

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

Rovaniemen yksikkö

Kallioperä ja raaka-aineet toimiala

M10.4/2003/1

Tapani Mutanen

12.2.2003

**HANKE 210 4001**

**”MAGMATISMI JA MALMINMUODOSTUS”  
Loppuraportti toiminnasta 1998 - 2001**



**Lyijyhohde, alkaliperidotiitti  
Simontaival R172/24.79m**

Päivämäärä

12.2.2003

Tekijät Tapani Mutanen		Raportin laji Hankeraportti	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi Hanke 210 4001 ”Magmatismi ja malminmuodostus”. Loppuraportti toiminnasta 1998-2001			
Tiivistelmä <p>Kerrosintruutioissa selvitettiin PGE-Au:n esiintymistä Kaikkivaltiaanlehdon ja Rantavaara-Metsävaaran intruutioissa Sodankylässä. Koitelaisessa kairattiin päävyöhykkeen PGE-Au-rikastumia intruusion itäosassa Rykimäselässä ja kromiitti-murskaleisia, Pt-pitoisia Fe-Ti-oksidi-rikkaita pegmatoideja intruusion lounaisosassa Mukkajärvenaavalla. Intruusion katon kontaktisuhteita selvitettiin kairauksin Kaitaselässä ja Kivivaarassa. Akanvaaran intruutioissa selvitettiin magneetiittigabron ja sen alapuolisten anortosiittien REE-suhteita. Sallan Lehtomaan intruusion raportoitiin. Penikkain intruusion alakontaktisuhteita selvitettiin lyhyillä POKA-rei'illä. Alustavia tietoja esitetään ultramafisten piippujen tutkimuksista Ranuan ja Iin kunnissa. Lyhyesti esitellään alustavia tuloksia appiniittisten intruusioiden tutkimuksista Rovaniemen maalaiskunnassa, Pellossa ja Kolarissa. Pudasjärvellä ja Ranualla on lamprofyyrejä juonina ja piippumaisina intruutioina; tämä magmaattinen toiminta saattaa liittyä samaan vaiheeseen kuin Ranuan Simontaipaleen alkalikivi-intruusio (albiitti-egiriinikivet ja alkaliperidotiitit), jonka tutkimus on vielä kesken. Pellon Lampsijärven juonimainen magneettinen rakenne on yhden kairareian perusteella kvartsisyeniitti-granosyeniitti. Tämä liittyy saman syvällä kuorella olevan ja laajana positiivisena Bouguer-anomaliana näkyvän raskaan massan (emäksinen intruusio) alueelle kuin appiniittiset intruusioidet.</p> <p>Pudasjärven granuliittivyöhykkeestä (PGB) on tavattu Sn-pitoisia alaskiitteja. Vyöhykkeestä on tehty opinnäytteenä (Lalli, 2002) tutkimus kivien geokemiasta ja metamorfoosista. PGB:n granuliittien zirkoni (2.9 Gy) on selvästi ”vanhaa pohjaa” vanhempaa. Siuruan trondhjemittigneissi edustaa vieläkin vanhempaa (3.5 Gy) arkeista kuorta; tästä Hannu Huhma löysi SIMS-tutkimuksissa zirkonin ytimestä jäänteitä vielä vanhemmasta (3.7 Gy) aineksesta.</p> <p>Meteorikraatteritutkimuksissa jatkuu Petsamon rakenteen ja siihen liittyvien, suuresta impaktista todistavien kivien (sueviitti-metatektiitti) tutkimusta. Pohjois-Suomesta on useita kohteita, joita tutkitaan mahdollisina impakti- tai paleoimpaktikraatterirakenteina.</p> <p>Lisäksi on pintanäytteenotolla ja kairauksin selvitetty muutamia malminetsintäkohteita.</p> <p>On tutkittu järviruon (Phragmites) esiintymistä karbonaattikiven indikaattorina.</p>			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) malminetsintä, magma, intruusio, alaskiitti, trondhjemitti, syeniitti, ultramafiset kivet, lamprofyyri, alkalikivet, appiniitti, granuliitti, meteorikraatteri, apatiitti, kupari, sinkki, platina, järviruoko			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Lapin lääni, Oulun lääni, Sodankylä, Inari, Savukoski, Salla, Kolari, Pello, Ylitornio, Rovaniemen maalaiskunta, Ii, Keminmaa, Ranua, Pudasjärvi			
Karttalehdet 2533, 2631, 2632, 2641, 2544, 3513, 3514, 3524, 3543, 3622, 3642, 3644, 3714, 3723, 3731, 3732, 3741, 4521, 4613, 4614, 4713, 4714, 4913			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus M10.4/2003/1	
Kokonaissivumäärä 41 s. + liite	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus

Date 12.2.2003

Authors		Type of report	
Tapani Mutanen		Project report	
		Commissioned by Geological Survey of Finland	
Title of report			
Project 210 4001 "Magmatism and ore-forming processes". Final report of activity 1998-2001			
Abstract			
<p>In Kaikkivaltiaanlehto and Rantavaara-Metsävaara layered intrusions, Sodankylä, occurrence of PGE-Au was explored. At Rykimäselkä in the eastern part of the Koitelainen intrusion, PGE-Au-enriched layers in the Main Zone were explored by short drill holes. At Mukkajärvi in the southwestern part of the Koitelainen intrusion Pt-enriched ultramafic pegmatoid pipes containing xenoliths from the Upper Chromitite layer were intersected by several drill holes. Roof contact relationships were studied by profile drilling at Kivivaara and Kaitaselkä, eastern – northeastern contact of the Koitelainen intrusion. In the Akanvaara intrusion REE distribution in the magnetite gabbro and underlying anorthosites were studied from old drill core samples. The Lehtomaa intrusion in Salla was reported. Base contact relationships of the Penikat intrusion were studied in short drill holes. Preliminary information on ultramafic pipes in Ranua and Ii is presented. First results of the appinitic intrusions in the County of Rovaniemi, Pello and Kolari are presented. Lamprophyre dykes and pipe-like intrusions were found at Pudasjärvi and Ranua; this magmatic activity may be contemporaneous with the intrusion of the Simontaival alkaline intrusion (albite-egirine rocks, alkali peridotites) in Ranua. One short drill hole put in the Lampsijärvi dyke-like magnetic anomaly, in Pello, showed the rock to be quartz syenite to granosyenite. This target, along with the appinite intrusions, occurs within the bounds of the deep crustal heavy mass (mafic intrusion) that appears as an areally large positive Bouguer anomaly.</p> <p>In the Pudasjärvi Granulite Belt (PGB) Sn-enriched alaskites were found. The geochemistry and metamorphism of the PGB were treated in her Master's thesis by Lalli (2002). The granulite zircon is clearly older (2.9 Gy) than the usual "Old Basement". In the belt the Siurua trondhjemite gneiss belongs to a still older (3.5 Gy) crust; from this gneiss Hannu Huhma, using SIMS, found that part of the zircon contained still older (3.7 Gy) material.</p> <p>As part of the meteorite impact crater programme the study of the Pechenga (Russia) structure and associated impact rocks (suevite-metatektite) is going on. In northern Finland several suspected sites of impact craters and paleocraters are under study.</p> <p>Several other exploration prospects were studied by surface sampling and diamond drilling.</p> <p>Occurrences of <i>Phragmites</i> were studied in several field areas. The plant seems to be a dependable indicator of carbonate rocks.</p>			
Keyword			
exploration, magma, intrusion, alaskite, trondhjemite, syenite, ultramafic rocks, lamprophyre, alkaline rocks, appinite, granulite, meteorite crater, apatite, copper, zinc, platinum, <i>Phragmites</i> .			
Geographical area			
Finland, Province of Lapland, Province of Oulu, Sodankylä, Inari, Savukoski, Salla, Kolari, Pello, Ylitornio, County of Rovaniemi, Ii, Keminmaa, Ranua, Pudasjärvi			
Map sheet			
2533, 2632, 2632, 2641, 2544, 3513, 3514, 3524, 3543, 3622, 3642, 3644, 3714, 3723, 3731, 3732, 3741, 4521, 4613, 4614, 4713, 4714, 4913			
Other information			
Report serial		Archive code M10.4/2003/1	
Pages 41 p. + app.	Language Finnish	Price	Confidentiality

## SISÄLLYSLUETTELO

Yleistä magmojen synnystä ja kiteytymisestä	2
Kerrosintruusiotutkimukset	5
Kaikkivaltiaanlehto, Sodankylä (kl. 3732)	5
Rantavaara-Metsävaara, Sodankylä (kl. 3732)	8
Koitelainen, Sodankylä: Kaitaselkä, Kivivaara, Rykimäselkä, Mukkajärvenaapa (kl. 3714, 3723, 3732, 3741)	13
Akanvaara, Savukoski (kl. 3644)	16
Lehtomaa-Kieskisjärvi, Salla (kl. 4614)	17
Kilikka, Keminmaa (kl. 2544)	17
Ultramafiset piiput	18
Pahakumpu ja Kuha, Ranua (kl. 3524)	18
Aaltokangas, Ii (kl. 2533)	18
Appiniitti-intruusiot	18
Iso Paavolampi, Rovaniemen mlk (kl. 3622)	18
Lamprofyyrit	21
Soidinmaa, Pudasjärvi (kl. 3514)	21
Alkalikivitutkimukset	21
Ranua (kl. 3524)	21
Lampsijärvi, Pello (2641)	26
Pudasjärven granuliittivyöhyke (PGB, kl. 3513, 3514)	26
Ikätutkimukset	28
Alaskiitit	28
Meteorikraatterit (astrobleemit)	29
Sakkala-aapa, Pelkosenniemi-Savukoski (kl. 3731, 3642)	30
Petsamo (Venäjä)	31
Elijoki Salla-Kuusamo (kl. 4613, 4614)	31
Vuontisjärvi, Inari (kl. 4913)	32
Kypäsjärvi, Ylitornio (kl. 2632)	32
Mellajärvi, Ylitornio (kl. 2631)	32
Kostonjärvi, Taivalkoski (kl. 3543, 4521)	32
Arajärvi, Sodankylä (kl. 3732)	33
Muut mahdolliset impaktikraatterit ja paleokraatterit	33
Muut kohteet	34
Tuntsa, Salla (kl. 4713, 4714)	34
Rytiniva, Sodankylä (kl. 3714)	34
Takavaara, Sodankylä (kl. 3732)	36
Räkkiluostonvaara, Sodankylä (kl. 3642)	37
Geobotaaniset tutkimukset	37
Keskeneräiset tutkimukset	38
Kirjallisuus	39
Liite 1. Tutkimuskohteiden sijainti	

## YLEISTÄ MAGMOJEN SYNNYSTÄ JA KITEYTYMISESTÄ

Yksinkertaisimmin kivi sulaa, kun siihen tuodaan lämpöä ulkopuolelta (esim. manttelista kuoreen tunkeutuneen magman vaikutus matalammassa lämpötilassa sulaviin sivukiviin), tai lämpöä syntyy itse kivessä (radioaktiivinen lämpö, rajapintaenergian vapautuminen metamorfisessa uudelleenkiteytymisessä ja muut eksotermiset metamorfiset prosessit). Tässä on (taas) syytä huomauttaa, että kuuman magman kontaktivaikutuskin perustuu suurimmaksi osaksi systeemin sisällä kehittyneen lämmön (latentti kiteytymislämpö, polymorfiset transformaatiot, kaasu/nestefaasin erottuminen, mineraalien kiteytyminen hydrotermisistä fluideista) vaikutukseen. Erityisen merkittävää ympäristön sulamisen kannalta on lämmön siirtymisen mekanismi. Suurissa emäksisissä kerrosintruusioissa, joiden magmojen viskositeetti on pieni, kaikenlainen konvektio (lämpökonvektio, 2-faasikonvektio) on ratkaisevan tärkeä mekanismi, jolla latentti kiteytymislämpö siirtyy kontakteihin ja sivukiviin. Sama mekanismi (konvektio) jatkuu sivukivissä syntyneessä anatektisessa, usein ylikuumenneessa sulassa. Konvektiosta on kysymys silloinkin, kun magmasta ylikyllästyneet (ja ylipaineiset, eli  $P(fl) < P(litost)$ ) fluidit karkaavat sivukiviin ja vievät mukanaan lämpöä.

Silikaattisysteemien P-T-diagrammasta (ks. esim. Mutanen, 1997, Fig. 30) voi suoraan päätellä useita magmojen syntyprosesseja. Kuivan systeemin likvidus ja solidus nousevat paineen kasvaessa, aluksi jyrkästi, sitten loivemmin. Tämä merkitsee, että kuuman mutta vielä soliduksen alapuolella olevan kiven tuominen pienempään paineeseen johtaa sulamiseen; edelleen, että kiteitä sisältävän sulan nousu pienempään paineeseen lisää sulamisen astetta, ja likviduksessa olevan sulan nousu johtaa ylikuumenemiseen. Ylikuumenemista vastustaa paineen helpottaessa sulan laajenemisesta johtuva adiabaattinen jäähtyminen. Paineen laskusta johtuva sulaminen (decompression melting) on tehokasta siksi, että systeemi ”tuntee” paineen laskun heti, mutta lämmön dissipaatio vaatii aikaa. Yleisesti selitetään suurten magmamäärien (esim. laakiobasaltit) liittyvän decompression melting’iin, kun kuumaa vaippaa (hot spots) nousee diapiirisesti (mantle diapirs).

Adrian Jones ja David Price (Jones & al., 2002) ovat esittäneet mielenkiintoisen hypoteesin, jonka mukaan suuret magmaattiset provinssit (LIP = large igneous provinces) voivat saada alkunsa suuren meteoritörmäyksen (impact) aiheuttamasta manttelin (vaipan) kohoamisesta (impact induced melting, impact decompression melting). Hypoteesin todistamisessa on se vaikeus, että hyvin suuri magmapurkaus pyrkii hävittämään osuma-alueella jäljet itse impaktista. Petsamon rakennetta (ks. Mutanen, 2000a) Price & Jones pitävät hypoteesinsa kannalta puuttuvana renkaana. On valmistunut Petsamoa koskeva yhteinen kongressiabstractti (Lontoo, helmikuussa 2003); samasta aiheesta on jo luonnos laajemmaksi julkaisuksi (mukana Eero Hanski ja Pekka Tuisku). Petsamon alueen tekee poikkeukselliseksi ja samalla mielenkiintoisemmaksi se, että oletettu impakti osui alueelle, jossa oli parhaillaan käynnissä mantteliperäistä vulkanismia.

Kuivaan systeemiin verrattuna vesikylläisen kiven solidus ja likvidus laskee paineen noustessa. Tyypillisiä ilmentymiä ovat progressiivisessa metamorfoosissa peliiteistä ja grauvakoista syntyneet anatektiset graniittiset tai trondhjemiittiset sulat. Emäksisten

kerrosintruusioiden lähellä ensimmäinen anatektinen sula on vesikylläisen graniittisen systeemin minimisula; sulaminen on voimakkaampaa intruusion alapuolella (korkeampi P) kuin katossa.

Eräs seuraus ”märän” kiven sulamiskäyttäytymisestä on, ettei vesikylläinen magma voi kiteytymättä nousta pienempään paineeseen, ja vesipitoinen magma voi nousta vain siihen korkeuteen missä se kyllästyy vedestä. Toisaalta kuuma kuiva kivi voi sulaa, kun siihen esim. rakoja pitkin tunkeutuu vettä. Tällaisiksi on tulkittu eräät pseudotakylitit Norilskin intruusiassa.

