä esillä myös magneettisella kartalla.

Deformatunutta emäksistä juonimateriaalia on selvästi useamman tyyppistä. Kontakteja raekooltaan ja koostumukseltaan vaihtelevien juoniainesten välillä on näkyvissä mm. Sieran ja Rionmäen alueilla (11B, 12B).

Talkouskankaalla (05B) ja Kulvemässä (06C) on havaittu, että etenkin muuttuneiden kiviin yhteydessä olevien diabaasien reunaosiin on kiteytynyt



Kuva 20. Rautavaaran kartta-alueen deformatuneiden diabaasien ja arkeisten amfibioliittien koostumuksia esitettyä diagrammilla  $P_2O_5$  vs Zr (Floyd & Winchester 1975). Mukana Varpaisjärven - Sonkajärven alueen (Toivola 1988) 50:n hyvin säilyneen diabaasin koostumus-kenttä. Symbolit kuten kuvassa 4.

Fig. 20. Compositions of deformed diabases and Archaean amphibolites from the Rautavaara map sheet area in  $P_2O_5$  vs Zr diagram (Floyd & Winchester 1975). The composition field of the 50 well-preserved diabases from the Varpaisjärvi-Sonkajärvi area included (Toivola 1988). Symbols as in Fig. 4

granaattia. Alueen deformatuneet diabaasijuonet ovat kokeneet myös voimakkaita fluidivirtauksia, joista juonissa yleisesti esiintyvä turmaliini on varmana merkinä. Äärimmäisen voimakkaasti deformatuneista amfiboliiteista ei aina voi päätellä kiven alkuperää. Tällaisia amfiboliitteja, joissa voi olla myös granaattia, on mm. Issakan ruhjejärven eteläpäässä (05C) tai paikoin Susi-Kervisen (05B) alueella.

Alueraja deformatuneiden ja hyvin säilyneiden juonien välillä on osittain tulkinnanvarainen, mutta kulkee likimain vyöhykettä Korpinen (01C) - Raatomäki (04B) - Issakka (05C) - Susi-Kervinen (05B) - Haajaistenjärvi (03D). Kun emäksinen kivi on hyvin voimakkaasti deformatunut ja rikkonainen, on joskus vaikea erottaa diabaasia ja arkeista amfiboliittia toisistaan. Kemiallisten koostumusten vertailusta voi kuitenkin joskus saada apua (ks. taulukko 1 & 4 sekä kuvat 4, 7 & 20).

Kartta-alueen länsilaidan diabaasit ovat valtaosin keskirakeisia ja massamaisia. Etenkin Sälevä-järven ympäristössä (01,02) on kookkaita, jopa yli sata metriä leveitä juonia. Niiden kulku on polveilevan vaihtelevaa, mutta keskimäärin likimain itä-läsisuuntaista. Joitakin juonia voidaan seurata useita kilometrejä. Ne koostuvat pääosin plagioklaasista ja sarvivälkkeestä, jota on usein sekä primaarista että sekundaarista. Jotkut juonet tai juonen osat sisältävät klinopyrokseenia. Lisäksi niissä voi olla biotiittia, epidoottia ja kvartssia. Paikoin juonesta voi löytää hieman karkearakeisempia ja vaaleampia leukogabrotyyppisiä muunnoksia, kuten Tulisaaressa (01B) (kuva 21). Siitä tehty



Kuva 21. Karkearakeinen, gabromainen diabaasimuunnos. Kolikon halkaisija 23 mm.  
*Fig. 21. Coarse-grained, gabbroic type of diabase. Diameter of coin 23 mm.*  
Tulisaari, 01B, x = 7045.560, y = 3543.870.



Taulukko 4. Deformoituneiden metadiabaasien kemiallisia koostumuksia.  
 Table 4. Chemical compositions of deformed metadiabases.

Oksidi	43	44	45	46	47	48	49	50
SiO <sub>2</sub>	45,84	49,56	49,06	49,17	46,58	49,86	49,11	48,26
TiO <sub>2</sub>	1,95	2,53	1,43	1,71	0,83	1,61	1,83	1,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,71	12,54	13,66	13,54	14,71	12,69	13,49	12,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,58	17,57	13,33	14,12	12,38	16,78	14,69	17,46
MnO	0,26	0,24	0,18	0,22	0,18	0,26	0,22	0,25
MgO	5,38	3,60	6,10	5,73	9,81	6,09	5,08	4,40
CaO	9,88	7,41	9,22	9,03	8,87	8,15	8,99	9,54
Na <sub>2</sub> O	1,02	3,24	2,50	2,28	0,79	2,04	2,67	1,95
K <sub>2</sub> O	0,24	0,83	0,68	0,46	0,13	0,23	0,66	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,39	0,15	0,19	0,09	0,19	0,19	0,19
Summa	96,07	97,91	96,31	96,45	94,37	97,90	96,93	96,75

ppm

V	508	456	356	374	258	406	439	499
Cr	63	22	93	117	189	80	54	51
Cu	281	338	21	321	4	385	94	202
Zn	233	177	136	168	378	129	134	131
Ni	65	40	108	100	90	75	52	49
S	1330	490	190	610	130	3410	80	2250
Nb	7	17	5	7	4	9	15	7
Ba	36	245	229	60	28	28	188	58
Sr	375	187	209	168	480	43	215	108
Zr	141	248	117	149	61	108	144	122
La	22	16	20	21	18	16	27	11
Ce	47	75	33	35	22	39	52	36
Pb	30	21	18	21	47	21	18	11
Cl	233	224	427	229	97	218	754	328
Ga	24	30	22	22	21	23	22	30
Rb	3	37	27	8	2	0	15	8
Y	38	58	26	35	19	27	30	33

43. Sonkajärvi, Kervinen 05B, x = 7059,800; y = 3552,060  
 44. Rautavaara, P-Venäjänmäki 09A, x = 7061,900; y = 3560,280  
 45. Rautavaara, Hakolampi 09A, x = 7061,800; y = 3561,100  
 46. Rautavaara, Hakolampi 09A, x = 7061,900; y = 3560,900  
 47. Sonkajärvi, Susi-Kervinen 05B, x = 7059,600; y = 3552,250  
 48. Rautavaara, Honkamäki 06C, x = 7061,920; y = 3559,890  
 49. Rautavaara, Susi-Kervinen 05B, x = 7058,040; y = 3553,170  
 50. Rautavaara, Sirkkalampi 08B, x = 7055,440; y = 3561,980

Taulukko 4 jatkuu

Table 4. continues

Oksidi	51	52	53	54	55	56	57	58
SiO <sub>2</sub>	48,64	48,05	48,93	49,50	48,66	49,49	51,10	52,00
TiO <sub>2</sub>	2,46	0,83	0,85	1,76	1,75	2,13	1,52	1,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,16	13,78	13,76	14,39	13,41	12,96	14,56	14,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,69	11,98	12,24	14,92	15,58	16,68	13,23	11,99
MnO	0,26	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,19
MgO	4,76	8,17	7,80	4,46	5,39	5,04	5,47	5,34
CaO	8,13	11,60	9,09	8,19	8,28	8,84	9,01	9,03
Na <sub>2</sub> O	2,83	1,81	2,07	3,23	2,98	2,39	3,18	2,94
K <sub>2</sub> O	0,75	1,00	2,90	0,72	1,01	0,72	0,61	0,76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34	0,07	0,07	0,18	0,19	0,27	0,17	0,17
Summa	99,02	97,49	97,92	97,57	97,47	98,74	99,08	98,65

ppm

V	497	276	280	430	404	480	373	319
Cr	47	216	213	22	108	88	74	90
Cu	332	118	45	85	169	250	146	111
Zn	169	101	154	126	154	142	130	120
Ni	57	115	122	49	77	78	64	64
S	620	150	210	10	110	20	170	410
Nb	16	2	1	9	8	11	12	11
Ba	201	97	608	161	240	223	141	224
Sr	171	147	422	270	348	156	309	324
Zr	180	42	47	121	134	198	127	115
La	23	5	7	16	21	17	22	20
Ce	51	20	18	34	43	39	33	50
Pb	19	17	27	13	19	18	28	24
Cl	149	74	38	126	86	355	312	178
Ga	26	17	26	25	24	28	21	19
Rb	13	29	69	20	22	17	4	14
Y	42	17	18	23	29	44	24	26

51. Rautavaara, Maijanlampi 08B, x = 7055,050; y = 3564,760  
 52. Rautavaara, Mustamäki 05C, x = 7054,780; y = 3559,260  
 53. Rautavaara, Raiskionmäki 05C, x = 7051,830; y = 3559,260  
 54. Rautavaara, Honkalampi 05C, x = 7051,320; y = 3559,800  
 55. Rautavaara, Issakka 05C x = 7051,040; y = 3558,260  
 56. Sonkajärvi, Uura 06B, x = 7068,220; y = 3550,700  
 57. Sonkajärvi, Kokkolampi 05B, x = 7058,580; y = 3550,600  
 58. Rautavaara, Pitkääho 06D x = 7066,330; y = 3559,350