Magmaa syntyy myös muiden energiamuotojen muuttuessa lämpöenergiaksi. Meteorii-impaktin välitön vaikutus on, että kosmisen kappaleen kineettisestä energiasta osa muuttuu osumakohteessa lämmöksi. Silloin syntyy impaktisulia (esim. tagamiitit) ja sulabreksioita (sueviitit). Isotooppitutkimusten mukaan Sudburyn ”intruusio” voisi hyvin edustaa pelkästään kuoren kivistä sulamalla syntyneitä magmamerta, ilman manttelista tullutta emäksistä magmaa. Siinä tapauksessa meteorii-impaktilla olisi melko suora yhteys malminmuodostukseen. Petsamo saattaa hyvinkin olla esimerkki tapauksesta, jossa impakti aiheutti manttelissa Ni-Cu-sulfidipitoisten magmojen syntymisen ja näiden intruusion kuoreen (Mutanen, 2000a)

Kineettistä energiaa syntyy myös siirrospinoilla kitkalämpönä (esim. Fleitout & Froidevaux, 1980), ja tuloksena on joskus osittain sulanutta kiveä. Näitä magmakiviä, pseudotakylititeja, esiintyy paitsi siirrospinoilla (Akanvaarassa, ks. Mutanen, 1997) erityisen runsaasti impaktikraattereissa ja niiden ympäristössä (esim. Vredefort).

Magmoja voi pienessä mitassa syntyä myös kivihiihkerrosten maanalaisessa (luonnollisessa) palamisessa ja salamaniskuissa.

Magmoja (sulia) voi syntyä myös ”kondensoitumalla” silloin kun lämpötila laskee korkean lämpötilan silikaattiplasmassa (tektiitit).

Malmeja syntyy, kun magmasta erottuu metallirikas faasi, joka voi olla kiteinen (kromiitti, magnetiitti, ilmeniitti, apatiitti, korkean lämpötilan PGE-riikkaat lejeeringit, sulfidit ja sulfarsenidit, kuten ferroplatinat, Cu-Pt-lejeeringit, lauriitti ja ruarsiitti-irarsiitti-osarsiitti-hollinworthiittisarjan faasit), sula (esim. Fe-Ni-Cu-Co –sulafaasi), tai matalatiheyksinen fluidi (kaasu, ”hydrotermi”). Korkeassa paineessa ja lämpötilassa magmasta voi erottua hyvinkin tiheä ylikriittinen fluidi, jonka koostumus voi poiketa paljonkin, ja yllättävään suuntaan, sulan koostumuksesta. Magmaattisten kidefaasien, sulfidisulan ja hydrotermien osuudesta käydään kiistelyä erityisesti PGE-esiintymien synnyssä. Hydrotermin ei tietenkään tarvitse olla ollenkaan alkuperältään magmaattinen. Tässä on syytä huomauttaa, että monet pienissä paineissa ”volatiileina” käyttäytyvät komponentit eivät paineen kasvaessa enää olekaan volatiileja, vaan sitoutuvat täysin pysyviin korkean lämpötilan kide- ja sulafaaseihin: rikki sulfidisulaan, kloori magmaattiseen klooriapatiittiin ja kloorisarvivälkkeeseen, fluori apatiittiin ja topaasiin, hiili grafiittiin jne.

Hankkeen toisessa vaiheessa (Magmatismi ja malminmuodostus II) on Lapista tunnustettu lukuisia appiniittisiä intruusioita. Näiden magmoille on ominaista verraten korkeaan hapetusasteeseen yhdistynyt rikkikylläisyys ja hyvin korkea volatiilipitoisuus (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Cl, F, SO<sub>2</sub>). Volatiilit näyttävät saavuttaneen jo

magmaattisessa vaiheessa kyllästyneisyyden, mikä aina merkitsee intruusion sisäisen paineen kasvua litostaattista painetta suuremmaksi. Kun näin tapahtuu, intruusion yläpuolinen kuori voi pettää, ja silloin metallipitoiset fluidit purkautuvat syntyviin rakoihin, joihin voi syntyä malmeja. Appiniittisista intruusioista on löytynyt selviä merkkejä kaasunpaineen voimakkaasta kasvusta ja sen jälkeisestä nopeasta laskusta, samoin tunnetaan räjähdysbreksioita. Appiniittisistä kivistä tunnetaan PGE-malmiaiheita (Ontario). Lapissa appiniittien tarkempi tutkimus on vasta alullaan, mutta on jo löytynyt pieniä merkkejä metallien rikastumisesta (Pb, Zn, Cu, Mo). Muita mahdollisia taloudellisia aiheita ovat apatiitti, Ni, Ag ja Co ja Au. Korkeat apatiitti-, F- ja Cl- pitoisuudet ovat tyypillisiä.

Tässä raportissa käsiteltyjen kohteiden sijainti on esitetty liitteessä 1. Kohteista tehdyt hieet (kaikki kiillotettuja ohuhieitä) löytyvät hietietokannasta, lisäksi kairansydämistä tehdyt hieet on merkitty syväkairausraporttiin.

## KERROSINTRUUSIOTUTKIMUKSET

### **Kaikkivaltiaanlehto, Sodankylä (kl. 3732)**

Kaikkivaltiaanlehdon kohde on lentomagneettinen anomalia, jonka kohdalla on tunnettu pedogeokemiallinen Ni-Cu-Co(-V)-anomalia (Lehmuspelto & Vuojärvi, 1983). Kohteen yli kairattiin profiili koillisesta kaakkoon (kuva 1). Vuonna 1998 intruusion kattoa lähestyttiin kolmella POKA-reiällä (R331-R333), jotka kaikki lävistivät kvartsiittia. Sinä syksynä työ keskeytyi konerikkojen takia. Vuosina 2000-2001 käytettiin ”oikeaa” syväkairausta (Suomen Malmi Oy:n ja Kati Oy:n urakat). Reiät R334 ja R335 lopetettiin vielä kattopuolen kvartsiittiin. Rei’illä R336, R337 ja R342 lävistettiin intruusio kattopuolen kvartsiitista alapuolella oleviin peliitteihin. Välittömästi intruusion yläpuolella on 10 m paksu yksikkö plagioklaasipitoisia muskoviitti-biotiittipeliittejä ja kiillearkooseja. Näissä esiintyvä granaatti saattaa olla syntynyt intruusion lämpövaikutuksesta. Vielä lähempänä intruusiota lämpövaikutus näkyy granofyyrimaisina juonina ja pesäkkeinä, skapoliittiporfyroblastien ilmaantumisenä ja muskoviitin häviämisenä; lähinnä intruusiota on sarvivälkettä.

Intruusion kaade on koilliseen, mutta magmaattisen kerroksellisuuden kaateesta ei ole varmaa, kairanreikien konnektioon perustuvaa arviota. Magmaattisen kerroksellisuuden lävistyskulman mukaan kaade olisi n. 25-35° koilliseen.

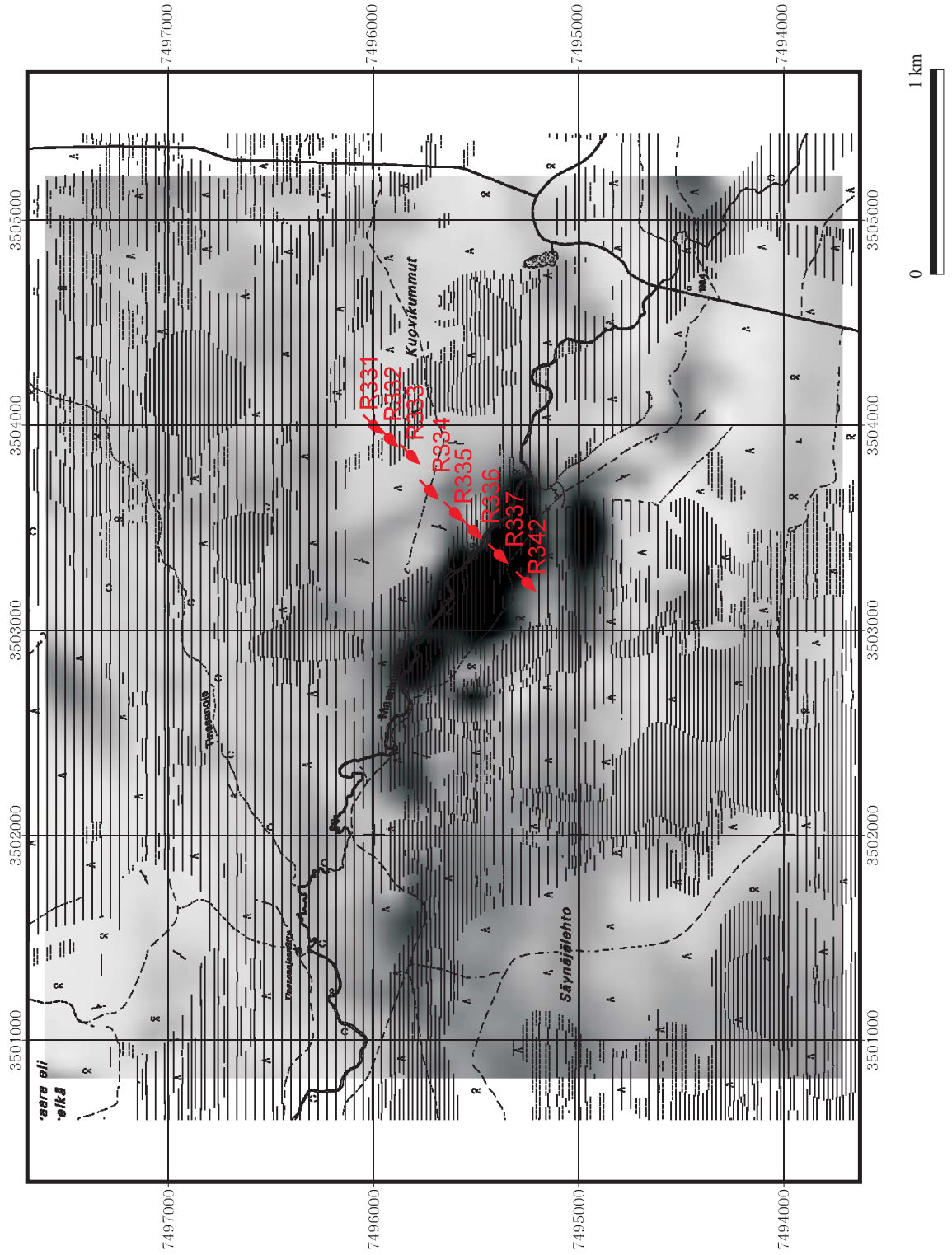
Pääosa intruusion paksuudesta (ainakin 220 m) on magnetiittipitoisia gabroja, joiden seassa on epämagneettisia uraliittigabroja ja kvartsigabroja. Intruusion alaosassa on n. 115 m paksultti gabroja, joissa ei ole primaaria eikä sekundaaria magnetiittia. Intruusion yläosan magnetiittigabrot ovat ilmeisesti alun perin sisältäneet primaaria ilmenomagneittia, mutta metamorfoosissa magnetiitti on yleensä täysin uudelleenkiteytynyt. Ilmeniitin suotaumalamelleja on magnetiitissa näkyvissä vähiten muuttuneissa gabroissa, mutta tyypillisesti alkuperäisen ilmenomagneitin voi tunnistaa silikaattiutuneissakin rakeissa ilmeniittiskeletteinä. Apatiittia esiintyy yläosassa säännöllisesti, mutta enimmillään sitä on vain 0.25 %, eikä se ilmeisesti koskaan kiteytynyt kumulusfaasina. Apatiittipitoisuus laskee tasaisesti alaspäin.

Gabrojen alkuperäiset kumulusmineraalit olivat plagioklaasi, pyrokseenit ja ilmenomagneitti. Alaosassa on paikoin säilynyttä augiittia ja Ca-köyhää pyrokseenia (inversio-pigeoniitti). Alaosasta on yhdestä hieestä löytynyt oliviinin pseudomorfeja. Postkumulusmineraaleja ovat ruskea tai vihertävänruskea korkean lämpötilan sarvivälke (jota on paikoin säilynyt), kvartsi, apatiitti ja joskus zirkoni. Säilyneissä osissa erottuu hyvin plagioklaasin magmaattinen laminaatio, silloin myös plagioklaasissa on säilynyt tumma pigmentti ja sen alkuperäinen Ca-rikas magmaattinen koostumus. Paikoin on rytmistä magmaattista kerroksellisuutta. Useimmiten gabrot ovat voimakkaasti muuttuneita ja uudelleenkiteytyneitä uraliittigabroja; päämineraalit ovat, paljousjärjestyksessä, vihreä sarvivälke, plagioklaasi, magnetiitti, ilmeniitti ja muuttumistulokset skapoliitti, biotiitti, epidootti-klinozoiitti ja ”serisiitti”. Paikoin on karbonaattia, kloriittia, titaniittia, rutiilia, mikrokliinia, turmaliinia ja prehniittia. Malmimineraaleja ovat Fe-Ti-oksidiin lisäksi pyriitti, kuparikiisu ja pyrroitti (jossa ylintä osaa lukuun ottamatta on pentlandiittia



# Kaikkivaltiaanlehto, Sodankylä, kl 3732

Magneettinen matalalento ja syväkairausreitit



Kuva 1.

hiutalemaisina suotaumina), harvemmin on mackinawiittia, markasiittia, sinkkivälkettä (?) ja vihreää spinelliä (?).

Reiässä R336 välillä 211.70-247.70 m on karkea uraliittigabro, johon liittyy heikko, mutta yhtenäinen Pt-Pd-anomaalinen osa. Tämä kivi on vaaleampi ja karkeampi, mutta se ei mineraalikoostumuksen puolesta poikkea muista uraliittigabroista.

Magnetiittigabroissa on muutamia 1 – 4 m:n albitiittilävistyksiä, joiden alkuperä on epäselvä. Kyseessä saattaa olla albiittiutuneita granofyyrijuonia.

Intruusion yläosan kivet ovat rautarikkaita (FeOtot yleensä 17 – 21 %) ja niihin ovat rikastuneet TiO<sub>2</sub> (yläosassa 2.2 – 2.6 %), V (440 – 1000 ppm) ja Cu (200 – 970 ppm). Ni on hyvin matala, ja kasvaa hiukan alaspäin mutta on koko intruusiosta pieni (alle 110 ppm). Rikkipitoisuuksista päätellen intruusion sula on ollut alusta lähtien sulfidikylläinen ja edustaa joko melko pientä manttelisulafraktiota tai on kidefraktioitunut kuoressa. Primaari ruskea sarvivälke viittaa siihen, että OH-pitoisuus on jo alussa ollut (esim. Koitelaisen ja Keivitsan magmaan verrattuna) verraten korkea. On mahdollista, että nyt lävistetty leikkaus edustaa isomman intruusion sellaista osaa, josta alemmat kumulaatit puuttuvat. Magnetiittigabrojen joukossa on ultramafinen kerros (R336/76.10 – 78.00 m), jossa on SiO<sub>2</sub> 37.9 %, mutta tämä on rautarikkaasta sulasta syntynyt Fe-rikkaiden silikaattien ja Fe-Ti-oksidiin Mg-köyhä kumulaatti; MgO vain 10.2 %, mutta FeOtot 26.9 %. Suuri osa magnetiittigabroista on ultraemäksisiä (SiO<sub>2</sub> < 45 %).

Ns. Fennerin trendin mukainen fraktioituminen tuotti jäännössulan, jossa ovat rikastuneet Fe, Ti, V ja Cu, mutta mikään näistä ei rikastunut malmiksi. Kaikissa tähän mennessä saaduissa näyteanalyysissä Au on hyvin pieni ja Pt-Pd-pitoisuudetkin yleensä korkeintaan 2-3 ppb. Reiässä R336 lävistettiin välillä 211.70 – 247.70 m karkearakainen vaalea uraliittigabroyksikkö, jonka alakontakti on terävä. Tässä on välillä 211.50 – 234.00 m yhtenäinen Pt-Pd-anomaalinen osa (Pt 11-18 ppb, Pd 10-14 ppb, määritetty 521U-menetelmällä). Anomalian alapuolella on usean metrin matkalla vielä lievästi kohonnut Pt-Pd-pitoisuus. Anomaalisesta osasta valittiin 6 näytettä, joista tehtiin PGE-Au-Re-analyysit Ni-sulfidi-ICP-MS-menetelmällä (714M). Näissä kokonais-PGE-pitoisuus vaihteli välillä 15.8 – 42.6 ppb. Ru, Os, Re ja yhtä näytettä lukuun ottamatta Rh olivat kaikissa näytteissä alle määrittämissä rajat (1-2 ppb). Korkeimmat pitoisuudet olivat: Ir 0.54 ppb, Pd 20.2 ppb ja Pt 17.5 ppb. Nämä vastasivat melko hyvin 521U-menetelmän tuloksia. Hieestä on löytynyt yksi pieni (mutta varmistamaton) PGM-rae.

Intruusion kivet ovat kauttaaltaan hyvin Cl-rikkaita (3000 – 7000 ppm). Pääosa kloorista lienee skapoliitissa. Klooria on voinut alun perin olla mukana magmassa, mutta vaikuttaa siltä kuin Cl olisi tullut, ja ainakin liikehtinyt, alueellismetamorfoosin aikana. Skapoliitimuodostus näyttäisi liittyvän yleiseen hydrautumiseen (uraliittiutuminen). Kloorin alkuperä lienee merivedessä, olipa kyseessä evaporaattien, suolasavien ja suolaliuosten (brine) assimiloituminen magmaan tai kulkeutuminen metamorfisten liuosten mukana.

Intruusion alaosaan tehtyjen XRF-analyysien mukaan siellä kivet ovat vähemmän fraktioituneita (MgO 6.3 – 7.5 %, FeOtot 12 – 13 %). Näitä lävistäneen reiän R342 näytteistä tilatut ICP- ja jalometallianalyysit (108 kpl) ovat vielä tulematta, joten

intruusion PGE-potentiaali on vielä lopullisesti selvittämättä. Intruusion ylemmistä osista tehdyt analyysit osoittavat, että PGE lisääntyvät alaspäin.

Kartoitushavainnot: TM-98-4

Gravimetrinen profiili: Q21.1373201/00 (mitattu 18—20-9.2000)

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3732/98/R331

M19/52/3732/98/R332

M19/52/3732/98/R333

M19/52/3732/00/R334

M19/52/3732/00/R335

M19/52/3732/00/R336 (analyysitilaus no. 78887 ja 63554)

M19/52/3732/00/R337 (analyysitilaus no. 78889)

M19/52/3732/01/R342 (analyysitilaus no. 63556)

Tilatuista analyyseista eivät vielä valmistuneet: tilaus 63556 108 kpl 511P ja 108 kpl 521U.

### **Rantavaara-Metsävaara, Sodankylä (kl. 3732)**

Kohde kuuluu Särkivaaran emäksiseen kerrosintruusioon, jonka pituus on n. 30 km, paksuus n. 1 km. Intruusio kulkee itäpäästä Allemalehdosta Luirolta ensin lounaaseen, Moskujärven eteläpuolen kohdalla kulku kääntyy länteen. Magneettiselta kartalta intruusiota voi seurata Kitisen ja Sodankylä-Ivalo -tien länsipuolelle.

Intruusion katto on pohjoisessa, intruusion kontaktien ja sisäisen kerroksellisuuden kaade on tutkituilla alueilla n. 45 – 60° pohjoiseen.

Aikaisemmin GTK on tehnyt malmitutkimuksia Särkivaaran-Rantavaaran alueilla (Hanski, 1998). Ei kuitenkaan ollut vielä aukotonta tietoa PGE:n esiintymisestä intruusion kerrossarjassa, ja siksi intruusion alaosa (Rantavaara, R338-R339) ja toisaalta ylä- ja keskiosia (Metsävaara, R343) selviteltiin muutamalla syväkairausreiällä vuosina 2000 ja 2001.

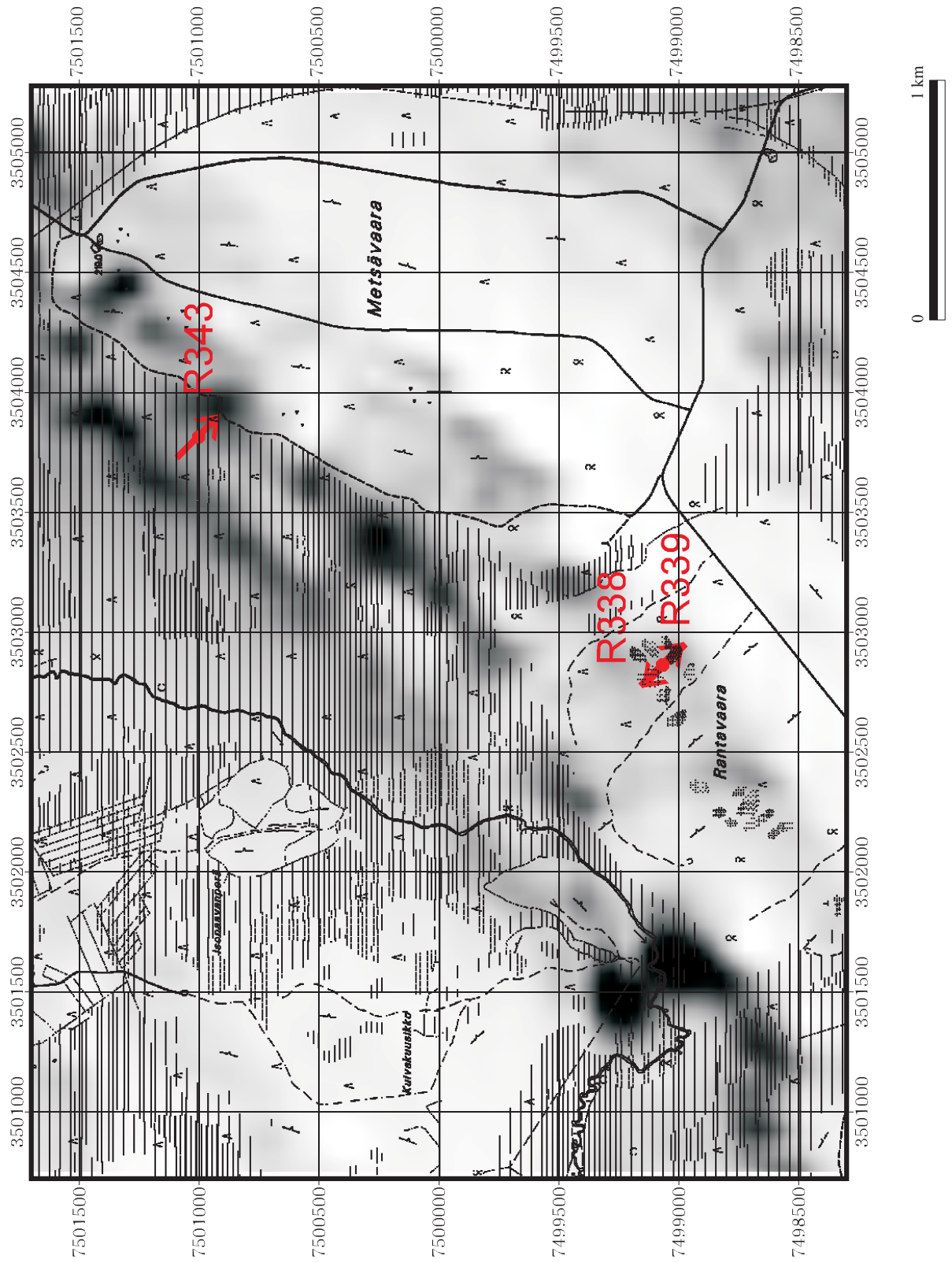
Kuvassa 2 on syväkairausreikien sijainti magneettisella matalalentokartalla. Kuvassa 3 on reikien sijainti ja aikaisemmin Rantavaarassa omapotentiaalimenetelmällä (SP) ja VLF-R:llä mitatut alueet.

Rantavaarassa kairattiin profiilissa kaksi reikää linjalla, jonka edessä intruusion pohjalla on isona paljastumana kaunis tiheäkerroksellinen oliviinirikas kumulaatti. Intruusion alaosan kumulaatit ja pohjakontakti lävistettiin reiässä R339; edellinen reikä (R338) kairattiin samasta pisteestä erehdyksessä päinvastaiseen suuntaan.

Reiässä R338 kivet olivat melko tummia pyrokseenigabroja, niiden osittain tai kokonaan uraliittituneita vastineita ja voimakkaammin muuttuneita metagabroja. Metagabroissa on sulfidilisäystä (pyriittiä) ja turmaliinimuodostusta. Välillä 45.20 –

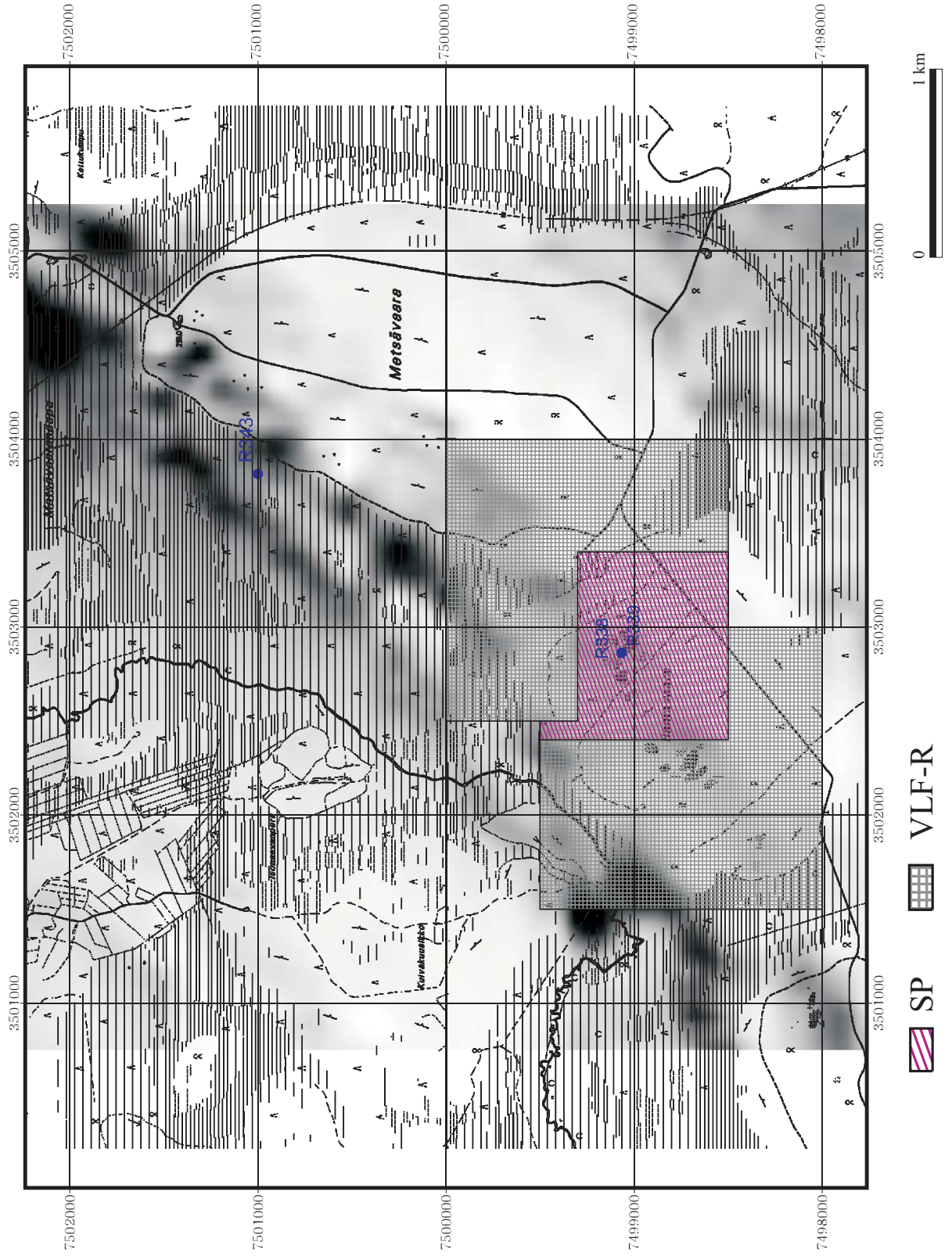
# Rantavaara-Metsävaara, Sodankylä, kl 3732

Magneettinen matalalento ja syväkairausreitit



# Rantavaara-Metsävaara, Sodankylä, kl 3732

Magneettinen matalalento, syväkairausreiät ja sähköiset kartat (SP, VLF-R)



51.00 m on diabaasijuoni (metadiabaasi). Diabaasissa on kohonnut Cu (200 – 600 ppm) ja reiän ainoat lievästi kohonneet Au-Pd-Pt-pitoisuudet. Muuten kivissä ei ollut mielenkiintoisia malmimetallipitoisuuksia.

Reikä R339 lävisti alussa uraliittiutuneita melagabroja, alkuperältään oliviinipitoisia pyrokseenigabroja, joissa MgO- ja Ni-pitoisuudet kasvavat tasaisesti alaspäin, ilmeisesti oliviinin määrän lisääntyessä. Välillä 34.57 – 42.55 m on diabaasijuoni (leikkauskulma 45°), joka on geokemiallisesti samanlainen kuin R338:n juoni (lievä Cu-Au-Pt-Pd-anomalia). Välillä 44 – 124 on peridotiittisia kumulaatteja (säilyneitä oliviiniperidotiitteja ja muuttuneita metaperidotiitteja), joiden MgO-pitoisuus on n. 20 %. Näissä kivissä on säännöllisesti interkumulusplogioklaasia. Oliviinipitoiset kivet vaihettuvat alaspäin plagioklaasin lisääntyessä pyrokseenikumulaattien kautta n. 135 m:ssä gabroiksi, jotka aina ovat enemmän tai vähemmän muuttuneita (uraliittigabroja ja metagabroja). Kontakti jalkapuolen hornfelsiin on terävä, kontaktin yläpuolella raekoon pieneneminen viittaa chill-vaikutukseen. Kerrosintruusioiden alaosissa yleinen ns. käänteinen fraktioituminen näkyy siinä, että peridotiittiyksiköstä kontaktia kohti lisääntyvät Na, Al, Si, P, Ti, Zr ja Ce ja vähenevät Mg, Ca, Cr ja Ni. Lisääntymis- ja vähenemiskehitys alkaa eri alkuaineille eri syvyyksiltä. Koko kairatussa alaosassa näkyy rikin epätasainen kasvu alaspäin. Pitoisuuksista päätellen emäksinen sula on ollut, ainakin alkuvaiheessa (esim. saalisen kontaminaation takia) sulfidikylläinen. Alaosissa ei näy kuitenkaan mitään primaariin sulfidirikastumiseen viittaavia Ni-Cu-PGE-Au-rikastumia. Myös ultramafisissa kumulaateissa PGE-Au-pitoisuudet ovat hyvin pienet. Reiässä on loivassa kulmassa leikattuja sulfidipitoisia serpentiini-karbonaattijuonia, joihin liittyy kohonneita S-pitoisuuksia (1.6 – 3.5 %) ja Cu:n, Co:n ja Ni:n nousuja; esim. välillä 114.05 – 116.35 m (2.3 m) on Cu 0.49 %, Ni 0.1 % ja Co 220 ppm.