Taulukko 4 jatkuu  
*Table 4, continues*

Oksidi	59	60	61	62	63	64	65	66
SiO <sub>2</sub>	50,19	47,73	49,43	49,54	47,79	42,13	48,63	46,50
TiO <sub>2</sub>	1,74	2,21	1,63	1,07	1,94	1,91	1,90	2,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,82	12,39	14,56	13,30	12,30	13,13	13,03	11,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,99	17,33	13,55	13,07	16,82	20,21	16,50	20,44
MnO	0,22	0,23	0,20	0,19	0,24	0,34	0,26	0,28
MgO	5,17	5,05	4,73	5,58	5,75	6,99	5,60	5,61
CaO	8,86	9,17	9,29	9,64	9,72	9,54	9,35	8,47
Na <sub>2</sub> O	2,69	2,05	2,78	2,37	1,96	1,34	1,36	1,60
K <sub>2</sub> O	0,63	0,62	0,58	0,60	0,39	0,20	0,82	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	0,28	0,17	0,11	0,19	0,19	0,23	0,22
Summa	98,49	97,06	96,92	95,47	97,10	95,98	97,68	97,82

ppm

V	395	507	400	311	452	531	428	563
Cr	64	67	50	94	62	69	91	78
Cu	371	440	189	144	107	148	210	261
Zn	143	169	112	111	134	252	225	209
Ni	81	68	58	71	77	77	81	82
S	460	400	550	300	280	990	240	150
Nb	10	9	10	5	8	4	13	12
Ba	170	200	181	125	76	27	228	303
Sr	207	133	243	257	128	249	395	173
Zr	129	201	130	89	136	143	154	163
La	18	33	21	27	19	28	22	28
Ce	31	57	55	34	27	35	36	37
Pb	30	18	17	16	14	36	15	15
Cl	355	963	493	92	1423	227	112	97
Ga	27	26	24	22	23	26	18	32
Rb	9	30	8	13	6	2	18	16
Y	33	46	26	25	31	39	35	33

59. Sonkajärvi, Keinossuo 06B, x = 7066,920; y = 3554,880  
 60. Rautavaara, Talkouskangas 06A, x = 7060,030; y = 3554,200  
 61. Rautavaara, Susi-Kervinen 05B, x = 7058,000; y = 3553,940  
 62. Rautavaara, Heinälampi 05C, x = 7052,440; y = 3559,440  
 63. Rautavaara, Talkouskangas 06A, x = 7060,160; y = 3554,260  
 64. Sonkajärvi, Kervinen 05B, x = 7059,800; y = 3552,060  
 65. Rautavaara, Issakka 05C, x = 7050,990; y = 3558,220  
 66. Rautavaara, Issakka 05C, x = 7051,040; y = 3558,260



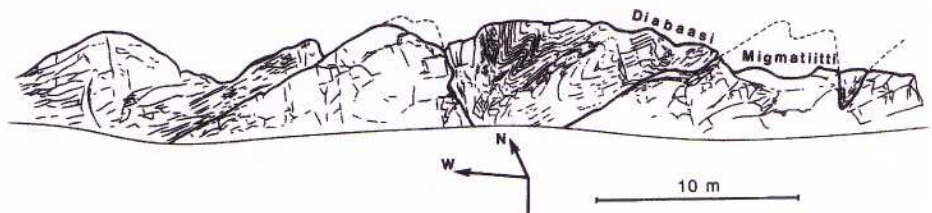
zirkoni-ikämääritys antoi juonen iäksi  $2292 \pm 6$  Ma (Hölttä ja muut, tekeillä) (ks. sivu 46). Tämä ikä on uusi niissä ikäryhmissä (2.45, 2.1, 2.2 ja 1.97 Ga), joihin Vuollo (1994) jakaa itäisen Fennoskandian kilven emäksisen magmatismiin pulssit ja jotka hän luokittelee myös kemiallisen koostumuksen perusteella. Toistaiseksi suhteellisen harvalukuisten isotooppimääritysten perusteella diabaasit ovat joka tapauksessa selvästi iältään vaihtelevia, ja ne saattavat muodostaa jopa melkein katkeamattomia ikäsarjoja 2.45 - 1.97 Ga:n välillä. Niiden jaotteluun liittyvät koostumukselliset ja rakenteelliset kriteerit näyttävät kuitenkin olevan usein moniselitteisiä.

Kartta-alueen keski- ja itäosan diabaasit ovat pääosin deformatuneita. Joisakin niistä voi tosin havaita myös massamaisia osia etenkin kartta-alueen keskiosassa. Itäosan amfiboliittimaiset diabaasit ovat yleensä jopa kääntyneet proterotsooisien hierron suuntaisiksi. Niiden kontaktit ovat paikoin hiertyneet biotiittiliuskeiksi, ja ne ovat muutenkin länsiosien juonia voimakkaammin deformatuneita. Taulukossa 4 (ks. myös kuvat 4, 8, 15, 16 & 20) on esitetty kartta-alueen deformatuneiden emäksisten juonien koostumuksia.

### RAKENTEELLINEN JA METAMORFINEN KEHITYS

Kartta-alue voidaan jakaa rakenne- ja metamorfoosihistoriansa perusteella karkeasti kahteen osaan: 1) läntiseen, verrattain hyvin säilyneeseen arkeeseen vyöhykkeeseen sekä 2) keski- ja itäosan proterotsooisien deformaation eriasteisesti muokkaamaan arkeeseen vyöhykkeeseen, jossa on myös mukana hierittyneitä proterotsooisia liuskeita.

Alueen länsiosan kallioperä arkeisine rakenteineen ja varhaisproterotsooisine diabaaseineen on siirrosruhjevyyhykkeitä ja yleistä rikkonaisuutta lukuun ottamatta säilynyt varsin terveenä. Noiden siirrosten myloniitteihin on sitä vastoin kehittynyt monivaiheinen poimutus sekä muita rakenteita, joita voidaan käyttää apuna siirrosten suhteellisia liikkeitä tutkittaessa. Myloniitit ovat siis olleet aktiivisia selvästi diabaasien intrudoitumista myöhemmin. Nämä ruhjeiden hirtovyöhykkeet ja eriaisteiset paikalliset hydrautumisprosessit ovat tässä läntisessä, jäykkänä käyttäytyneen kuoren osassa havaittavia merkkejä siitä deformaatiosta, joka alueen keski- ja etenkin itäosassa on voimakkaasti



Kuva 22. Poimuttunut amfiboliitti (deformatunut diabaasi) tieleikkauksessa. Piirros Tua Welin.  
Kuva 22. *Folded amphibolite (deformed diabase) in a road cut. Drawn by Tua Welin.*  
Juttuaho, 11A, x = 7051.040, y = 3572.600.

muokannut kallioperää.

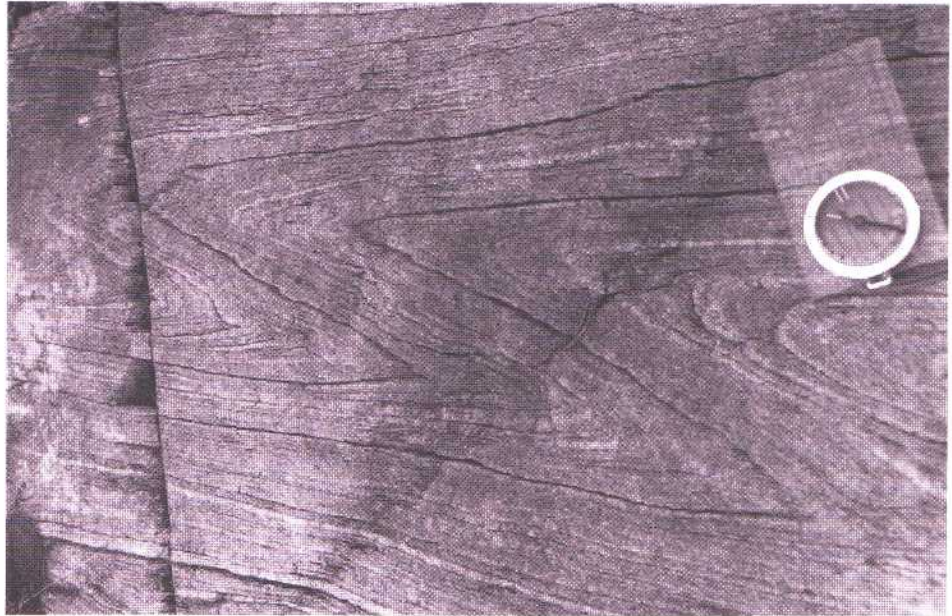
Kartta-alueen keskiosassa diabaasijuonet ovat poikkeuksetta deformatiiviset, mutta ne ovat jotakuinkin säilyttäneet alueella vallitsevan luode-kaakko-suuntansa. Näin ollen myös tämä arkeinen vyöhyke on joitakin osittain säilyneitä lohkoja tai linsejä lukuun ottamatta läpikotaisin deformatiivinen ja uudelleen kiteytynyt paleoproterotsooisena aikana. Tätä tukevat myös kaikki alueen arkeisista kivistä (mukana yksi diabaasi) tehdyt paleomagneettiset mittaustulokset. Niissä kaikissa, diabaasi mukaan lukien, on sama voimakas, stabiili proterotsooinen magneettisuus (Neuvonen, julkaisematon materiaali). Voimakkaasta proterotsooisesta deformaatiosta huolimatta on kartta-alueen keskivyöhykkeen kallioperän suurissa rakennepiirteissä todennäköisesti vielä runsaasti arkeistakin komponenttia. Tällainen piirre on mm. hyvin silmiinpistävä doomimainen rakenne, jota migmatiittigneissien liuskeriekaleet kiertävät. Se voisi olla myös leikkaus makroluokan loiva-asentoisesta tuppiomumaisesta rakenteesta, jolloin saa vaikutelman todellisuutta suuremmasta, nuoremman deformaation vaikutuksesta. Tällainen mahdollinen rakenne on esitetty Limpopo Beltiltä (Roering & Ashwal 1992). Rakenteiden ja mineraaliseurueiden tyhjentävä erittely vaatii joka tapauksessa runsaasti lisätutkimuksia.