Kaikissa kivissä Cl-pitoisuudet olivat erittäin korkeat, useimmiten 6000-8000 ppm. Skapoliittiutuneessa diabaasijuonessa on 1.35 % Cl. Vain alimmissa gabroissa Cl-pitoisuus on matalampi, usein 650 – 900 ppm.

Reikä R339 lävisti intruusion jalkapuolen kiviä 16.4 m. Nämä ovat peliittisiä liuskeita. Noin 2 m:n päähän intruusiosta kivet ovat skapoliittipitoisia metahornfelsejä, joissa intruusiota lähin osa (n. 1 m) on voimakkaasti rikastunut Na:sta (Na<sub>2</sub>O yli 4 %) ja voimakkaasti köyhtynyt K:sta (K<sub>2</sub>O 0.2 – 0.46 %). Näinhän selektiivisessä kontaminaatiossa pitää ollakin: Na diffundoituu emäksisestä sulasta happamaan sulaan tai kiinteään sivukiveen, jopa konsentraatiogradientin suhteen ”vastavirtaan”, K taas siirtyy saalisista sulista (tai kivistä) emäksiseen sulaan (Mutanen, 1997, ja viitteet siinä). Peliitit ovat MgO-rikkaita (4.7 – 5.2 %) ja niissä on ”normaaleja” peliittejä (fanerotsooiset peliitit ja nykyiset savet) korkeampi Cr (173 – 194 ppm Cr) ja Ni (82 – 95 ppm Ni).

Intruusion yläosaa selviteltiin Metsävaarassa reiällä R343. Tämä kairattiin vähän ennen hankkeen loppumista. Koska reiästä ei ole tullut vielä analyyseja, seuraava selostus perustuu reikäraporttiin ja hietutkimukseen.

Alussa reikä lävisti 93.70 m:iin asti vuorottelevista peliiteistä ja grafiittirikkaista liuskeista (”mustaliuske”) koostuvaa pinkkaa, jossa välillä 61.05 – 67.38 m (6.3 m) on uraliittigabroa (metagabroa). Kontaktien leikkauskulmasta (70 – 75°) ja muista

kontaktisuhteista päätellen tämä on silli, joka mahdollisesti lähtee apofyysina alla olevasta intruusiosta, joka alkoi reikäsyvyydellä 93.70 m.

Reiän alussa, maakairauksesta (8.30 m) 36.92 m:iin on yhtenäinen grafiittiliuske. Siinä näyttää olevan hyvin vähän primaaria sulfidia; sulfidit esiintyvät suonina. Vaaleita sulfidipitoisia kerroksia ilmaantuu 31.35 m:stä. Tämän alapuolella on vuorottelevia sulfidipitoisia grafiittiliuskeita ja skapoliittipitoisia muskoviitti-kloriittipeliittejä. Kerrosrajat ovat melko teräviä, grafiittiliuskekerrosten alakontaktit tyypillisesti hyvin teräviä. Grafiittinen aines loppuu 46.15 m:ssä. Sen alla on kerroksellisia, skapoliittiporfyroblastisia muskoviitti-kloriittipeliittejä, joissa biotiittia on vähän tai ei yhtään. Biotiittiporfyroblasteja ilmaantuu 52 m:stä alkaen. Kun kerrosmyötäinen lohkeavuus loppuu 56 m:ssä, on sen alla olevat kivet luokiteltu peliittisiksi metahornfelseiksi. Näille on tyypillistä biotiittipitoisuus, ja kuten ylempänä olevissa peliittiliuskeissa näissäkin on skapoliittiporfyroblasteja. Gabrosillin ja intruusion välisissä peliiteissä esiintyy andalusiittia. Intruusiota lähestyttäessä biotiittipitoisuus kasvaa, kiveen ilmaantuu granaattia ja ihan kontaktin lähellä vielä sarvivälkettä.

Intruusion yläosassa (96.60 m:iin) on voimakkaasti muuttuneita, kontaminoituneita kvartsigabroja (metagabroja, uraliittigabroja). Joskus erottuu kumulusplagioklaasin laattamainen muoto. Kivissä on myös suurempia happamia karkearakeisia osueita. Päämineraalit ovat albiitti, kvartsi, sarvivälke ja epidootti-klinozoiisiitti; vaihtelevasti on kloriittia, karbonaattia, titaniittia, apatiittia, granaattia ja allaniittia. Malmimineraaleja ovat ilmeniitti, pyrootiitti, pyriitti, kuparikiisu, markasiitti ja borniitti. Nämä kivet soveltuvat ilmeisesti ikäykseen, koska niissä on suurikokoista vyöhykkeellistä (ja selvästikin magmaattista) zirkonia. Kvartsigabrojen alla (101.75 m:iin) on ”plagioklaasifyyristä” uraliittigabroa, joka vaihettuu karkeaksi uraliittigabroksi (metagabro); tätä jatkuu 144.60 m:iin. Nämä kivet ovat meso- tai melanokraattisia, täysin muuttuneita kiviä, jotka usein sisältävät skapoliittia. Fe- ja Cu-sulfidien lisäksi on usein sinkkivälkettä. Usein on vaaleita karkeita granofyyrirakenteisia segregatioita ja tummia sarvivälkerikkaita kasaumia. Karkeiden saalisten pegmatoidipesäkkeiden määrä lisääntyy alaspäin. Välillä 144.60 – 153.00 m on uraliittigabroa, jossa on runsaasti pegmatoidipesäkkeitä; tästä 166.32 m:iin on melko homogeenista uraliittigabroa. Välillä 166.32 – 175.85 m on taas runsaasti karkeita pegmatoidipesäkkeitä sisältävää gabroa, jossa on ilmeniittia ja Fe- ja Cu-sulfideja. Tämän alapuolella alkaa homogeeninen uraliittigabro, jota jatkuu reiän loppuun (251.40 m). Kivissä on lukuisia melanokraattisia ja joskus ilmeniittirikkaita magmaattisia kerroksia (paksuus 3 – 20 cm) tai ohuiden lähekkäisten kerrosten sarjoja. 230 m:n alapuolella alkaa ilmaantua vaaleita plagioklaasikumulaattikerroksia kerroksia (paksuus alle 1 cm:stä). Syvemmälle ultramafisten kerrosten määrä vähenee. Näissä kivissä on ilmenomagnetiitti (titanomagnetiitti) ollut kumulusmineraalina, mutta rakeet ovat silikaattiutuneet ja jäljellä on vain ilmeniittisuotaumaskelletjejä. Karkearakeista zirkonia esiintyy yleisesti. Pienissä määrin on Fe- ja Cu-sulfideja. Relikteinä on ruskeaa sarvivälkettä, joka osoittaa kohtalaista OH-pitoisuutta ainakin magmasäiliön yläosissa.

Kerrosten leikkauskulma on tyypillisesti jyrkkä (75 – 90°), mikä osoittaa (kun reiän kaltevuus on n. 45°), että kerroksellisuuden kaade on n. 45° luoteeseen. Intruusion yläosaan on kehittynyt Fe-rikas, kontaminoitunut jäännössula, josta kiteytyivät titanomagnetiitti ja mahdollisesti itsenäinen ilmeniitti. Yleisesti näkyvä sulfidipirote

viittaa magman sulfidikylläisyyteen. Kairauksella päästiin intruusion verraten homogeeniseen keskiosaan. Lisäkairauksen tarve selviää analyysien valmistuttua.

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3732/00/R338 (analyysitilaus no. 78890)

M19/52/3732/00/R339 (analyysitilaus no. 78886)

M19/52/3732/01/R343 (analyysitilaus)

**Koitelainen, Sodankylä: Kaitaselkä, Kivivaara, Rykimäselkä, Mukkajärvenaapa (kl. 3714, 3723, 3732, 3741)**

Rykimäselän ja Mukkajärvenaavan tutkimukset on selostettu valtausraporteissa (Mutanen 2002 c, 2002 a).

Kivivaarassa (kl. 3732 06) ja Kaitaselässä (kl. 3741 05) yritettiin lävistää syväkairauksin (Kivivaara) ja POKA-kairauksella (Kaitaselkä) Koitelaisen intruusion yläkontaktia (granofyyrin ja kattokivien kontaktia), joka ei ole missään paljastuneena ja josta on saatu tietoa vain moreeninäytteenoton rapakallionäytteistä (ks. Mutanen, 1997). Ylä-Liesijoella on kairauksessa lävistetty tektonisoituneena intruusio sen katossa olevasta täplikästä komatiitista granofyyrien ja edelleen magnetiittigabrojen läpi Yläkromiittiikerroksen (Upper Chromitite) alapuolelle (reikä R311, kl. 3723). Tiedetään, että granofyyri vaihettuu alaspäin granofyyrigabrojen kautta emäksisen kerrossarjan kiviksi. Granofyyria tunnetaan paksuinakin juonina jotka leikkaavat granofyyristä alaspäin tunkeutuen magnetiittigabroa ja sen alapuolisia Ylävyöhykkeen (Upper Zone) kiviä (mm. Koitelaisenvosat, Iso Vaiskonselkä ja Käyrämön-Junnikkanivan alue). Intruusion alaosan kumulaatteihin tunkeutuneet kvartsimontsoniittiset diapiirit vastaavat koostumukseltaan granofyyreja ja niiden zirkoni antaa saman iän kuin Koitelaisen muut magmaattiset zirkonit (pegmatoidit ja granofyyrit). n. 2.44 Gy (Mutanen & Huhma, 2001). Siten granofyyrit ovat Koitelaisen intruusiomagman kanssa ”komagmaattisia”, vaikka eivät olekaan lähtöisin samoista aineksista.

*Kivivaara*

Neitikäislehdossa, n. 2-3 km Kivivaarasta koilliseen kairattiin v. 1994 lukuisia POKA-reikiä satoja metrejä leveässä granofyyrissä, mutta kauimpana kaakossakin kairatut reiät olivat vielä granofyyrissä (kuvaus koostumuksista ja petrografiasta, Mutanen, 1997). Kivivaarassa kairattiin v. 1998 profiilissa kaakosta luoteeseen kaksi reikää, R321 (syvyys 230.10 m) ja R322 (syvyys 112.50 m). Heti R321:n takana Kivivaarassa on Al-rikkaita liuskeita laajoina rakkoina ja paljastumina. Reikä kairattiin 58 asteen kaltevuudella, ja lävistysleikkaus oli likimain kohtisuora (70 – 90°). Se lävisti hyvin vaihtelevan sarjan alkuperältään sedimenttisiä ja vulkaanisia kiviä ja emäksisiä juonikiviä. Sedimenttikivet ovat arkoosikvartsiitteja, kiillearkooseja, Al-rikkaita liuskeita, emäksisiä metatuffeja (?) ja tuffiaineksia mahdollisesti sisältäviä sedimenttikiviä (esim. granaatti-sarvivälkekiilleliuskeita). Al-riikkaat liuskeet ovat varhaisproterotsooisille ja arkeoisille muodostumille tyypillisiä Mg-Cr-Ni(-Fe-Ca)-rikastuneita peliittejä. Emäksisistä kivistä osa on mahdollisesti



juonia tai ohuita kerrosjuonia (metagabrot). Osalla emäksisistä kivistä on komatiittinen koostumus (esim. välillä 60.05 – 64.70 m), mutta nämä saattavat olla voimakkaasti muuttuneita oliviinigabrodiabaasijuonia (kuten Keivitsalla; Mutanen, 1997). Jotkut kivet muistuttavat granofyyreja (esim. 64.70 – 69.70 m ”metagranofyyri”, 72.20 – 78.40 m ”granofyyrigneissi”, 78.75 – 91.10 m ”granofyyri” ja 102.40 – 114.10 m ”granofyyri”). Välillä 114.10 – 167.70 m on hornfelsimäisiä happamia kiviä, sen jälkeen 186 m:iin vuorottelevia kiillegneissejä (vastaavat koostumukseltaan Al-rikkaita peliittejä) ja amfiboliitteja. Reiän loppuosa on amfiboliitteja, joiden joukossa on asultaan tuffimaisia, koostumukseltaan komatiittisia kiviä.

Kun tässä reiässä (R321) ei kohtuullisessa syvyydessä päästy yhtenäiseen granofyyriin, kairattiin sen edestä samaan suuntaan reikä R322. Tässä reiässä kivi oli pääasiassa homogeenista amfiboliittia, jossa alaosassa oli paikoin raitaisia tuffiittimaisia osia ja lopussa mantelikiveä. N. 88 m:ssä oli välikerros (?) vaaleaa, sarvivälkepitoista kiveä (arkoosi tai hapan vulkaniitti), välillä 92.30 – 93.00 m komatiittimainen amfiboli(-biotiti)kivi. Amfiboliitin alaosasta homogeenisesta kivistä on REE-analyysi; REE-jakauma vastaa 2.45 Ga ikäisiä Keski-Lapin basaltteja (Eero Hanski, suullinen): La n. 45-kertainen kondriittiin verrattuna, LREE on melko jyrkästi laskeva, HREE loivasti laskeva, eikä Eu-anomaliaa ole mihinkään suuntaan. Kyseessä on ilmeisesti granofyyrin päällä oleva basalttiyksikkö, joka on rapakallionäytteissä yleinen Koitelaisen koillispuolella. Terä jäi kiinni 112.50 m:ssä, terä ja kalvain jäivät reikään, eikä reikää voitu jatkaa. Upottavan suon takia ei edestä voitu kairausta jatkaa uudella reiällä.

### *Kaitaselkä*

Kaitaselässä pyrittiin kevättalvella 1999 lävistämään Koitelaisen intruusion ylimmän yksikön, granofyyrin ja sen katon kontakti alueella, josta oli rapakallionäytteinä saatu Cr-rikkaita, vielä sulamatonta granaattia sisältävää granofyyria (Mutanen, 1977, 1989, 1997). Täällä intruusion katon kulku kääntyy kartalla pohjoisesta luoteiseen, lännempänä Kaitaselässä länteen. Granofyyri (ja kattokontakti) painuu loivasti (näiden kairauksien mukaan 30° kaateella) itään – koilliseen. Kauempana lännessä profiilin jatkeella on koko laajan Kaitaselän alueella rakkoina granofyyria (joista ensimmäiset ikäykset, 2.39 Ga). Reikäprofiilin takana (idässä), intruusion päällä, on Al-rikkaita liuskeita, joista lähimmät paljastumat ovat Viuvalo-ojan varressa; siitä itään on koko Rovapäässä paljastumina, kalliorakkoina ja rakkoina loivasti itään päin kaatuvaa Al-liusketta. Tämä liuske on Keski-Lapille tyypillisiä Cr-rikkaita Al-liuskeita, joista korkeimmat Rovapäältä analysoidut näytteet sisälsivät 1200 ppm Cr (Mutanen, 1997, s. 116).

Kairausprofiilin pituus on n. 700 m, ja se kulki idästä länteen likimain linjalla x - 7530.250; länsipäässä linja ”taipui” pohjoiseen siten, että läntisin reikä (R398) oli tasolla x-7530.290. Reikänumerot ovat R395-R399 idästä länteen, kuitenkin siten, että läntisin reikä oli R398 ja R399 kairattiin R396:n ja R397:n väliin. Kairaussuunta oli tasan länteen ja kairauskulma 60°. Kairausyvytydet vaihtelivat välillä 22.85 – 106.75 m, yhteensä kairattiin 275.15 m. Syvin (106.75 m) oli itäisin reikä R395, muuten syvyydet olivat alle 80 m. Maakairausyvytydet vaihtelivat välillä 6.0 – 15.1 m.

Profiilin itäisin reikä (R395) lävisti alussa (45.43 m:iin asti) Al-rikkaita peliittejä, joissa oli välikerroksina granofyyria muistuttavia liuskeisia ”kiillearkooseja”, ”arkooseja” ja albitiitteja. Al-liuskeiden Cr-pitoisuus on korkea, 200-300 ppm, mikä on 2-3 kertaa fanerotsoisten peliittien pitoisuus. Tämän jälkeen tulee vuorottelevia amfiboliitteja, metagabroja, Al-rikkaita peliittejä, muskoviitti-kloriittikiilleliuskeita ja lopussa yli 10 m karbonaattikiilleliusketta. Amfiboliitteihin liittyy Cr-Ni-rikkaita komatiittisia osia. Merkittäviä arvometallipitoisuuksia ei ollut, vain komatiitteihin liittyi lievästi kohonnut Pd (max. 9 ppb). Tämän edestä kairatussa R396:ssa oli samantapainen vuorotteleva paketti liuskeita ja amfiboliitteja ja niihin liittyviä komatiittisia osia. Välillä 51.90 – 55.10 m (3.2 m) oli epäpuhdas dolomiittinen karbonaattikivi (sedimenttinen kalkkikivi?). Arvometallipitoisuudet olivat mitättömiä. Profiilin seuraavakaan reikä (R399) ei yltänyt granofyyriin, vaan se lävisti komatiittisia kiviä, amfiboliitteja ja kiilleliuskeita. Välillä 23.92 – 31.40 oli kalkkikivihornfelsiä (diopsidi-plagioklaasikarsi) ja epäpuhdasta kalkkikiveä. Hornfelsiytyminen ilmentää intruusion läheisyyttä, ja granofyyrin kontakti sijaitseekin tämän reiän ja 85 m eteen kairatun R397:n välissä. Varsinaista kontaktilävistystä ei näissä lyhyissä rei'issä onnistuttu saamaan. Granofyyrin pilsteisyydestä päätellen (R397, R398) kontaktin kaade on n. 30 astetta itään. Läntisimmän reiän (R398) alussa oli 0.7 m pienirakeista harmaata hornfelsiä (metahornfelsiä), ja samantapaista oli vielä 15 m:n paikkeilla. Ilmeisestikin nämä ovat sivukiviksenoliitteja. Granofyyrit ovat pilsteisiä, lähellä kattoa (idässä) muodostumalle tyypillisesti harmaita, pienirakeisia, epämagneettisia plagioklaasifyyrisiä kiviä. Länteen (syvemmälle) mentäessä raekoko kasvaa nopeasti syväkivimäiseksi, kiven väri on punertavanharmaa ja kivi sisältää magnetiittia (R398). Alkuperäisten kumulusfaasien (plagioklaasi, magnetiitti, apatiitti, mahdollisesti fayaliitti, Fe-rikas pyrokseeni ja sulfidisula) ja kevyemmän jäännössulan erottuminen näkyy siten, että syvemmälle mentäessä granofyyrissa kasvavat Ti, Al, Mg, Al, Ca, P, V, Cr ja Cu, ja vähenevät K ja Ba. Yläosat ovat hiukan SiO<sub>2</sub>-rikkaampia (67.0 – 70.4 %, alempana vastaavasti yleensä 64 – 68.5 %). Metamorfoosissa ”mobiilien” alkaliainepitoisuus ja Na/K suhteet vaihtelevat voimakkaasti. Granofyyrisula ei vastaa minimigraniittisulaa eikä muutenkaan mitään normaalia eruptiivikivikoostumusta. Granofyyreille on tyypillistä (happamille magmakiville) korkea TiO<sub>2</sub> (0.7 – 1.1 %), FeO(tot) (6.6 – 9.3 %), MgO (yläosassa n. 0.3 %, alempana 0.7 – 1.8 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.14 – 0.32), V (100 – 150 ppm), Cr (20- 60 ppm, hornfelsimurskaleiden yhteydessä jopa 320 ppm), Cl (400 – 1900 ppm) ja Sr (jopa 250 ppm). Ksenoliittiainekseen liittyy kohonneita Cu-pitoisuuksia (R398:ssa välillä 13.05 – 18.25 Cu 200 – 690 ppm) ja hiukan anomaalinen Pd (max. 13 ppb).

Hornfelsiytyneitä sivukiviä ja ksenoliitteja lukuunottamatta saatiin POKA-kairauksella hyvin vähän tietoa Koitelaisen yläosan kontaktisuhteista. Kemin-Penikkain alueella intruusion yläosa on vaihtelevalle syvyydelle erodoitunut, mutta Koitelaisessa (ja Akanvaarassa) ei pre-Svekokarjalaisesta eroosiosta ole merkkejä. Siten intruusion päällä olevat sedimenttiset ja vulkaaniset kivet muodostavat Koitelaisen intruusiota vanhemman katon. Sekä Koitelaisessa että Akanvaarassa on kerrossarjassa ksenoliitteina refraktoreja vulkaniitteja (basalteja, komatiitteja, peliittihornfelseja; granofyyreissa on molemmissa intruusioissa myös happamia vulkaniitteja), jotka kuuluivat intruusion sulattamaan kattoon. Happamien vulkaniittien säilyminen osittain sulamattomana johtuu siitä, että katon sulaminen jatkui vielä sen jälkeen on intruusion emäksinen osa oli kokonaan kiteytynyt (ks. Mutanen, 1997). Kerrosintruusioille tyypillisesti granofyyriyksiköstä lähtee alaspäin

granofyyrijuonia (backveining), joita on Koitelaisessa Koitelaisenvosilla, Luirojoella ja Iso Vaiskonselässä.

Syväkairauksen raportit, Kivivaara:

M19/52/3732/98/R321 (analyysitilaus no. 72484)

M19/52/3732/98/R322 (analyysitilaus no. 72483)

Syväkairauksen raportit, Kaitaselkä:

M19/52/3741/99/R395 (analyysitilaus no. 72568)

M19/52/3741/99/R396 (analyysitilaus no. 72571)

M19/52/3741/99/R397 (analyysitilaus no. 72230)

M19/52/3741/99/R398 (analyysitilaus no. 72231)

M19/52/3741/99/R399 (analyysitilaus no. 72585)

### **Akanvaara, Savukoski (kl. 3644)**

Akanvaaran malmitutkimukset on selostettu tutkimusraportissa (Mutanen, 1998). Raportissa ei käsitelty keväällä 1998 valmistunutta analyysiaineistoa.

Magnetiittigabron alaosan läpi jalkapuolen anortosiitteihin yltäneestä reiästä R405 tehtiin 35 ICP-MS-analyysia (menetelmä 308M), joissa analysoitiin REE, Y, Sc, Th ja U. Magnetiittigabron alaraja on merkittävä reversaali, joka XRF-analyyseissa näkyy esimerkiksi jalkapuolen kivien korkeampana Zr-pitoisuutena. Sama piirre, ja muutamia yllätyksiä, tuli näkyviin REE-analyyseissa. Jalkapuolen anortosiittien Th on n. 4-kertainen päällä oleviin gabroihiin verrattuna. Magnetiittigabrossa Sc kasvaa ylöspäin, 45.80 m:ssä hyppäyksellisesti. Sc-kasvu johtuu sekä pyrokseeni/magnetiitti –suhteen kasvusta että pyrokseeni/plagioklaasi –suhteen kasvusta. Ylimmissä analysoiduissa kivissä tot-Sc on 43 – 44 ppm. Kondriittinormalisoiduissa REE-kuvaajissa reversaali ilmenee siinä, että tot-REE on alapuolella n. kaksinkertainen, ja REE-pitoisuus kasvaa alaspäin. Hiukan merkillistä on, että magnetiittigabroissa on selvä positiivinen Eu-anomalia (ja negatiivinen Sm-anomalia), kun taas anortosiiteissa ei ole positiivista Eu-anomaliaa. Negatiivinen Sm-anomalia on anortosiiteissa hyvin heikko. Kokonaiskuvassa LREE ovat rikastuneet, mutta HREE osa (välillä Gd – Lu) on melko tasainen. Näyttää siltä, että tot-REE-rikastuneissa kivissä myös HREE-osuus on jyrkemmin laskeva kuin REE-köyhemmissä. Kaikki tämä, yhdessä muiden reversaaliin liittyvien koostumussuhteiden kanssa, viittaa siihen, että jalkapuolen anortosiitit eivät ole magman omista, ”vanhoista” aineksista koottuja plagioklaasikumulaatteja, vaan ovat syntyneet sellaisen aineksen kontaminaation vaikutuksesta, jossa REE-jakauma ei ollut Eu-fraktioitunut. Tällainen aines olisi sulaneista sedimenteistä yli jäänyt, refraktori Al-kontaminantti, joka kombinoi happaman anatektisen sulan Na-Ca:n ja intruusion sulan Ca:n kanssa tuottaen plagioklaasia. On merkittävää, että anortosiiteissa Ca ei ole korkeampi kuin magnetiittigabroissa, mutta Na on selvästi korkeampi, noin kaksinkertainen. Anortosiiteissa normatiivinen plagioklaasi on siis paljon Ab-rikkaampi.

Oulun yliopiston teknisessä tiedekunnassa on aloitettu tutkimuksia Tuorelehdon kromitiittikerroksen kromiittirikasteiden pelkistymisestä (Vatanen, 1998).

Kartoitushavainnot: TM-99-40 -- 41  
Analyysitilaus: 50778

### **Lehtomaa-Kieskisjärvi, Salla (kl. 4614)**

Tutkimustulokset on esitetty valtausraportissa (Mutanen, 2002d).

### **Kilikka, Keminmaa (kl. 2544)**

Penikkain intruusion alapuolella olevaa ns. Loljun (Loljunmaan) gabrojuonta voi seurata pitkälle (n. 12 km) itäänpäin arkeaisen pohjagneissin alueella. Jo 1970-luvulla syntyi ajatus, että tämä juoni on Penikkain intruusion tulokanava. Ajatuksen testasi gravimetrisillä profiileilla Seppo Elo (1979). Tulokset tukevat tulokanavahypoteesia. Kohdassa, jossa juoni näyttää yhtyvän Penikkain intruusion alaosaan, on intruusion pohjalla syvennys, joka Penikkain intruusion rakenteessa näyttää samanlaiselta kuin Elijärven intruusion painanne, johon sijoittuvat paksuimmat kromimalmit. Tätä mahdollisuutta testattiin Kilikassa v. 1999 viidellä lyhyellä POKA-reiällä (R301 – R305). Reikien syvyydet olivat 20.00 – 117.70 m, yhteispituus 286.65 m.

Reiät kairattiin Penikkain intruusion pohjapainanteeseen siten, että ne yltaisivät alimpien ultramafisten kumulaattien läpi jalkapuolen granitoideihin. Reiät R301 ja R302 lähtivät suoraan granitoideista ja ne lopetettiin pian. Reikä R303 lävisti erittäin voimakkaasti muuttuneita ja kontaminoituneita metapyrokseeniitteja, joissa on kohonnut Cr, Ni, Cu, joskus Mo. Reiän lopussa on biotiittikiviä joissa on hyvinkin korkeina pitoisuuksina ”graniittisia” alkuaineita: Be (1.3 – 1.4 ppm), La (161 – 168 ppm), Li (69 – 75 ppm), P (1030 – 1490 ppm), Th (22 – 99 ppm), Y (17 – 20 ppm) ja Zn (369 – 406 ppm). Profiilissa peräkkäiset reiät R304 ja R305 kulkivat koko matkan metapyrokseeniitissa, R304:n lopussa on mikrogabroa. Ainoa osittain analysoitu reikä oli R303. Kromiittirikastumia ei tavattu.

Syväkairauksen raportit:

M52/2544/99/R301  
M52/2544/99/R302  
M52/2544/99/R303 (analyysitilaus no. 72583)  
M52/2544/99/R304  
M52/2544/99/R305

## ULTRAMAFISET PIIPUT

### **Pahakumpu ja Kuha, Ranua (kl. 3524)**

Kohteiden selvittely siirtyi hankkeen toiseen vaiheeseen.

Nämä ovat aikaisemmin tutkimattomia kohteita. POKA-kairauksilla selvitettiin pieniä voimakkaita magneettisia anomalioita.

Geofysikaaliset maastomittaukset tehtiin alkuvuodesta 2002. POKA-syväkairaukset tehtiin keväällä 2002.

Tarkemmin nämä raportoidaan hankkeen toisessa osassa.

XRD-mineraalimääritykset:

Pahakumpu, hornblendiitti, R164/15.35 m (lab. no. 7160): powelliitti (scheeliitti)

### **Aaltokangas, Ii (kl. 2533)**

Tämä on aikaisemmin tutkimaton kohde. Kyseessä on ultramafisesta, ilmeisesti piippumaisesta kappaleesta (intruusiosta) aiheutuva magneettinen ja siihen yhtyvä positiivinen gravimetrinen anomalia. Koska kohdetta päästiin kairaamaan vasta hankkeen toisessa vaiheessa (Magmatismi ja malminmuodostus II), eikä kairanreikämateriaalia ole mikroskooppisesti tutkittu eikä analysoitu, raportoidaan tämä kohde vasta seuraavan hankkeen loppuraportissa.

Magneettinen profiilikartta: Q22.23/253309/01/1

Gravimetrinen profiilikartta: Q21.1/2533.09/01/1

VLF R –profiilikartta: Q24.32/253309/01/1

Syväkairaukset: 24.9. – 9.10. 2002.

## APPINIITTI-INTRUUSIOT

### **Iso Paavolampi, Rovaniemen mlk (kl. 3622)**

Kohde on geofysikaalissa korkea- ja matalalentokartoilla näkyvä magneettinen anomalia, joka osuu pääosin lammen (Iso Paavolampi) alle. Aihetta on aikaisemmin laajemman alueen rakennetulkinnan osana käsitellyt T. Ruotoistenmäki (nimellä Niesi, Ruotoistenmäki, 1977. s. 50 – 52). Tuomo Manninen on tehnyt alueelle maastokäynnin, jossa anomalian aiheuttaja ei selvinnyt. Ennen kairausta tehtiin suunnitelluilla kairausprofiileilla tunnusteluluontoinen magneettinen mittaus. Magneettikentän taso on pikkupiirteissään vaihteleva.

Maastokäynneillä löysin appiniittilohkareita tien varresta lammen kaakkoispuolelta. Heti anomalian eteläreunaa vasten on suuria paljastumia biotiittigraniittia; tätä on myös anomalian pohjoispuolella. Kairanrei'issä appiniittia leikkaavat graniitti- ja graniittipegmatiittijuonet.