Kartta-alueen itäosa erottuu keskiosan kallioperästä vielä paljon voimakkaamman ja kattavamman proterotsooisesta deformaationsa vuoksi. Itäosan kallioperän erottaa keskivyöhykkeestä Korpimäen, Pappilanmäen ja Mustolanmäen kautta pohjoiseen (Alasen läpi Kainuuseen) kulkeva voimakkaasti



Kuva 23. Vahva pystyhyökkö lineaatio kvartsiitissa.  
*Fig. 23. Strong vertical lineation in quartzite.*  
Maaselänmäki, 12A, x = 7064.300, y = 3570.700.



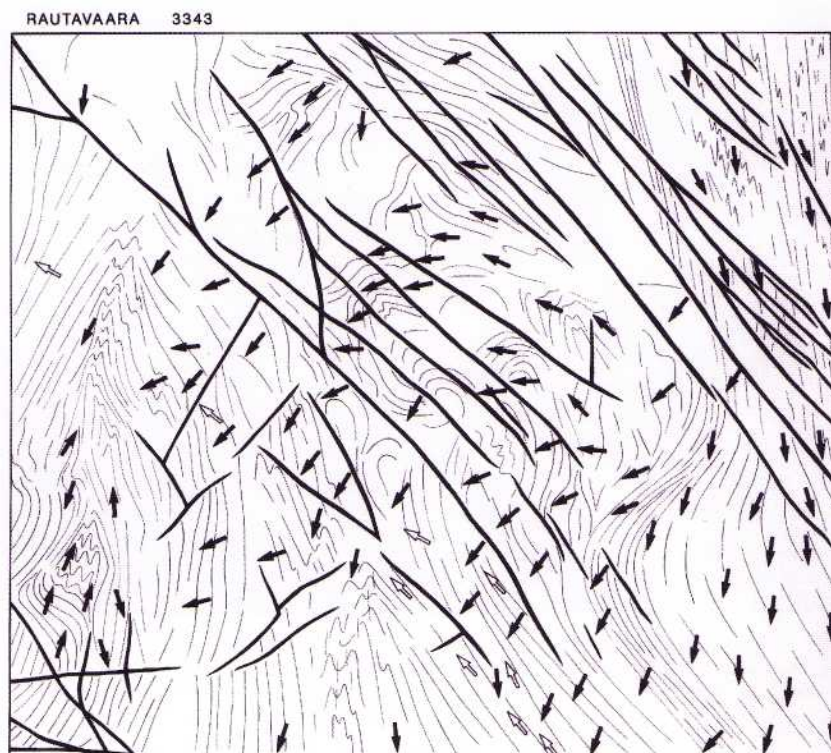


Kuva 24. Voimakkaasti poimuttunutta kvartsiittia. Valokuva Tua Welin.  
*Fig. 24. Intensely folded quartzite. Photo by Tua Welin.*  
Sieravaara, 12B, x = 7067.180, y = 3570.480.



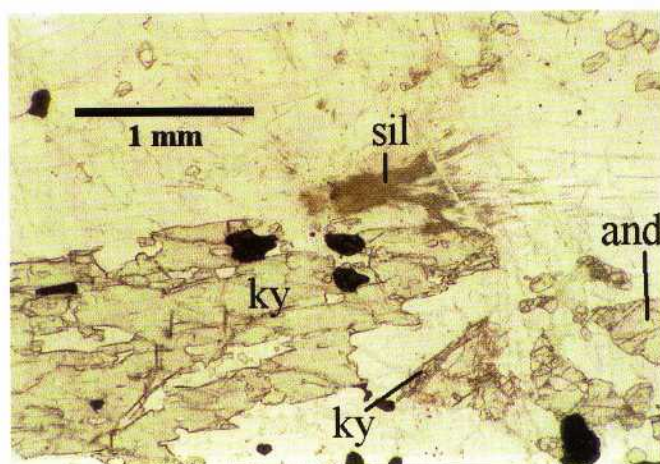
Kuva 25. Kartta-alueen itäpuoliskon läpikotaisin deformoitunutta kallioperää: proterotsooisen diabaasin ja arkeaisen migmatiitin kontakti.  
*Fig. 25. Thoroughly deformed bedrock of the eastern map-sheet area: a contact between Proterozoic diabase and Archaean migmatite.*  
Iso Karilampi, 07B, x = 7048,180, y = 3561.720.





Kuva 26. Merkittävimpiä ruhjeita sekä vallitsevan lineaation ja liuskeisuuden alueellinen vaihtelu Rautavaaran kartta-alueen kallioperässä. Alueen lounaisnurkan rakenteet ovat arkeaisia. Valkeat lineaationuolet edustavat jotain myöhäistä hiertoa.

Fig. 26. Areal variation in the dominant lineation and foliation of the bedrock in the Rautavaara map-sheet area with its most striking fractures. The structures in the southwestern corner are Archaean. The white lineation arrows indicate younger shearing.

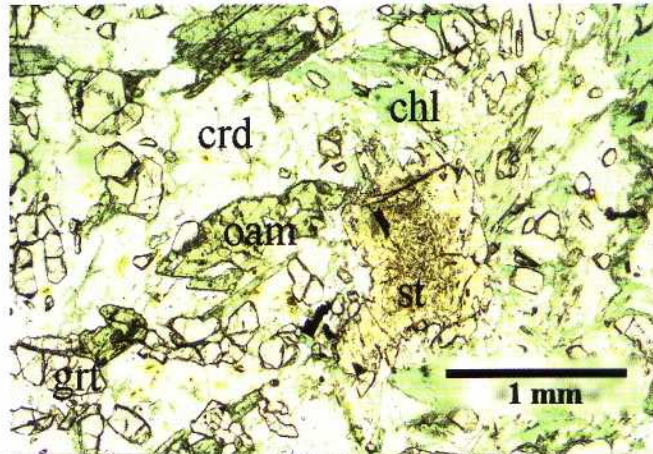


Kuva 27. Ohuthiekku yhdessä esiintyvistä kyanitista, sillimanitista ja andalusitista. Kuva P. Hölttä.

Fig. 27. Photomicrograph of coexisting kyanite, sillimanite and andalusite. Photo by P. Hölttä.  
Heinämäki, 05B, x = 7058.530, y = 3554.550.

deformoitunut (ylityöntö)vyöhyke serpentiniitteinen ja mustaliuskeinen. Tuon rajan itäpuolella tulee migmatiittien amfiboliittinen paleosomi harvinaiseksi ja kiillerikas paleosomi yleiseksi. Kivet ovat hyvin voimakkaasti deformatuneita migmatiittigneissejä. Pegmatiittigraniitti tulee monin paikoin hallitsevaksi. Lisäksi deformatuneet diabaasit, joita on runsaasti paljastuneena kartta-alueen keskiosassa, kääntyvät em. ylityöntövyöhykkeen lähistöllä myötäilemään sen suuntaa. Ne ovat myös sen itäpuolella täysin proterotsooisen deformaation myötäisiä (kuvat 22 & 25). Näin ollen on ilmeistä, että tämän vyöhykkeen arkeiset rakennepiirteet ovat niin ikään paljolti mukautuneet proterotsooiseen hirttoon. Puikkomaisen voimakas, loivasti etelälounaaseen kaatuva, poimutusta myötäilevä lineaatio on tällä vyöhykkeellä hallitseva rakennepiirre (kuva 23).

Kuvassa 26 on esitetty yksinkertaistetusti kartta-alueen kallioperässä havaitun lineaation ja liuskeisuuden vallitsevat suunnat sekä huomattavimmat siirrosruhteet. Muuttuneiden kivien kemiallinen koostumus tarjoaa luonnollisesti moninaiset mineraaliparageneesit ja myös paremman mahdollisuuden pT-polun selvittelyyn kuin granitoidivaltaiset alueet. Vaikeuttavana tekijänä on se, että osa mineraaleista edustaa ilmeisesti arkeisia pT-olosuhteiden jäänteitä, vaikka valtaosa onkin proterotsooista. Pentti Hölttä on tutkinut Rautavaaran alueen mineraaliseurueita (Hölttä ja muut 1997). Korkein paine, n. 8,6 kb, saadaan mineraaliseurueesta grossulaari-ortoamfiboli-anortiitti-kvartsi. Vastaava lämpötila vaihtelee välillä 530 - 600 °C. Granaatin hajoamisreaktio kordieriitiksi ja ortoamfiboliksi tai kummingtoniitiksi antaa paineeksi n. 5,5 - 6 kb ilman merkittävää lämpötilan muutosta. Staurolitiin ja spinellin muodos-



Kuva 28. Ohuthiekuva granaatti-kordieriitti-ortoamfibolikivestä grt = granaatti, crd = kordieriitti, chl = kloriitti, oam = ortoamfiboli, st = staurolitiitti. Kuva P. Hölttä.