Kohteeseen kairattiin syksyllä 2001 viisi syväkairausreikää. Suurin osa reikäanalyseista on vielä saamatta.

Kyseessä on tyypillinen appiniitti-intruusio. Iso Paavolammen lisäksi on runsaasti kairaukseen perustuvaa tietoa Tainion kohteesta (ks. Väänänen, 2002), joka on moniosainen appiniitti-intruusio. Useita tähän tyyppiin kuuluvia intruusioita on tunnistettu Pellon – Rovaniemen maalaiskunnan – Kolarin alueella. Uuden hankkeen ohjelmassa on useiden todettujen ja epäiltyjen appiniittikohteiden maastomittaus ja syväkairaus. Appiniitit liittyvät alueellisesti ja mitä todennäköisimmin kausaalisesti laajaan (60 x 100 km) painovoiman positiiviseen Bouguer-anomaliaan. Anomalian syynä on kuoren keskiosiin tunkeutunut suuri emäksinen intruusiomassa, josta ainoat heijastumat nykyisessä maanpintaleikkauksessa ovat appiniitti-intruusiot sekä alueella esiintyvät emäksiset (appiniittiset ?) ja syeniittiset juonet.

Vastaavanlaiseen Bouguer-anomaliaan Pohjois-Ruotsissa Norrbottenissa, Suomen rajaan rajoittuvalla alueella, liittyy kuusi isompaa intruusiota, jotka kuvausten ja kivianalyysien mukaan ovat luonteeltaan appiniittisia.

Appiniitit niin Lapissa kuin muuallakin ovat post-orogeenisia (postkinemaattisia) intruusioita. Ryhmään kuuluvan Tainion intruusion zirkonin U-Pb-ikä on 1.792 Ga (Jukka Väänänen, suullinen tieto, 2002). Appiniitteihin liittyy tyypillisesti syeniittejä ja lamprofyyrijuonia ja lähes samanaikaisia graniitti- ja graniittipegmatiittijuonia.

Appiniitit ovat monessa suhteessa ”primitiivisten” (fraktioitumattomien) basalttien kaltaisia (esim. Iso Paavolammella MgO n. 6 %, FeO 7 – 12 %, Ni 100 ppm, Cr 300 ppm), mutta niissä on korkea K, P, Zr (Iso Paavolammella Zr on keskimäärin n. 180 ppm!) ja REE. Runsaan biotiittipitoisuuden takia kvartsipitoisetkin kivet saattavat olla oliviininormatiivisia. Yleensä kivet ovat täpärästi SiO<sub>2</sub>-kylläisiä. Havainnot pienirakeisista appiniittiautoliiteista viittaavat siihen että kiteytyminen on alkanut oliviinilla ja ortopyrokseenilla; myöhemmin on mukaan tullut augiitti ja plagioklaasi. Sarvivälkkeeseen, augiittiin ja apatiittiin sitoutuneen Ca:n takia normatiivinen plagioklaasi on andesiinia, modaalin jopa oligoklaasia. Appiniiteille on luonteenomaista tummien mineraalien (pyrokseenit, sarvivälke) taipumus esiintyä omamuotoisina saalisessa välimassassa. Tämä johtunee siitä, että varhaisten mineraalien likviduslämpötilat ovat paljon korkeampia kuin Na-K-P-rikkaan huokossulan kiteytymislämpötila, jota korkea volatiilipitoisuus vielä laskee.

Appiniittimagmoissa on ollut hyvin korkea ”volatiilien” pitoisuus (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, F, Cl, SO<sub>2</sub>). Volatiilit ovat kiteytymisen aikana kyllästyneet, on erottunut oma volatiileista rikas hydrotermi, jonka höyrynpaine on lopulta kasvanut paljon litostaattista painetta suuremmaksi (jopa 5 – 10 kb). Hapetusaste (happipaine) on tyypillisesti korkea, mutta se vaihtelee usein yhden ohuthieenkin puitteissa niin, että rinta rinnan esiintyy hapetusasteen suhteen kahdenlaista parageneesia. Vaikuttaa siltä, että magmaan olisi tullut emulsiona hyvin hapekasta eksoottista kontaminanttia, joka ei ole ehtinyt

tasapainottua magmaattisten mineraaliparageneesien kanssa. Aina esiintyy primaaria (magmaperäistä) karbonaattia.

Appiniitteihin liittyy yleisesti intrusiivi- ja räjähdysbreksioita. Yllättävää on että appiniittien malmigeologiaa ja malmimineralogialla ei ole nimeksikään tutkittu. Tätä on tarkoitus tehdä nykyisen hankkeen aikana tunnetuista ja löytyvistä kohteista. Appiniitteihin liittyy apatiittiaiheita ja suuriakin Cu-malmeja, vaikka näissä ei intrusioiden appiniittista luonnetta ole tunnistettu. Jo tähän mennessä on Lapin appiniittikohteista löytynyt kohonneita apatiittipitoisuuksia ja metallirikastumia (Pb, Zn, Mo). Myös joitakin Pt-anomaalisia (<40 ppb Pt) näytteitä on löytynyt.

Iso Paavolammen kohteessa ja myös Tainion intrusiossa (Jukka Väänänen, suullinen tieto, 2002) ovat tyypillisiä pienet, avoimet tai savimineraalien (saponiitti-montmorilloniitti) täyttämät kideontelot, joista Iso Paavolammella on identifioitu baryytti, kabasiitti, sepioliitti, kalsiitti ja montmorilloniitti. Muita tunnistettuja mineraalierikoisuuksia ovat allaniitti ja erikoinen fluoripitoinen Ca-K-Sr(-Ba)-alumiinisilikaatti.

Analyysi- ja hieaineistoa on saatu vasta hankkeen loputtua, ja useimmat analyysit puuttuvat vielä. Iso Paavolammen intrusiota ja muita appiniittikohteita käsitellään nykyisen hankkeen (alkoi 2002) aikana ja loputtua.

Kartoitushavainnot: TM-01-1 -- 7

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3622/01/R301 (analyysitilaus no. 63558)  
 M19/52/3622/01/R302 (analyysitilaus no. 63559)  
 M19/52/3622/01/R303 (analyysitilaus no. 63560)  
 M19/52/3622/01/R304 (analyysitilaus no. 63564)  
 M19/52/3622/01/R305 (analyysitilaus no. 63565)

XRD-mineraalimääryityksiä (ei lab. numeroa):

R301/173.26 m (kabasiitti)  
 R302/54.65 m (baryytti)  
 R302/156.80 m (sepioliitti, montmorilloniitti)  
 R303/157.28 m (montmorilloniitti, kvartsi)  
 R303/220.60 m (baryytti)  
 R305/140.22 m (kabasiitti)  
 R305/189.00 m (kabasiitti)

## LAMPROFYYYRIT

### Soidinmaa, Pudasjärvi (kl. 3514)

Soidinmaan kohteen (alaskiitit) POKA-kairauksissa lävistettiin rei'issä R302, R303 ja R307 kolme lamprofyyrijuonta (metalamprofyyreja). Juonien paksuuden kairauslävistyksissä vaihtelivat välillä 0.2 – 0.83 m. Lisäksi lävistettiin 0.65 m:n plagioklaasifyyrinen emäksinen juoni, jota Heikki Juopperi (suullinen tieto, 2002) pitää tyypillisenä Fe-toleiittina. Juonet leikkaavat terävin kontaktein granuliittifasieksessa tasapainottuneita tonaliittigneisejä. Juonet ovat granuliittimetamorfoosia nuorempia mutta ne ovat täysin metamorfoituneet myöhemmässä (1.9 Ga ?) alemman asteen metamorfoosissa.

Lamprofyyrit ovat alkujaan ultraemäksisiä tai ultraemäksisiä alkalisia lamprofyyreja. Ne koostuvat pääasiassa sekundaarista sarvivälkkeestä, jonkin verran on biotiittia, plagioklaasia, apatiittia ja sulfideja. Eri juonilävistyksissä koostumus vaihtelee: SiO<sub>2</sub> 40.9 – 48.7 %, MgO 8.68 – 14.3 %, TiO<sub>2</sub> 1.05 – 2.01 %, K<sub>2</sub>O 1.7 – 2.12 % (yleensä K>Na), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.255 – 0.391 %, FeO(tot) 8.25 – 13.66 %, Cr 251 – 807 ppm, Ni 159 – 572 ppm, Ba 388 – 926 ppm, Ce 35.4 – 134 ppm, Nb 13 – 26 ppm, Zr 135 – 224 ppm, S 590 – 870 ppm.

Soidinmaasta pohjoiseen olevilla alueilla on Heikki Juopperin (suullinen tieto, 2002) kairauksissa löytynyt muitakin lamprofyyrisiä kiviä. Pudasjärven lamprofyyrit saattavat liittyä samaan magmaattiseen vaiheeseen kuin Ranuan alueen alkalikivet, lamprofyyrijuonet ja lamprofyyriset intrusiivit.

Geofysikaaliset kartat:

Q22.23/3514 08/01/1

Q24.32/3514 08/01/1

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3514/01/R301 (analyysitilaus: 63555)

M52/3514/01/R303 (analyysitilaus 79181)

M52/3514/01/R307 (analyysitilaus 79181)

## ALKALIKIVITUTKIMUKSET

### Ranua (kl. 3524)

Ranuan tutkimukset alkoivat 1999 Simontaival-nimisessä kohteessa (ensimmäisissä geofysikaalisissa kartoissa myös nimellä ”Tolja” ja ”Lehto”) geologisilla maastotutkimuksilla ja geofysikaalisilla (magneettinen, sähköinen, painovoima) mittauksilla. Simontaival on aikaisemmin tutkimatonta kohde. Se on voimakas magneettinen anomalia; magneettinen anomaliakappale painuu etelälounaaseen.



Simontaival liittyy laajempaan (useita kymmeniä km<sup>2</sup>), magneettisella matalalentokartalla kohonneen intensiteetin kuviona erottuvaan alueeseen, jonka Ranuan kirkonkylän luoteispuolella katkaisee suuri pohjois-eteläsuuntainen siirros. Tämän vasenkätisen siirroksen itäpuolella on magneettisesti heterogeenisempi alue, jossa erottuu itäkoillinen-suuntaista juovaisuutta. Tämän alueen eteläraja on terävä ja se vaikuttaa primaarilta. Simontaival on tämän lohkon pohjoisosassa. Idässä lohko ilmeisesti rajoittuu siirrosvyöhykkeeseen. Läntinen lohko on magneettiselta tasoltaan korkeampi ja se on myös homogeenisempi. Se on siirtynyt pohjoiseen useita kilometrejä itäisen lohkon suhteen. Pohjoisessa Nuupaksen – Kokalmusojan alueella on kaksi pienempää siirrosten rajoittamaa lohkoa.

Alueella ei ole paljastumia. Magneettisen kuvion alueella oletetaan olevan samanlaisia dioriitteja joita tavataan isoinakin lohkaraina mm. Ranuan keskustassa. Itäisen lohkon pohjoisosassa Korkia-ahossa on sorakuopan pohjalla paljastunut vaaleata homogeenista dioriittista syväkiveä, jonka zirkonista tehty U-Pb-ikäys antoi tulokseksi 2.7 Ga (Mutanen & Huhma, 2003). Kivi poikkeaa näöltään selvästi alueen juovaisista pohjagneisseistä (esim. Kaitavaarassa ja Kuiva-Luolavaarassa), mutta paljastuman alue ei kuitenkaan täysin selvästi kuulu magneettiseen kuvioon. Koko alueen kohdalla on selvä positiivinen Bouguer-anomalia, n. 10 – 12 mGal, jonka keskiosa on eläinpuiston vaiheilla. Bouguer-anomalia sijoittuu osapuilleen magneettisen kuvion kohdalle, mutta maan pinnalla eläinpuiston alueella paljastumina näkyvät kivet tuskin ovat anomalian varsinainen syy. Bouguer-anomalian loivapiirteisyys viittaa siihen, että raskas anomaalinen kappale sijaitsee kuoressa syvemmillä.

Kesällä 1999 urakoitsija (Astrock Oy) teki pienialaisen painovoimamittauksen Simontaipaleen alueella ja mittasi lisäksi kaksi painovoimaprofiilia, toisen alueen itäisen lohkon poikki tietä pitkin kirkolta Simojärvelle päin, toisen tätä vastaan kohtisuoraan Toljasta Simojärven tielle. Näillä profiileilla painovoiman taso ja muutokset näytävät vastaavan magneettista anomaliakuviota.

Syksyllä 1999 Erkki Lanne teki ristikkäin kaksi seismistä kallionpintaluotauslinjaa Simontaival-kohteen yli. Lasketut maasyvyudet (n. 12 m) vastasivat hyvin myöhemmin kairauksessa todettuja.

Alustavan tiedon saamiseksi kairattiin Simontaipaleessa joulukuussa 1999 kaksi syväkairausreikää, R150 ja R151 (syvyudet 304.20 m ja 111.50 m, vastaavasti, yhteensä 415.70 m). Reikä R150 kairattiin painovoima-anomalimaksimista itään, R151 siitä n. 65 m pohjoiseen olevalla profiililla magneettisen maksimin läpi itään. Uuden hankkeen aikana keväällä 2002 on kairattu useita reikiä lisää, mutta niiden tulokset (hieet, analyysit) ovat vielä pääosin saamatta.

Magneettisen anomalian aiheuttaa magnetiittipitoinen albiitti-egiriinikivi ja magnetiittirikas alkaliperidotiitti. Painovoiman Bouguer-anomalia aiheutuu pääosin alkaliperidotiitista ja albiitti-egiriinikiven alla olevasta metagabrosta. Reikänäytteiden petrofysiikan perusteella kohteen kivissä on neljä päätyyppiä: 1) Magneettinen, verraten pienitiheysinen (2.75 – 2.90 g/cm<sup>3</sup>) albiitti-egiriinikivi, 2) epämagneettinen, suuritiheysinen (3.0 – 3.05 g/cm<sup>3</sup>) metagabro, 3) voimakkaasti magneettinen, suuritiheysinen (3.25 – 3.6 g/cm<sup>3</sup>) alkaliperidotiitti, ja 4) heikosti mutta jonkin

verran vaihtelevasti magneettinen, matalatiheksinen ( $2.65 - 2.7 \text{ g/cm}^3$ ) hapan gneissi. Albiitti-egiriinikivi, alkaliperidotiitti ja mahdollisesti metagabro kuuluvat alkalikompleksiin. Albiitti-egiriinikivi leikkaa metagabroa. Metagabron ja alkalikivien mahdolliseen geneettiseen yhteyteen viittaa, se, että albiitti-egiriinikiven alakontaktikivien ja alkaliperidotiitin REE-jakauma (tasaisesti LREE:stä HREE:een laskeva) muistuttaa metagabron jakaumaa.

Reiät lopetettiin happamaan granitoidiseen gneissiin, joka on alkalikivikompleksin sivukivenä idässä.

Albiitti-egiriinikiven päämineraalit, paljousjärjestyksessä, ovat: albiitti, egiriini (egiriiniaugiitti,  $\text{CaO}$  4.3 – 8.4 %), titaniitti, andradiitti, apatiitti (usein suuria granoblastiutuneita, magnetiitin reunustamia kiteitä), magnetiitti, ja sinkkivälke (isoja isometrisia rakeita, täysin raudaton  $\text{ZnS}$ !). Isoina rakeina on ”tavallisen” näköistä, usein polysynteettisesti kaksostunutta ilmeniittiä, joka on usein kokonaan muuttunut titaniitiksi. Joskus on magnetiitin kanssa tasapainossa olevaa pyrofaniittiä (koostumus melko lähellä päätejäsentä). Satunnaisesti on pieniä määriä karbonaattia, pyriittiä, pyrroitiittiä, kuparikiisua, markasiittiä, hematiittiä ja lyijyhohdetta (sulkeumina pyriitissä). Andradiittia esiintyy yleisesti euhedrisina rakeina ja juonimaisesti, R150:ssä 45 m:n alapuolella. Egiriini häviää n. 63 m:ssä ja samalla ilmaantuvat biotiitti ja tavallinen prismaattinen sarvivälke; näiden määrä lisääntyy alakontaktia kohti. Epidootti tulee mukaan n. 65.50 m:stä. Egiriinipitoisissa kivissä alkuperäiset isot laattamaiset albiittikiteet ovat täysin granuloituneet. Egiriinin hävittyä, n. 65.60 m:stä alkaen alakontaktiin asti albiitti on suurina (jopa 2 cm pitkinä) liistakkeina.

Albiitti-egiriinikivi on hyvin Na-rikas ( $\text{Na}_2\text{O}$  yleensä 10 – 11 %), Fe-rikas ( $\text{FeO}$  7 – 15 %), myös  $\text{P}_2\text{O}_5$  on kohonnut (yleensä 0.1 – 0.44 %. Kivessä on hyvin pieni  $\text{K}_2\text{O}$  (0.03 – 0.06 %),  $\text{MgO}$  (yl. 0.1 – 0.2 %), Sc (alle määritysrajan 0.5 ppm!), Cr (2 – 10 ppm), Ni (< 3 ppm), Sr (< 100ppm, usein < 30 ppm) ja Ba (yleensä < 50 ppm). Hivenalkuaineista ovat selvästi kohonneet Zr (max. 890 ppm), REE (max. Ce 76 ppm) ja Nb (84 – 553 ppm) Lävistyksen keskiosissa on hyvin pieni rikkipitoisuus. Reiän R150 alussa 20 m:iin asti on korkea Zn (0.17 – 0.22 %), samoissa näytteissä on kohonnut Pb (max. 71 ppm) ja Cd. Myös välillä 50.00 – 56.90 m on kohonnut Pb (29 – 53 ppm).

Alakontaktia vastaan olevassa, n. 4.5 m paksussa reunavyöhykkeessä on kohonnut K, Ba, Sr, Mg, Ca, Ti, Al, P, Mg, S, V, Co, Ni, Cu, La, Li ja vähentynyt Si, Na, Zr ja Nb.

Alkali-peridotiittien (R151) kivet ovat magnetiitti-ilmeniittirikkaita ja niissä on korkea apatiittipitoisuus. Yläosassa (25.45 m:iin asti) kivet ovat melagabroja ( $\text{Na}_2\text{O}$  2.5 – 2.85 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  n. 11 %). Näissä on vähemmän Fe-Ti-oksida (TiO<sub>2</sub> 3.7 – 4 %, FeOtot 14.5 – 15.5 %) mutta apatiittipitoisuus (3 – 4 %) on likimain sama kuin alla olevissa alkaliperidotiiteissa (1 – 4 %). Peridotiitin pohjalla on 5 m paksu apatiittirikas (5 – 7 %) osa. Melagabrot ovat vain hiukan MgO-köyhempää (7 – 7.3 % MgO) kuin peridotiitit (7.65 – 10.23 % MgO). Ultramafisiksi kiviksi MgO on hyvin pieni. Korkea FeOtot, apatiitti- ja Fe-Ti-oksidiipitoisuus aiheuttavat kuitenkin sen, että kivet ovat hyvin SiO<sub>2</sub>-köyhiä (gabroissa 38 – 39 %, peridotiiteissa 23.3 – 41 % SiO<sub>2</sub>). Peridotiitit ovat hyvin Ti-rikkaita; TiO<sub>2</sub>-pitoisuus vaihtelee välillä 5.4 – 11.0 %. Alakontaktia vasten on 0.6 m kiveä, jossa TiO<sub>2</sub> on vain 2.85 %.

Muita alkaliperidotiittien ominaispiirteitä ovat: matala Cr (yleensä > 20 ppm, usein < 10 ppm), korkea V (yleensä 700 – 1200 ppm, max. 1840 ppm), matala Ni (50 – 120 ppm) ja matala Ni/Co (n. 1, ylä- ja alaosassa <1), korkea Cu (yl. 800 – 2000 ppm, max. 2670 ppm), kohonnut Zn (200 – 300 ppm), Pb (max. 33 ppm), Ag (max. 5 ppm), As (10 – 25 ppm), Li (max. 62 ppm), Zr (max. 80 ppm), Nb (max. 33 ppm) ja ultramafiselle kiville korkeat REE. Jalometallipitoisuudet (Au, Pt, Pd) ovat hyvin pieniä. Alakontaktin Ti-köyhtyneessä kivessä on muuhun sarjaan verrattuna anomaalisen korkea Cr (253 ppm) ja Ni (170 ppm).

Melagabrojen päämineraalit ovat vihreä sarvivälke, plagioklaasi (albiitti), fluoriapatiitti, magnetiitti ja titaniitti. Alkuperäinen ilmeniitti on muuttunut kokonaan titaniitiksi. Sarvivälkkeessä on reliktejä augiittiytimiä. Vaihtelevia määriä on biotiittia, pistasiitti-epidoottia, karbonaattia ja borniittia. Kuperikiisua, digeniittiä (?) ja kovelliinia esiintyy joskus borniitin yhteydessä. Borniitin muuttumistuloksena on idaiittia. Tasaisesti jakautuneina, pyöreähköinä piroterakeina esiintyvä borniitti on ilmeisesti primaari, Cu-rikkaasta sulfidisulasta kiteytynyt mineraali. Sulfidisulassa Me/S on ollut korkea (n. 3/2).

Alkaliperidotiitin mineraalit ovat samat kuin melagabroissa, mutta modaalista plagioklaasia on vähän tai se puuttuu. Reliktiä augiittia esiintyy yleisesti, alaosissa augiitti on pitkälti säilynyt. Ilmeniittiä esiintyy yleisesti, mutta se on suureksi osaksi muuttunut titaniitiksi. Tyypillisiä ovat atollirakenteet, joissa keskuksena olevan magnetiitin ympärillä on leveä titaniittivyöhyke, ja tämän ulkoreunalla pienemmistä magnetiittirakeista koostuva kehä. Joskus löytyy myös korkean lämpötilan ilmenomagnetiittirakeita. Borniittirakeiden ohella on borniitti-kuperikiisurakeita; näissä bor/cp –suhde vaihtelee. Borniitista on löytynyt pieniä rakeita, jotka ovat mahdollisesti metallista hopeaa tai kongsbergiittia. Borniitin lisäksi on kuparihohdetta ja kovelliinia. Satunnaisesti löytyy molybdeniittia ja lyijyhohdetta (kansikuva). Lähellä alakontaktia on sekundaaria pyriittia ja markasiittia. Gneisseissä kontaktin alapuolella on n. 1.5 m:n matkalla albiitti-sarvivälke-epidoottikiviä, albiitti-sarvivälke-kloriittikiviä ja albiitti-biotiitti-sarvivälkekiviä. Gneissit ovat vaaleita raitaisia tonaliitteja, joissa on sarvivälkepitoisia ja amfiboliittisia raitoja.

REE-jakaumissa metagabrojen kuvaaja laskee LREE:stä HREE:iin loivasti ja tasaisesti (ilman E- ym. anomalioita), mutta se on hiukan kovera. Alkaliperidotiittien (ja melagabrojen) kuvaajat laskevat tasaisesti mutta ovat selvemmin koveria. Koveruus viittaa siihen, että näistä magmoista on jo fraktioitunut (kumuloitunut) jonkin verran apatiittia. Albiitti-egiriinikivillä REE-kuvaajat ovat jo voimakkaasti U:n muotoisia. Niissä LREE saattaa olla hyvin korkealla (La jopa 200-kertainen kondriittiin verrattuna), mutta joissakin näytteissä HREE-pää on samalla tasalla kuin La. ”Keskiraskaat” REE:t (Nd:sta Er:iin) ovat voimakkaasti köyhtyneet, joissakin näytteissä Eu-Gd-Tb-Dy ovat kondriittiin verrattuina rikastuneet vain 4-kertaisesti. On mielenkiintoista, että egiriini-albiittikiven apatiittirikas alin osa muistuttaa muodoltaan metagabron REE-kuvaajaa, se on vain enemmän köyhtynyt HREE:stä ja on koverampi. Kaikki tämä viittaa siihen, että egiriini-albiittikivet ovat fraktioitumissuhteessa alkaliperidotiittiin (edeltävä apatiitin fraktioituminen). Alkaliperidotiitit voisivat olla metagabroa koostumukseltaan vastaavan sulan kumulaatteja (kumulusfaaseina Cu-sulfidisula, apatiitti, titanomagnetiitti, oliviini ja augiitti).

Alkalikompleksin taloudellisesti mielenkiintoisia mineraaleja ja metalleja ovat apatiitti, Ti, Cu, Nb ja Ag. Lähimpänä ”kannattavia” pitoisuuksia on apatiitilla ja Cu:lla. Ti-pitoisuudet ovat sinänsä korkeita, mutta ilmeniitti on, ainakin tähän mennessä kairatuissa ja tutkituissa osissa, suureksi osaksi muuttunut titaniitiksi.

Kairauksia Simontaipaleessa on jatkettu keväällä 2002, mutta rei’istä ei ole vielä paljoakaan valmiita tuloksia. Joka tapauksessa näyttää, että alkalikivikompleksi ulottuu etelässä, lännessä ja luoteessa kairatun alueen ulkopuolelle.

Kartoitushavainnot: TM-99-1 – 6, TM-99-33

Ikäysnäytteet: TM-99-33

R172/72.00- 74.00 m ja 74.00-76.00 m (ei vielä A-numeroa).

Geofysikaaliset kartat:

Q22.23/3524 05/99/1

Q24.32/3524 05/99/1

Q24.32/3524 05/99/1

Q21.1/3524 05/01/1

Q22.23/3524 05/02/1

Q24.32/3524 05/02/1

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3524/99/R150 (analyysitilaus no. 63551, 72586, 78888)

M19/52/3524/99/R151 (analyysitilaus no. 72587, 79424)

Mikroanalyysijä hieistä, R150 (GTK/Bo Johanson, Lassi Pakkanen):

Apatiitti 21 kpl (hie 41.36 m)

Egiriini(-augiitti) 26 kpl (hieet 10.72 m, 16.72 m ja 53.26 m)

Andradiitti 35 kpl (hieet 53.26 m ja 57.18 m)

Albiitti 1 kpl (hie 57.18 m)

(mikroanalyysit ovat levykkeellä ”Ranua”-kansiossa, toinen: fileTM1Jan03.xls)

R150:

Zirkoni

R172 (GTK, Lassi Pakkanen):

Titaniitti

Pyrofaniitti

Sinkkivälke

Petrofysiikka kairansydännäytteistä:

R150 ja R151: Tiheys, magn. susceptibiliteetti, magn. remanenssi, Q-arvo

XRD-mineraalimäärytyksiä:

R171/13.30 m (lab. no. 7161): hydrogrossulaari

R171/37.11 m (lab. no. 7162): albiitti

R172/24.79 m (lab. no. 7163): lyijyhohde

R171/24.79 m (lab. no. 7164): lyijyhohde (+epidootti?)

R172/72.95 m (lab. no. 7165): zirkoni (keskus osaksi metamiktinen).

### **Lampsijärvi, Pello (kl. 2641)**

Kohde on juonimaiseen muodostumaan viittaava magneettinen anomalia (kuva 4). Anomalian suunta on pohjois-eteläinen, ja sen keskellä on taitos. Pohjoisosassa ei syvien maapeitteiden (yli 45 m) takia POKA-kairauksessa päästy toisella yritykselläkään kallioon. Anomalian distaalipuolella (jäätikön kulun suhteen) on reheviä lettomaisia soita ja korpia. Lampsijärven kylällä kairattiin syksyllä 2001 anomaliaan 30.90 m syvä pystyreikä. Kivet ovat massamaisia punertavia sarvivälkekvartsisyeniittejä (kvartsia 13.5 vol-%) ja sarvivälkegraniitteja. Vihreä sarvivälke on primaari. Muut mineraalit ovat mikrokliini, plagioklaasi ja biotiitti, vähemmän on apatiittia, titaniittia, karbonaattia, prehniittia, epidootia ja zirkonia. Plagioklaasin (epätasapainoisena) muuttumistuloksena on muskoviittia, biotiitin muuttumistuloksena kloriittia. Malmimineraaleja ja muita aksessorisia ovat magnetiitti, ilmeniitti, hematiitti, rutiili, pyriitti, kuparikiisu (jossa pyrroliittisulkeumia), lyijyhohde ja sinkkivälke (?). Erikseen on mainittava skapoliitti (varmistettu XRD:llä). Tämä muodostaa suuria, ilmeisesti magmasta kiteytyneitä oikokrysteja. Kahtaistaiton perusteella kyseessä on marialiitti. Kiven rakenteessa on erikoista se, että kvartsi esiintyy möykkyinä ja linsseinä, ja apatiitti, titaniitti ja zirkoni huomattavan suurina kiteinä. Titaniitti vaikuttaa sekin primaarilta. Huomionarvoista on lyijyhohteen esiintyminen. Analyysitietoja ei ole vielä saatu.