*Fig. 28. Photomicrograph of a garnet-cordierite-orthoamphibole rock grt = garnet, crd = cordierite, oam = orthoamphibole, st = staurolite. Photo by P. Hölttä.*

Susi-Kervinen, 05B, x = 7057.900, y = 3554.350.



timisreaktiot antavat alhaisimmat paineet, n. 3 kb 415 - 480 °C:ssa.

Myös proterotsooiset kalsiumrikkaat liuskeet alueen itäosassa viittaavat samaa luokkaa oleviin pT-olosuhteisiin (5,9 kb/567 °C) kuin granaatin hajoamisreaktio kordieriitiksi (kuva 28) (Hölttä ja muut, tekeillä). Myös Korpi-  
mäen alueen Outokumpu-tyyppin serpentiniitti (enstatiitti-forsteriittikivi), Rautavaaran kirkonkylän eteläpuolella, antaa oliviini-spinelli geotermometrillä (Fabries 1979) korkeahkoja 641 - 647 °C:een lämpötiloja proterotsooiselle metamorfoosille (Säntti 1996). Metamorfoosiolosuhteet näyttävät siis vaihdelleen lähellä alumiinisilikaattien "triple-point" -aluetta, jonka ympäri pT-polku näyttää kiertävän myötäpäivään andalusiitista kyaniitin kautta sillimaniittikenttään. (Hölttä et al. 1997).

## RADIOMETRISET IÄNMÄÄRITYKSET

Kuudesta Rautavaaran kartta-alueen kallioperän kohteesta on tehty U-Pb-ajoitus GTK:n isotooppigeologian laboratoriossa. Analysoinnista on vastannut Hannu Huhma. Tämän kappaleen tekstin kaikki ikätiedot ja ajoitettujen mineraalien kuvaukset perustuvatkin hänen raportteihinsa. Analyysitiedot ja osa ikin liittyvistä diagrammeista on julkaistu alueen metamorfoosia käsittelevässä julkaisussa (Hölttä ja muut 1997). Ikänäytteiden ottopaikat näkyvät kuvasta 1.

Kartta-alueella on lukuisia vahvasti muuttuneita, kloriittiutuneita ja kvartsiutuneita granaattirikkaita vyöhykkeitä. Kylmämässä (01C) on tällaisessa vyöhykkeessä kapea kvartsiittinen jakso (ks. sivu 19), ja siitä separoitiin erittäin hyvin pyörityneitä raskasmineraaleja. Ne osoittautuivat röntgen-diffraktion perusteella ksenotiimeiksi. Niistä on tehty yksi U-Pb-analyysi (A1244). Siitä saatu ikätulos on konkordantti 2616 Ma. Ksenotiimin U-pitoisuus on monatsiitin luokkaa ja "common lead" määrä on hyvin pieni ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37978$ ). Myös Th-pitoisuus on huomattava (korkea  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ). Vaikka tulokset viittaavat kiven olevan suhteellisen nuori, jopa proterotsooinen, on sitä kenttähavaintojen perusteella vaikea erottaa arkeisesta ympäristöstään. Vahva proterotsooinen tai myöhäis-arkeinen reaktivoituminen on sen sijaan todennäköistä.

Susi-Kervisen alueella (05B) (ks. sivu 23 & kuvat 11a & 11d) on vyöhykkeinä granaatti-kordieriitti-antofylliitti-stauroliittikiveä, granaattirikasta kvartsi-kloriittikiveä, migmatoitunutta, vahvasti hiertynyttä amfiboliittia ja kiillegneissia. Alueelta on tehty kaksi zirkonin U-Pb-ikä määritystä. Näyte A1243 on kiillegneissin leukokraattisesta (psammiittisesta) osasta, missä voi olla mukana myös vähän neosomiainesta. Kiven zirkonit ovat eriasteisesti pyörityneitä. Neljän analysoidun tiheysfraktion perusteella laskettu yläleikkausikä on  $2657 \pm 20$  Ma. Regressiosuora ei ole kuitenkaan täydellinen (MSWD = 9), mikä on luonnollista sedimenttikiven heterogeeniselle zirkonipopulaatiolle. Koska tulos on detritaalisena (ja mahdollisen neosomin) zirkonin keskiarvoikä, pitäisi detritaalisien mineraalien olla peräisin hyvin nuoresta arkeisesta mate-



riaalista, jollaisesta ei ole tietoa. Toisaalta alueen kivet ovat kokeneet paitsi vahvan proterotsooisen deformaation myös ilmeisesti olleet mukana siinä suhteellisen myöhäisessä arkeeisessa (~ 2630 Ma) metamorfoosissa, josta on saatu todisteita Varpaisjärven - Sonkajärven alueen U-Pb- ja Sm-Nd-töillä (Huhma ja muut 1995).

Toinen Susi-Kervisen ikänäyte on puhtaasta kiillegneissistä, jossa ei ole neosomia. Tämän näytteen zirkonista tehtiin vain yksi analyysi, joka osuu diagrammilla ensimmäisen näytteen (A1243) zirkonien muodostamalle suoralle.

Rokanmäen (02D) ikänäyte (A1263) on tyypillinen arkeeisen alueen tonaliitti (ks. sivu 14, kuva 18). Näytteestä saatiin runsaasti zirkonia, mutta vain vähän sellaista, joka kuuluu raskaimpaan (+4.5 g/cm<sup>3</sup>) tiheysfraktioon, jonka kiteet ovat läpikuultavampia ja yleensä pienempiä ja lyhyempiä kuin muut. Pääosa zirkoneista on sen verran pyörityneitä, että pyramidipinnat ovat harvoin näkyvissä. Niiden pituus-leveysuhde on 2 - 4. Kaikkiaan seitsemän fraktiota on analysoitu. Ne viisi analysoitua fraktiota, joiden tiheys on alle 4,5 g/cm<sup>3</sup>, asettuvat täsmälleen suoralle, jonka yläleikkausikäksi saadaan 2677±10 Ma. Alaleikkaus on poikkeuksellisen alhainen (100 Ma). Mainitut kaksi vähäistä raskaampaa fraktiota antavat hieman poikkeavat, alhaisemmat <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb-iat: 2661 ja 2664 Ma. Zirkonipopulaatio saattaa siis olla heterogeeninen. Abraasiokäsittely ei juuri muuttanut analyysijä lähemmäs konkordiaa. Tarkan iän määrittäminen on siis tällekin kivelle vaikeaa. On kuitenkin todennäköistä, että yläleikkausikä 2677 Ma on oikea ja raskaissa fraktioissa olisi mukana pieni zirkonikomponentti jostakin edellä mainitusta nuoremmasta metamorfisesta pulssista.

Uuran (06B) ikänäyte (A1329) on homogeeninen, porfyyrinen graniitti. Kartoituksessa sitä pidettiin mahdollisesti proterotsooiseen aktivoitumiseen liittyvänä. Kiven zirkoni on tummaa ja sameaa. Se esiintyy pääosin pyöreäköinä, lyhyinä prismoina. Neljän analyysin antama yläleikkausikä on 2657±15 Ma. Graniitti on siis arkeinen, mutta melko alhainen alaleikkaus (119 Ma) ja diskordantit analyysit tekevät tuloksesta jonkin verran epävarman.

Rautavaaran kartta-alueen arkeeisen, joskin proterotsooisena aikana reaktivoituneen kallioperän alueelta tehdyt zirkonin U-Pb-ajoitukset antavat siis merkittävästi matalampia, noin 2,65 Ga:n iäkiä kuin länsipuoleisen Iisalmen lohkon kallioperä, johon myös Rautavaaran kartta-alueen länsilaita kuuluu. Noilta alueilta on saatu jopa 3,1 - 3,2 Ga:n paleosomi-ikä (Paavola 1986; Mänttari ja muut 1998). Rautavaaran alueen iät ovat myös selvästi alhaisempia kuin Kainuun - Karjalan arkeisilta alueilta yleisesti saadut 2.8-2.7 Ga:n iät. Proterotsooinen reaktivoituminen saattaa osaltaan selittää poikkeuksellisia iäkiä. Todennäköisesti on kuitenkin niin, että Iisalmen alueen ja itäisen Suomen vanhan kallioperän väliin jää myöhäis-arkeisten kivilajien ryhmä (tai myöhäis-arkeeisena aikana voimakkaasti metamorfoituneiden kivien vyöhyke), jota ei toistaiseksi riittävästi tunneta. Varpaisjärven Jonsan alueen granaatti-kordieriitti-sillimaniittikivien ikätulokset (Huhma ja muut 1995; Hölttä ja muut, tekeillä) tukevat tätä ajatusta. Myös Nilsiäen alueen silmägneissien Pb-Pb-tut-

kimuksen tulokset viittaavat suhteellisen myöhäiseen arkeeseen (n. 2,6 Ga) metamorfiseen tapahtumaan (Halla 1998). Kanadassa ovat vastaavat ikäryhmät tunnettuja, mm. Pikwitonein alueella (esim. Mezger ja muut 1989) ja Pontiac Subprovinssin alueella (esim. Feng ja muut 1992).

Tulisaaren diabaasi (01B) on yksi niistä likimain itä-länsisuuntaisista, kookkaista Sälevä-järven alueen diabaaseista, joiden polveilevaa kulkua voidaan seurata useiden kilometrien matkalla. Diabaasi on leveimmillään Tulisaaren-Kauhasaaren (01B) kohdalla (> 200 m), missä sen asu on keskiosiltaan poikkeavan karkeahkoa, leukogabrotyypistä (kuva 21) ja missä paikoin on plagioklaasirikkaita magmaattisia differentiaatteja. Näytteestä (A1333) saatiin separoinnissa yllättävän paljon zirkonia, joka on levymäistä ja kohtalaisen kirkasta. Se siis poikkeaa albiittidiabaasien sameasta zirkonityypistä. Näytteestä on tehty seitsemän zirkonianalyysiä, joista kuusi (tiheys > 4,3 g/cm<sup>3</sup>) asettuu täsmälleen suoralle. Tämän yläleikkausikäksi saadaan 2292±6 Ma (Hölttä ja muut, tekeillä). Fraktio F (4,2 - 4,3 g/cm<sup>3</sup>/+200 mesh) on jostain syystä hiukan tämän suoran "nuoremmalla puolella". Zirkonin morfologia ja melko konkordantit analyysit huomioiden tulosta voidaan pitää varsin luotettavana. Tulisaaren diabaasin yllättävän korkean iän varmentamiseksi otettiin samasta juonesta toinen näyte 450 metriä idempää. Tämä Siunaussalmen (01B) näyte oli juonen plagioklaasirikkaasta differentiaatista, josta ei kuitenkaan saatu separoiduksi zirkonia. Taulukkoon 5 on koottu Rautavaaran kartta-alueelta tehdyt U-Pb-ikämäärytykset.

Kartta-alueen pohjoisosasta on tonaliittisesta gneissistä separoitu yksi biotiittifraktio K-Ar-ajoitukseen (Kontinen ja muut 1992). Sen ikä 1793 Ma on Suomen arkeisen kallioperän biotiiteille mitä tyypillisin ja edustaa sitä ajan-

Taulukko 5. Yhteenveto Rautavaaran kartta-alueelta tehdyistä U-Pb-ajoituksista.  
 Table 5. Summary of U-Pb ages from the Rautavaara map-sheet area.

Näyte Sample	Nro No.	Sijainti Site	Fraktioita Fractions	Konkordialeikkaukset Concordia interceps		Kuvan 1 No No. in Fig. 1	Referenssi Reference
				Ylempi Upper	Alempi Lower		
Tonaliitti Tonalite	A1263	Sonkajärvi Rokanmäki	7	2677±10 Ma	100 Ma	1	
Graniitti Granite	A1349	Sonkajärvi Uura	4	2657±15 Ma	119 Ma	2	
Kiillegn. (2 näyt.) Mica gn.(2 sampl.)	A1243	Rautavaara Susi-Kervinen	4	2657±20 Ma	481 Ma	3	
Kvartsiitti (ksen.) Quartzite (Xenot.)	A1244	Varpaisjärvi Kylmämäki	1	2616±3 Ma		4	
Diabaasi Diabase	A1333	Varpaisjärvi Tulisaari	7	2292±6 Ma	503 Ma	5	Hölttä ja muut (Tekeillä)

kohtaa, jolloin mineraali on proterotsooisen tektonotermisen pulssin (ja todennäköisen uudelleenkiteytymisen) jälkeen jäähtynyt noin 300 °C:een ja mineraalihila sulkeutunut.

### **MALMIMINERALISAATIOT JA RAKENNUSKIVET**

GTK teki Rautavaaran alueella 80-luvulla malminetsintätöitä, joissa tutkittiin muutamia geofysiikan mittauksissa ja geokemian moreeninäytteenotossa esille tulleita anomalioita. Ne osoittautuivat kairauksissa kuitenkin pituisuuksiltaan vähäisiksi ja koostuivat lähinnä rautakiisuista (Vanne 1989a, 1989b & 1990). Jo aiemmin 70-luvulla GTK tutki Pappilanmäen (07C) alueella esiintyviä mustaliuskeita, joissa on osin lupaavia kupari-, sinkki-, nikkeli- ja kobolttipitoisuuksia (Sipilä 1984). Loukola-Ruskeeniempi ja muut (1991) ilmoittavat alustavan arvion mukaan esiintymän sisältävän 21 Mt runsasmetallista mustaliusketta, jossa on keskimäärin 0,10 % kuparia, 0,21 % nikkeliä, 0,45 % sinkkiä ja 0,015 % kobolttia. Pappilanmäen aihe ja sen kaakkoon, aina Korpimäen alueelle (3334 12B) asti suuntautuvat jatkeet saattavat ollakin jatkotutkimusten arvoisia - tosin ennen muuta sen mukaisesti, millainen on serpentiniittipahkujen koko ja niiden metasomaattinen muuttuneisuus.

Itäisen kartta-alueen voimakkaan proterotsooisen hiertyneisyyden vuoksi hyvin säilyneet potentiaaliset rakennuskivet keskittyvät alueen länsilaidalle. Toisaalta juuri hiertyneisyyden ansiosta louhitaan laattakivikvartsiittia niin Sieran (12B) kuin Keyritynkin (3334 09B) louhimoilla. Rakennuskiviksi sopivia diabaaseja saattaisi löytyä lähinnä kartta-alueen lounaisosista. Myös granaatti-kordieriitti-antofylliittikivien ja muiden sen tyyppisten, ns. muuttuneiden kivien joukosta voisi löytyä sopivaa kiveä esim. sisustukseen tai muuhun pienempään erikoistarkoitukseen. Homogeenista deformaatioiden jälkeistä graniittia ja pegmatiittigraniittia on tosin myös itäisellä kartta-alueella. Rautavaaran kylällä olevaa Tulimäen graniittia onkin käytetty rakennuskivenä.



## GEOLOGISIA TUTUSTUMISKOHTEITA

- 1.** Tielähti (01C, x = 7042.900, y = 3546.950). Kvartsiitti, jossa alumiini-silikaatteja ja jota leikkaa hienorakeinen diabaasi.
- 2.** Otramäki (01A, x = 7043.700, y = 3542.840). Granaattipitoinen pohjan amfiboliitti.
- 3.** Riikinkangas (01D, x = 7046.220, y = 3548.680). Diabaasi.
- 4.** Rokanmäki (02D, x = 7056.000, y = 3546.000). Homogeeninen kvartsi-dioriittinen pohjan tyyppi (zirkonin U-Pb-ikä: 2677 Ma).
- 5.** Susi-Kervinen (05B, x = 7057.880, y = 3554.380). Granaatti-kordieriitti-stauroliittikivi, amfiboliitti, kiillegneissi.
- 6.** Kämppekoski (05A, x = 7052.640, y = 3552.930). Granaatti-kordieriitti-stauroliittikivi.
- 7.** Lumimäki (06C, x = 7060.150, y = 3555.300). Runsaasti kvartsia ja kloriittia sisältävä kordieriitti-ortoamfibolikivi.
- 8.** Kortimomäki (06C, x = 7062.260, y = 3557.440). Runsaasti turmaliinia sisältävä kvartsikivi.
- 9.** Tulimäki (07B, x = 7046.030, y = 3563.69). Tasalaatuinen leukograniitti.
- 10.** Siera (12B, x = 7067.160, y = 3570.460). Kvartsiittiliuskelouhos. Lähi-rinteen paljastumissa nähtävissä kvartsiitin intensiivistä poimutusta.
- 11.** Rasimäki (10A, x = 7042.600, y = 3572.940). Pohjan gneissia granitisoiva karkea pegmatiittigraniitti.

### **Summary:**

## **PRE-QUATERNARY ROCKS OF THE RAUTAVAARA MAP-SHEET AREA**

### **Introduction**

The Rautavaara map sheet area is situated in northeastern Savo, just under 100 km north-northeast of Kuopio. The area, which is divided between four separate general geological maps at 1:400 000 scale (Frosterus & Wilkman 1924, Wilkman 1924, 1929, 1935), is bordered by Archaean granulite blocks of the Varpaisjärvi - Iisalmi area in the west and by the most southern wedges of the Palaeoproterozoic Kainuu schist belt in the east.

Most of the bedrock is Archaean. It was, however, intensely deformed and granitized in the Svecokarelian orogeny, except in the western border zone, where the Archaean structures and Palaeoproterozoic diabases have been deformed only in local mylonitic shear zones. The western zone consists mainly of amphibolite-banded tonalitic - trondhjemitic migmatites. A discontinuous arch-shaped zone of predominantly chemically altered rocks with amphibolites is the most conspicuous feature of the central map sheet area. The zone is best visible on the aeromagnetic map (Fig. 2) as a chain of strong positive anomalies. Different types of amphibolites, quartz- and chlorite-rich leucocratic rocks, and garnet-cordierite-orthoamphibole-staurolite rocks with other alkali- and calcium-deficient rock types are characteristic of the zone. The rest of the Archaean bedrock comprises granitized migmatites and gneisses of varying types.

Small Palaeoproterozoic granite bodies and migmatizing granitic material are common, particularly in the southeastern part of the area. The Palaeoproterozoic Älänne and Maaselänmäki quartzite ridges extend into the map sheet area from the north as does the Keytitty quartzite ridge from the south. Sulphide-bearing schists with serpentinites occur in the southeastern

map-sheet area. Basic dykes - well-preserved in the west and strongly deformed in the east - are abundant throughout the map sheet area.

### **Archaean rocks**

The Archaean bedrock of the map sheet area can be divided on structural grounds into two parts: the western border zone with well-preserved Archaean structures and the rest of the area with a strong Palaeoproterozoic metamorphic and deformational overprint.

The western map-sheet area consists of amphibolite-banded tonalitic - trondhjemitic migmatites representing the eastern parts of the fault-bounded granulite blocks of the Varpaisjärvi - Iisalmi area. Excluding the narrow, younger mylonitic zones, the structures are Archaean. The banded type grades eastwards into homogeneous tonalite, which forms a zone 2 - 3 km wide. The homogeneous type is bordered by fractures on the eastern side.

The northeastern corner of the map-sheet area, east of the quartzite wedges, is dominated by mica gneiss migmatites. The central part of is made up of different types of migmatites with mica-rich or amphibolitic palaeosome and trondhjemitic - granitic neosome. Abundant granitization is common, especially in the northern and southeastern parts, where pegmatitic granite is the most characteristic rock. Rocks altered in chemical composition form a large, discontinuous (or fragmentary) arch in the middle of the map sheet. The most likely source of these anomalous rocks is a hydrothermally altered volcano- sedimentogenic suite comparable to those of Godthåbsfjord, West Greenland (Dymek & Smith 1990). The altered rocks are closely connected with different types of amphibolites and contain abundant quartz and chlorite. Rutile and magnetite are also relatively abundant and therefore the arch is clearly visible on the aeromagnetic map. Calcium- and alkali-deficient rock types with garnet-, cordierite-, orthoamphibole-, staurolite-bearing parageneses predominate. One, two or all three of the  $Al_2SiO_5$  polymorphs can be present. Local quartzose tourmaline-rich rocks exist, too.

### **Palaeoproterozoic rocks**

Proterozoic rocks actually cover only a small part of the Rautavaara map-sheet area, although migmatization with small granitic and pegmatite granitic bodies associated with the Proterozoic deformation of the Archaean rocks is a characteristic feature, especially in the eastern map-sheet area. The Tulumäki granite around Rautavaara parish is a large, lenticular, gently dipping intrusion curved conformably with the areal foliation.

The most southerly quartzite - serisite quartzite wedges of the Kainuu schist belt have been compressed, sheared and imbricated with the basement migmatites in the eastern map-sheet area. Abundant amphibolitic (metadiabase) material is associated with the schists. The northern end of the



Keyritty quartzite ridge extends into the area from the Nilsiä map-sheet area. Between the Korpimäki area and Rautavaara parish, there are narrow horizons of sulphide-bearing mica schist with impure bluish quartzite interbeds. Unexposed serpentinites with strong magnetic anomalies and other rock types of the Outokumpu association also occur in this thrust zone.

There are numerous diabase dykes throughout the map-sheet area. They are particularly large and fresh in the western zone, with its well-preserved Archaean rocks. These diabases often contain some pyroxene. The rest of the diabases were deformed in the Svecokarelian orogeny, most intensely in the eastern map-sheet area.

### **Metamorphic and structural evolution**

In terms of structural and metamorphic features, the bedrock of the Rautavaara map-sheet area can be divided into the well-preserved Archaean migmatites with Palaeoproterozoic diabases (excluding the local mylonitic zones) in the west and the Archaean migmatites and gneisses with Palaeoproterozoic ductile deformation and recrystallization.

The Archaean, partly granulitic bedrock with its Palaeoproterozoic diabases (generally pyroxene and olivine-bearing) in the western map-sheet area belongs to the amphibolite banded tonalitic - trondhjemitic migmatites of the Iisalmi block. The bulk of it was preserved structurally and metamorphically almost intact in the tectonometamorphic pulse that occurred ca 1900 Ma ago. The deformation that more thoroughly reworked the rest of the area can be inferred only from local mylonitic shear zones.

The central part of the area was deformed and (retrogressively) metamorphosed under higher amphibolite facies conditions in the Proterozoic. Accordingly, it is not always possible to make a clear distinction between Archaean portions and Proterozoic metamorphic products on the basis of the mineral assemblages and mineral compositions of the rocks in the area. The pT determinations done to date indicate primarily conditions of the aluminium silicate triple point milieu (5 - 6 kb and 500 - 600 °C), with a clockwise path from andalusite via kyanite to sillimanite (Hölttä et al., 1997). The diabase dykes have also been thoroughly deformed, although they retain their original orientation. Eastwards from the sinuous thrust zone with its string of serpentinites and passing the Rautavaara village, the older structures (and diabases) are bent and deformed conformably with the Palaeoproterozoic deformation.

Lineation plunging mainly to the southwest (to the south in the eastern map sheet area) (Fig. 26) is distinct.

## KIRJALLISUUTTA - REFERENCES

- Dymek, R.F. & Smith, M.S. 1990.** Geochemistry and origin of Archaean quartz-cordierite gneisses from the Godthåbsfjord region, West Greenland. *Contrib. Mineral. Petrol.* 105, 715-730.
- Fabriés, J. 1979.** Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. *Contrib. Mineral. Petrol.* 69, 329-336.
- Feng, R., Kerrich, R., McBride, S. & Farrar, E. 1992.** <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age constraints on the thermal history of the Archaean Abitibi greenstone belt and Pontiac Subprovince: implications for terrane collision, differential uplift, and overprinting of gold deposits. *Can. J. Earth Sci.* 29, 1389-1411.
- Floyd, P.A. & Winchester, J.A. 1975.** Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.* 27, 211-218.
- Frosterus, B. & Wilkman, W.W. 1924.** Joensuu. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Vuorilajikartta, Lehti D3.
- Frosterus, B. & Wilkman, W.W. 1920.** Joensuu. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000. Vuorilajikartan selitys, Lehti D3. 189 s.
- Halla, J., 1998.** Kalimaasälvän ja kokokiven lyijyisotooppitutkimukset – arkeaisen mannerkuoren alkuperä ja varhaisproterotsooinen svekofenninen tektonoterminen reaktivaatio Nilsiä, Lieksan ja Tipasjärven alueella Itä-Suomessa. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto. 76 s.
- Huhma, H., Hölttä, P. & Paavola, J. 1995.** Isotopic studies on the Archaean Varpaisjärvi granulites in Finland. Abstract in Glebovitsky, V.A. & Kotov, A.B. (eds.): Precambrian of Europe: Stratigraphy, Structure, Evolution and Mineralization. MAEGS9. 9th Meeting of the Association of European Geological Societies, 4-15 September 1995, St. Petersburg, Russian Federation.
- Hölttä, P. 1997.** Geochemical characteristics of granulite facies rocks in the Archaean Varpaisjärvi area, central Fennoscandian Shield. *Lithos* 40, 31-53.
- Hölttä, P., Huhma, H., Mänttari, I. & Paavola, J. (tekeillä).** Geochronology of Archaean granulites in the Varpaisjärvi area, central Finland. Submitted to *Lithos*.
- Hölttä, P., Huhma, H., Mouri, H., Mänttari, I., Paavola, J. & Ruotoistenmäki, T. 1997.** The mineral equilibria working group of the international mineralogical association (IMA). Excursion guide to the Varpaisjärvi area, central Finland, 21-24 August 1997. Geological Survey of Finland. 67 s.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971.** A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8, 523-548.
- Jokela, J. & Paavola, J. 1991.** Structural features of the Archaean bedrock from the Rautavaara area, eastern Finland. *Geol. Surv. Finland, Current Research 1990*, Ed. by Sini Autio, Special Paper 12, 5-9.
- Kontinen, A. 1991.** Evidence for significant paragneiss component within the late Archaean Nurmes gneiss complex, eastern Finland. *Julkaisussa: Autio, S. (ed.) Current Research 1989-1990, Geol. Surv. Finland, Special Paper 12, 17-19.*
- Kontinen, A., Paavola, J. & Lukkarinen, H. 1992.** K-Ar ages of hornblende and biotite from Late Archaean rocks of eastern Finland - interpretation and discussion of tectonic implications. *Geological Survey Finland, Bulletin 365.* 31 s.
- Korhonen, J. & Airo, M-L. 1984.** Aeromagneettinen kartta 3343, Rautavaara. *Geologian tutkimuskeskus, Geofysiikan osasto. 1 : 100 000. Q19/22.8/3343/1984.*
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Heino, T., Talvitie, J. & Vanne, J. 1991.** Base-metal-rich metamorphosed black shales associated with Proterozoic ophiolites in the Kainuu schist belt, Finland: a genetic link with the Outokumpu rock assemblage. *Mineralium Deposita* 26, 143-151.
- Mezger, K., Hanson, G.N. & Bohlen, S. R. 1989.** U-Pb systematics of garnet: dating the growth of garnet in the Late Archaean Pikwitonei granulite domain at Cauchon and Natawahunan Lakes, Manitoba, Canada. *Contrib. Mineral. Petrol.* 101, 136-148.
- Mänttari, I., Sergeev, S., Paavola, J., Pakkanen, L., Vaasjoki, M. & Vestin, J. 1998.** From conventional to ionprobe U-Pb dating of inhomogeneous zircon population. 3.2 Ga basement gneiss, Lapinlahti, central Finland. 23. Nordiske Vintermøde, Abstract volume, Århus, 1998, s. 197.
- Niemelä, M. 1988a.** Tutkimustyöselostus Rautavaaran kunnassa valtausalueella Korttimomäki 1, kaiv. rek. n:o 3608 suoritetuista tutkimuksista. *Geologian tutkimuskeskus, arkisto-*



- raportti: M 06/3343/-88/1/89. 2 s.
- Niemelä, M. 1988b.** Tutkimustyöselostus Rautavaaran kunnassa valtaalueella Honkamäki 1, kaiv. rek. n:o 3961 suoritetuista tutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti: M 06/3343/-88/2/82. 5 s.
- Paavola, J. 1984.** Nilsin kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Nilsin map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, Kallioperäkartojen selitykset, lehti 3334. 57 s.
- Paavola, J. 1986.** A communication of the U-Pb and K-Ar age relations of the Archaean basement in the Lapinlahti -Varpaisjärvi area, central Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 339, 7-15.
- Paavola, J. 1988.** Lapinlahden kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Lapinlahti map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, Kallioperäkartojen selitykset, lehti 3332. 60 s.
- Paavola, J. 1991.** Iisalmen kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Iisalmi map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, Kallioperäkartojen selitykset, lehti 3341. 44 s.
- Paavola, J. 1997.** Rautavaara. Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, Kallioperäkartta, lehti 3343.
- Roering, C. & Ashwal, L. 1992.** Structural geology of high-grade terranes: status and prospects. *Precambrian Res.* 55, 47-49.
- Shervais, J.W. 1982.** Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet Sci. Lett.* 59, 101-118.
- Sipilä, E. 1984.** Tutkimusselostus Rautavaaran kunnassa valta-alueella Pappilanmäki 1, kaiv. rek. n:o 3044/1 suoritetuista malmitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti: M 06/3343/-78-80/1/10. 16 s.
- Streckeisen, A. 1976.** To each plutonic rock its proper name. *Earth-Sci. Rev.* 12, 1-33.
- Säntti, J. 1996.** Cr-Fe-spinellin, oliviinin ja enstatiitin koostumus ja alkuperä Outokummun ja eräissä muissa Karelidien metaultramafiiteissa. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, 67 s.
- Toivola, V., 1988.** Sonkajärven - Varpaisjärven alueen diabaasit. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, 73 s.
- Vanne, J. 1989a.** Lyijymalmitutkimukset Rautavaaran Haukisuolla vuosina 1980-1982. Geologian tutkimuskeskus, keskusarkisto, tutkimuskortti: M 19/3343/-89/3/10.
- Vanne, J. 1989b.** Rikki- ja kuparimalmitutkimukset Löytynsuon alueella Rautavaarassa 1985-1986. Geologian tutkimuskeskus, keskusarkisto, tutkimuskortti: M 19/3343/-89/4/10.
- Vanne, J. 1990.** Rikki- ja kuparimalmitutkimukset Rautavaaran Suurusuolla 1985-1986. Geologian tutkimuskeskus, keskusarkisto, tutkimuskortti: M 19/3343/-90/1/10.
- Vuollo, J. 1994.** Palaeoproterozoic basic igneous events in Eastern Fennoscandian Shield between 2.45 Ga and 1.97 Ga, studied by means of mafic dyke swarms and ophiolites in Finland. *Acta Univ. Oul. A* 250. 47 s.
- Wellin, T. 1997.** Flerfasdeformation i tidigt proterozoiska bergarter inom Rautavaaraområdet, östra Finland. Pro gradu-avhandling. Institutionen för geologi och mineralogi. Åbo Akademi. 61 s.
- Wilkman, W.W. 1921.** Nurmes. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Vuorilajikartan selitys, Lehti D4. 126 s.
- Wilkman, W.W. 1924.** Nurmes. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Vuorilajikartta, Lehti D4.
- Wilkman, W.W. 1929.** Kajaani. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Kivilajikartta, Lehti C4.
- Wilkman, W.W. 1931.** Kajaani. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Kivilajikartan selitys, Lehti C4. Résumé en Français. 249 s.
- Wilkman, W.W. 1935.** Kuopio. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000. Kivilajikartta, Lehti C3.
- Wilkman, W.W. 1938.** Kuopio. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, Kivilajikartan selitys, Lehti C3. English summary. 171 s.
- Winchester, J.A. & Floyd, P. A. 1976.** Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet Sci. Lett.* 28, 459-469.
- Winchester, J.A. & Floyd, P.A. 1977.** Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology* 20, 325- 343.



1.3.1999

- \* 0034+0043 Signilskär, 1978.
  - 1011 Lågskär, 1978.
- \* 1012 Mariehamn, 1979.
- 1013 Käkär, 1981.
- 1014 Föglö, 1980.
- \* 1021 Geta, 1978.
- 1022+1024 Hullberga, 1992.
- \* 1023 Kumlinge, 1978.
- 1031 Utö, 1983.
- 1032 Korppoo, 1987.
- \* 1033 Nötö, 1954.
- \* 1034 Nagu, 1973.
- 1041 Iniö, 1986.
- \* 1042 Vehmaa, 1992.
- 1043 Turku, 1994.
- 1131 Uusikaupunki, 1994.
- \* 1132 Rauma, 1993.
- 1133 Yläne, 1994.
- \* 1134 Kokemäki, 1994.
- 1141 Luvia, 1994.
- 1143 Pori, 1994.
- \* 1242 Korsnäs, 1960.
- 1343 Vexala, 1981.
- \* 1823 Kilpisjärvi, 1994.
- 1832 Ropi, 1988.
- \* 1842 Halti, 1994.
- 2011 Hanko, 1970.
- 2012 Perniö, 1955.
- 2013 Jussarö, 1973.
- [\* 2014 Tammisaari, 1991.]
- \* 2021 Salo, 1955.
- \* 2022 Marttila, 1957.
- \* 2023 Suomensjärvi, 1955.
- \* 2024 Somero, 1955.
- 2031 Mäkiluoto, 1992.
- \* 2032 Siuntio, 1960.
- \* 2034 Helsinki, 1967.
- 2041 Lohja, 1994.
- \* 2042 Karkkila, 1953.
- \* 2043 Kerava, 1969.
- \* 2044 Riihimäki, 1956.
- \* 2111 Loimaa, 1953.
- \* 2112 Huittinen, 1976.
- \* 2113 Forssa, 1954.
- \* 2114 Toijala, 1973.
- \* 2121 Vammala, 1967.
- \* 2122 Ikaalinen, 1952.
- 2122 Ikaalinen, 1993.
- \* 2123 Tampere, 1961.
- \* 2124 Viljakkala-Teisko, 1953.
- \* 2131 Hämeenlinna, 1949.
- \* 2132 Valkeakoski, 1970.
- \* 2133 Kärkölä, 1961.
- \* 2134 Lammi, 1964.
- \* 2141 Kangasala, 1964.
- 2142 Orivesi, 1986.
- 2143 Padasjoki, 1971.
- 2144 Kaipola, 1973.
- \* 2213 Kuru, 1960.
- \* 2214 Virrat, 1965.
- 2221 Jalasjärvi, 1990.
- 2222 Seinäjoki, 1962.
- \* 2222 Seinäjoki, 1991.
- \* 2223 Alavus, 1970.
- \* 2224 Kuortane, 1971.
- \* 2231 Mänttä, 1976.
- \* 2232 Keuruu, 1963.
- \* 2241 Ähtäri, 1970.
- \* 2313 Alajärvi, 1979.
- \* 2314 Evijärvi, 1992.
- 2321 Pietarsaari, 1981.
- 2322 Kokkola, 1980.
- 2323 Kaustinen, 1971.
- \* 2324 Kannus, 1961.
- 2331 Kyyjärvi, 1993.
- 2332 Perho, 1976.
- \* 2334 Kinnula, 1962.
- \* 2341 Lestijärvi, 1964.
- \* 2342 Sievi, 1962.
- \* 2343 Reisjärvi, 1963.
- \* 2344 Nivala, 1962.
- \* 2413 Kalajoki, 1955.
- \* 2431 Ylivieska, 1955.
- \* 2432+2414 Pyhäjoki, 1957.
- \* 2433 Haapavesi, 1958.
- \* 2434 Vihanti, 1958.
- \* 2441 Raabe, 1959.
- \* 2443 Paavola, 1959.
- \* 2533 Haukipudas, 1986.
- \* 2541 Kemi, 1971.
- \* 2542+2524 Karunki, 1972.
- \* 2543 Simo, 1975.
- \* 2544 Runkaus, 1971.
- 2713 Kolari, 1984.
- 2714 Kihlanki, 1981.
- \* 2723 Muonio, 1980.
- 2731 Kurtakko, 1992.
- 2732 Kittilä, 1984.
- \* 3012 Pellinki, 1965.
- \* 3021 Porvoo, 1964.
- \* 3022 Lapinjärvi, 1962.
- \* 3023+3014 Kotka, 1970.
- \* 3024 Karhula, 1965.
- \* 3041+3043 Haapasaari, 1972.
- \* 3042 Hamina, 1973.
- \* 3044 Vaalimaa, 1979.
- \* 3111 Lahti, 1964.
- \* 3112 Heinola, 1970.
- \* 3113 Kouvola, 1963.
- \* 3114 Vuohijärvi, 1969.
- \* 3121 Sysmä, 1977.
- \* 3122 Joutsa, 1982.
- \* 3123 Mäntyharju, 1978.
- 3124 Hirvensalmi, 1988.
- \* 3131 Luumäki, 1975.
- \* 3132 Savitaipale, 1965.
- \* 3133 Ylämaa, 1979.
- \* 3134 Lappeenranta, 1964.
- \* 3141 Ristiina, 1990.
- \* 3142 Mikkeli, 1980.
- \* 3144 Sulkava, 1966.
- 3224 Karttula, 1991.
- 3231 Haukivuori, 1984.
- 3232 Pieksämäki, 1971.
- 3233 Rantasalmi, 1973.
- \* 3234 Varkaus, 1980.
- \* 3311 Viitasaari, 1966.
- \* 3312 Pihtipudas, 1969.
- \* 3313 Vesanto, 1985.
- \* 3314 Pielavesi, 1977.
- \* 3321 Pyhäjärvi, 1992.
- 3322 Kärämäki, 1992.
- \* 3323 Kiuruvesi, 1977.
- \* 3332 Lapinlahti, 1987.
- \* 3334 Nilsjä, 1980.
- \* 3341 Iisalmi, 1990.
- 3343 Rautavaara, 1997.
- \* 3422 Oulujoki, 1983.
- 3423 Utajärvi, 1994.
- 3424 Sanginkylä, 1992.
- 3433 Sotkamo, 1981.
- 3434 Paltamo, 1993.
- 3442 Puolanka, 1990.
- 3443 Hyrynsalmi, 1989.
- \* 3511 Kiiminki, 1984.
- 3531 Jonku, 1977.
- 3541 Rytinki, 1979.
- 3543 Loukusa, 1980.
- \* 3612 Rovaniemi, 1996.
- 3642 Pelkosenniemi, 1979.
- \* 3643 Kursu, 1967.
- 3644 Vuotostunturi, 1983.
- \* 3713 Sodankylä, 1979.
- \* 3714 Sattanen, 1980.
- 3723 Peurasuvanto, 1993.
- 3733+4711 Savukoski, 1986.
- \* 3934+4912+4914 Näätämo, 1994.
- \* 4112+4111 Imatra, 1966.
- \* 4121 Virtajoki, 1987.
- 4122 Lohilahti, 1992.
- \* 4123+4114 Parikkala, 1982.
- \* 4124+4132 Punkaharju, 1980.
- \* 4213 Kerimäki, 1975.
- \* 4214 Rääkkylä, 1985.
- \* 4221 Heinävesi, 1993.
- \* 4222 Outokumpu, 1971.
- 4223 Joensuu, 1985.
- \* 4224 Kontiolahti, 1971.
- \* 4231 Kitee, 1973.
- \* 4232+4234 Tohmajärvi, 1967.
- \* 4241 Kiihtelysvaara, 1971.
- \* 4242 Eno, 1983.
- \* 4243 Oskajärvi, 1983.
- 4244+5222 Ilomantsi, 1973.
- \* 4311 Sivakkavaara, 1971.
- 4322 Puukari, 1993.
- \* 4411 Ontojoki, 1976.
- \* 4412 Hiisijärvi, 1973.
- \* 4413 Kuhmo, 1978.
- 4414+4432 Lentiira, 1993.
- \* 4421 Moisiovaara, 1986.
- \* 4423+4441 Ala-vuokki, 1987.
- 4522 Vasaraperä, 1989.
- \* 4524+4542 Kuusamo, 1973.
- \* 4613 Rukatunturi, 1982.
- \* 4621+4623 Salla, 1967.

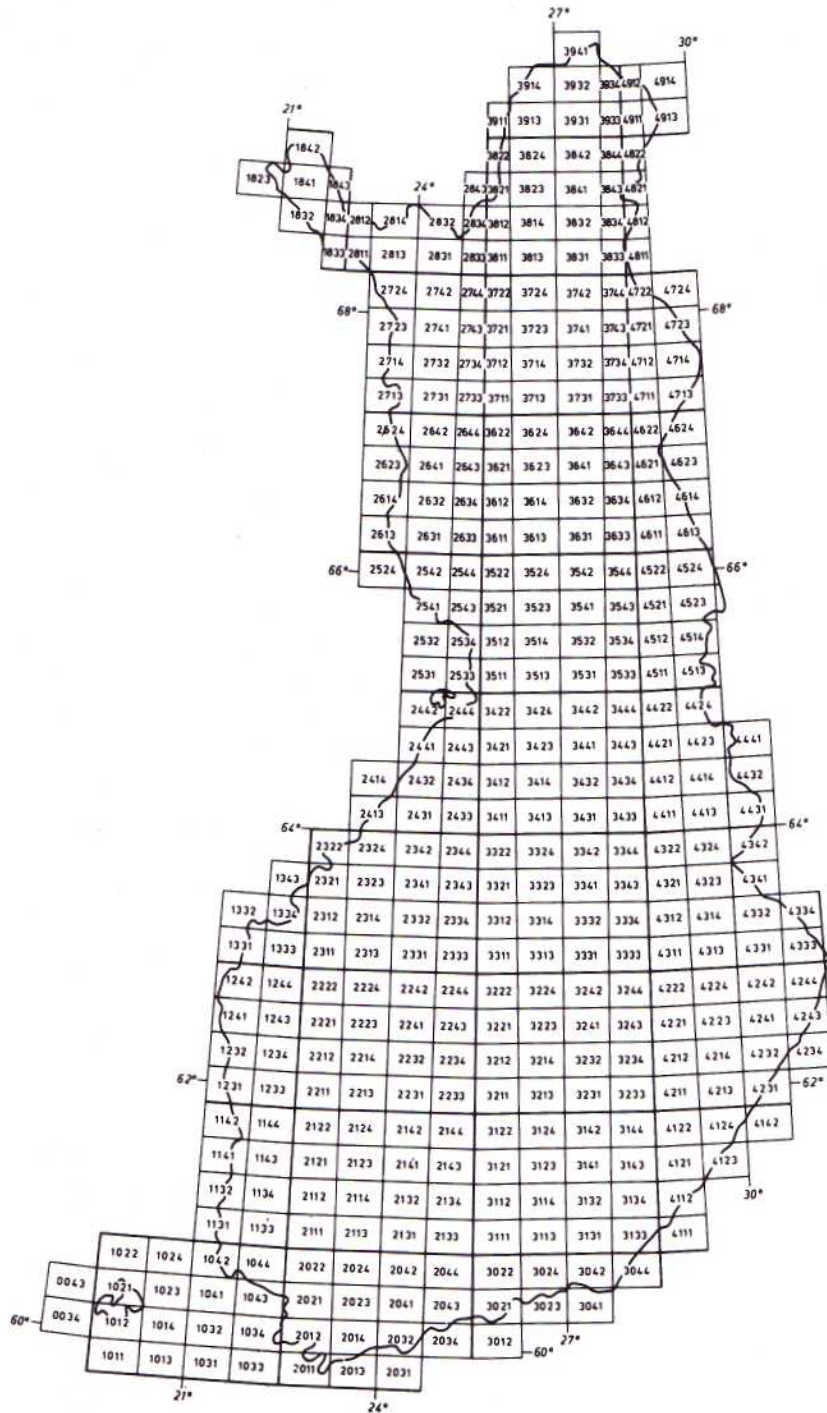
Karttoja ja karttaselityksiä myy:

**Geologian tutkimuskeskus (GTK)**  
Julkaisumyynti  
PL 96  
02151 Espoo  
Puh. 0205 50 11

The maps and explanations may be purchased at:

**Geological Survey of Finland**  
Publication sales  
P.O. Box 96  
FIN-02151 Espoo, Finland  
Phone +358 205 50 11

E-mail: [info@gsf.fi](mailto:info@gsf.fi); WWW-address: <http://www.gsf.fi>



**Karttalehtijako 1:100 000**  
**Map division 1:100 000**



9 789516 907331

ISBN 951-690-733-4

Vammalan Kirjapaino Oy 1999