Syväkairauksen raportit:

M19/52/2641/01/R870 (analyysitilaus no. 63563)

XRD-mineraalimäärytyksiä:

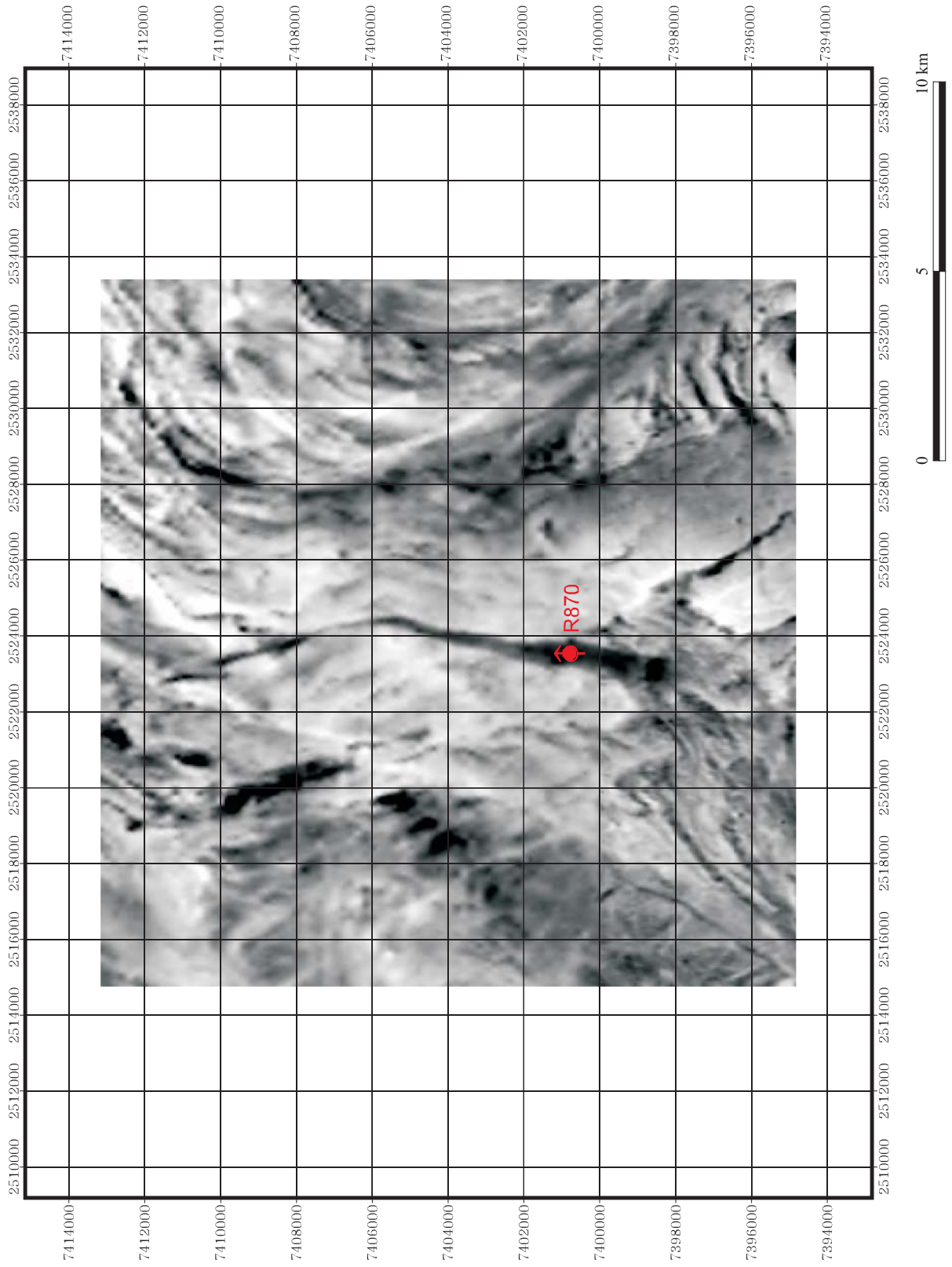
R870/29.85 m (skapoliitti)

### **PUDASJÄRVEN GRANULIITTIVYÖHYKE (PGB, kl. 3513, 3514)**

Syksyllä 1998 maastotöiden yhteydessä löytyi Pudasjärven länsi- ja luoteispuolelta laaja granulittivyöhyke (Pudasjärvi Granulite Belt, PGB), jossa on happamia granulitteja (näitä Pekka Tuisku nimittää enderbiiteiksi), emäksisiä granulitteja ("pyriboliitteja"), tonaliitteja, alaskiitteja. Näitä kiviä leikkaavat nuoremmat lamprofyri- ja Fe-tholeiittijuonet. Siuruan kylästä löytyi hyvin vanha trondhemiittigneissi, jonka zirkonin (bulk-zirkoni) ikä (Pb-Pb) on vähintään 3.3 Ga. Juuri tätä kirjoitettaessa on Hannu Huhma saanut Tukholmassa tehdyiksi zirkonin SIMS-tutkimukset. Niiden mukaan zirkonin Pb-Pb (207/206)-ikä on 3.5 Gy. Yhden zirkonin ydinosan ikä on 3.7 Gy.

# Lampsijärvi, Pello, kl 2641

## Magneettinen matalalento ja syväkairausreikä



Granuliittivyöhykkeen laajuutta ei vielä tiedetä. Pohjoisessa se ulottuu lähelle Ranuan kunnan rajaa, etelässä Oulu-Kuusamo –tien eteläpuolelle. Granuliittivyöhykkeen metamorfoosia käsittelee Katja Lalli (2002) pro gradu –tutkielmassaan, yleistä geologiaa ja ikäkysymyksiä esitellään julkaisuissa Huhma & Mutanen (2002) ja Mutanen & Huhma (2003).

Kartoitushavainnot: TM-98-17 – 24, TM-00-13 – 14 (analyysitilaus 74123)

Katja Lallin kartoitushavainnot (KALPEA).

Geofysikaaliset kartat:

Q22.23/351408/01/1

Q24.32/351408/01/1

Q21.1/351408/2001/1

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3514/01/R301 (analyysitilaus no: 63561, 63555, 71730)

M52/3514/01/R302 (analyysitilaus no: 79181)

M52/3514/01/R303 (analyysitilaus no 79181)

M52/3514/01/R304 (analyysitilaus no. 63562, 79181)

M52/3514/01/R305 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R306 (analyysitilaus no.79181)

M52/3514/01/R307 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R308 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R309 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R310

M52/3514/01/R311 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R312 (analyysitilaus no. 79181)

M52/3514/01/R314

## **Ikätutkimukset**

Julkaisut, ks. viiteluettelo: Huhma & Mutanen (2002) ja Mutanen & Huhma (2002).

## **Alaskiitit**

Kesäapulainen LuK Katja Lalli löysi Pudasjärven Aittojärveltä Soidinmaasta ojan pohjalta graniittipaljastuman, josta otetun näytteen (TM-00-13.1) analyysissa oli 0.2427 % Sn. Hieestä löytyi mikroproobilla pieniä kassiteriittirakeita, mutta niiden määrä on liian pieni selittämään korkeaa Sn-pitoisuutta. Mikroproobilla löytyi myös pieni Au-rae. Kallion pinnasta lähteneen POKA-reiän analyyseissa ei löytynyt tinaa. Graniitti on alaskiittinen. Se koostuu lähes kokonaan kvartsista ja pertiittisestä mikrokliinista, joten se ainakin muodollisesti on hypersolvusgraniitti. Hyvin vähän on voimakkaan punaista (götiitin tai hematiitin värjäämää) itsenäistä plagioklaasia ja

granaattia (jonka reaktioreunuksena biotiittia), lisäksi muskoviittia, zirkonia, rutiilia, magnetiittia ja hematiittia. Geokemiallisesti alaskiitti on hyvin pitkälle fraktioitunut: hyvin matalat MgO (100 ppm), FeOt (0.81 %), CaO (0.58 %), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (50 ppm), TiO<sub>2</sub> (190 ppm), MnO (430 ppm), S (< 10 ppm), Cr (15 ppm), Ni (3.8 ppm) ja Sr (18 ppm). Nb/Ta on matala (1.26). REE-jakauma on hyvin erikoinen: normalisoidut arvot laskevat tasaisesti (kuperasti) LREE:stä Eu:iin, josta arvot taas samalla tavalla (kuperasti) nousevat HREE:iin. Käyrä on muodoltaan sarvijaakon sarvien mallinen (timberman alaskite, Mutanen & Huhma, 2002). Samantyyppinen REE-jakauma mutta vielä HREE-rikkaampi (n. 100 kertaa kondriitti-arvo) on granuliitteja leikkaavassa graniittijuonessa Isokummussa (Lalli, 2002). Kirjallisuudesta olen löytänyt vain yhden tapauksen vastaavanlaisesta REE-käyrästä, ja silloin kyseessä oli granuliittisen kiven restiitti.

Kohteessa kairattiin profiileilla useita POKA-reikiä, jotka lävistivät trondhjemiittitonaliittisarjan kiviä, emäksisiä vulkaniitteja ja alaskiitteja. Kohonneita Sn-pitoisuuksia ei kuitenkaan tavattu.

## **METEORIKRAATTERIT (ASTROBLEEMIT)**

Maapallolla kartalle merkittyjen, tunnettujen meteorikraatterien alueellinen levinneisyys kuvastaa pelkästään koulutettujen geologien alueellista tiheyttä. Läntisessäkin maailmassa kraattereita on tiheimmin seuduilla (erityisesti Itämeren eteläosaa ympäröivissä maissa), joissa kraatterien tutkimuksella on pisimmät perinteet. Erityisesti Saksassa tiheään asutulla alueella sijaitsevan Ries-kraatterin tutkimuksilla on ollut selvä katalyyttinen vaikutus Keski- ja Pohjois-Euroopassa. Jostain syystä meteoriittikraatterien ja muiden meteori-impakteihin liittyvien ilmiöiden tutkimus ei ole päässyt geologian valtavirtaan, mikä näkyy esimerkiksi yliopistollisissa oppikirjoissa käsitellyistä aiheista. Mutta eipä ole vielä kulunut neljäkymmentä vuottakaan siitä, kun korkeasti oppinut auktoriteetti luonnehti Sudburyn meteorikraatteritulkinnan esittänyttä Robert Dietziä sanalla ”absolute idiot”. Sen jälkeen on meteorikraatteritutkimuksen arvostus tältä pohjatasolta jonkin verran noussut. Dietzin tapaus on eräs esimerkki monista, joissa tieteen kääntyminen uuteen suuntaan on ollut idioottivetoista.

Meteorien iskukohteissa tapahtuu kivien särkymistä ja sulamista. Impaktisulakiville on usein annettu paikallisia nimiä, kuten tagamiitti. Meillä Lappajärven sulakiven omalaatuisuus ilmenee sille aikoinaan annetussa nimessä kärnäiitti. Kiven alkuperästä ei nimeä annettaessa ollut tietoa, mutta ymmärrettiin kiven kuitenkin poikkeavan normaalista happamasta laavakivestä. Suurissa impakteissa osuma-alueella manttelin nopea kohoaminen (rebound) ja paineen pieneneminen johtaa sulamiseen (decompression melting; Jones & al., 2002). On arvioitu että hyvin suuri impakti voi synnyttää jopa 6 milj. km<sup>3</sup> basalttista sulaa, joka purkautuu hyvin nopeasti. Näin voisivat selittyä sellaiset laakiobasalttipurkaukset, jotka eivät liity tunnistettaviin hot spot -rakenteisiin (op. cit.).

Etelä-Suomessa linjan Lappajärvi-Jänisjärvi eteläpuolelta on löydetty 7-8 impaktikraatteria. Mikäli kraatteritiheys olisi ko. linjan pohjoispuolella samantapainen, pitäisi Pohjois-Suomessa olla n. 20 – 30 kraatteria tai niiden kulunutta



juuriosaa (astrobleemia), mutta toistaiseksi ainoa varmennettu tapaus on Taivalkosken Saarijärvi (ks. Öhman, 2002). Ei ole mitään syytä, ettei kraattereita täälläkin esiintyisi. Koska kraatterien kivet ovat tyypillisesti särkyneitä ja myöhemmin voimakkaasti rapautuneita, kraatterit esiintyvät Pohjois-Suomessa todennäköisesti suoalueilla. Ne eivät välttämättä näy järvien muodoissa, niin kuin ne eivät yleensä näy Etelä-Suomessakaan. Viitteet kraattereista ovat topografisia ja aerogeofysikaalisia (ks. Mutanen, 2000b). Varmasti tullaan löytämään myös paleokraattereita ja impaktien ejektakerroksia, jotka ovat todennäköisesti olleet mukana metamorfoosissa ja poimutuksessa. Näissä tunnistamisen ja varman todistamisen tekee vaikeammaksi se, että metamorfoosissa kvartsin shokkilamellit uudelleenkiteytymisessä häviävät. Tyypillisesti silloin shokkilamellit näkyvät korkeintaan sulkeumajonoina (esim. Vredefort). Tunnettuja paleokraattereita ovat mm. Vredefort ja Sudbury. Löytyy yhä lisää todisteita siitä, että Petsamon rengasmaisen suurirakenteen (n. 1.97 Ga) on paleokraatteri (ks. Mutanen, 2000a). Vanhoja meteori-iskuihin liittyviä ejektakerroksia on löytynyt mm. Australiasta, Etelä-Afrikasta ja Grönlannista. Grönlannin kerros voisi ikänsä ja ejektan rakennepiirteiden puolesta liittyä Petsamon suurimpaktiin.

Aiheeseen liittyviä kartoitushavaintoja: TM-99-42, TM-00-2 – 9, TM-00-12, TM-02-2 – 03

### **Sakkala-aapa, Pelkosenniemi-Savukoski (kl. 3731, 3642)**

Tämä on topografisesti ja aerogeofysikaalisesti vahvin kraatteriehdokas (ks. Mutanen, 2000b). Tein kesällä 1999 alueella maastotutkimuksia ja moreeninäytteenottoa. Moreenista on tehty alustavaa raskasmineraaliseparointia (P. Kouri). Näytteistä yritettiin löytää impaktitimanttia, toistaiseksi ilman menestystä. Oletetun keskuskohouman alueella on paljastumina metasedimenttejä ja emäksisiä kiviä; tätä kiertävät suoalueet, joiden kohdalla on kehämäinen vyöhyke rapaumiin viittaavia johdeanomaliaita. Rakenteen länsirajalla on voimakas pohjois-eteläinen siirrosvyöhyke. Rakenteen itälaidalta länsiluoteeseen ulottuu useita kilometrejä pitkä magneettinen ”nolla-alue”, jonka kohdalla on voimakas (n. 1 mGal) Bouguer-minimi. Alue leikkaa jyrkällä kulmalla liuskeiden kulkua, mutta se ei ole siirrosvyöhyke. Syksyllä 2000 tähän magneettiseen minimiin kairattiin yksi pystyreikä Kuissuvannossa, mutta minimille ei saatu selvää selitystä.

Sakkala-aapa on kraatterimainen, pyöreä ja hyvin tasainen, n. 12 km:n läpimittainen suoalue. Idässä, pohjoisessa ja lännessä sitä reunustavat korkeat tunturi- ja vaaramaastot. Panu Lintinen on tehnyt kaoliinikairauksia alueen länsiosassa. Olen tutkinut joitakin hieitä kaoliinien alapuolella olevista, osittain rapautuneista kivistä, mutta en löytänyt kvartsin shokkilamelleja.

Kartoitushavainnot:

TM-99-7 – 32, TM-99-34 – 39, TM-00-11

Painovoimamittaustaprofiileja:

Lämsänaapa, Kuissuvanto. Niva (Nivankylä), mitattu 13.4. – 6.9.2000 (Q21.1/373108/00), yhteensä n. 21 km.

Reikäraportit:

M19/52/3731/00/R301 (analyysitilaus no. 78848)

### **Petsamo (Venäjä)**

Pidin aiheesta esitelmän Lappajärvellä Meteorikraatterikongressissa 2000. Pilgujärven jakson paksun emäksisen vulkaniittiyksikön alaosassa basalttien ja ferropikriittien seassa on jo kauan tunnettu merkillinen teräväräinen kerros, jonka paksuus on yleensä 4-9 m. Kivi on hyvin hapan ( $\text{SiO}_2$  jopa yli 80 %), ja se on tulkittu ultrahappamaksi laavaksi tai tuffiksi ("silisiitti"). 1990-luvun alussa löysin Eero Hanskin hieistä kvartsista shokkilamelleja, joiden kide-tieteellinen suunta (1013) osoittaa shokkipaineita. Tällaisia lamelleja (PDF = planar deformation features) syntyy vain ydinräjäytyksissä ja meteori-iskuissa. Impaktitodisteiden, petrografian ja koostumuksen perusteella olen nimittänyt kiveä sueviitti-metatektiitiksi. Meta-etuliite johtuu siitä, että tektiittimäinen lasi on devitriifioitunut. Jatkossa tarkoitukseni on separoida kivistä coesiittia ja impaktitimanttia; mikrotimanttien olemassaolosta on jo epäsuoria viitteitä. Pekka Tuisku (Oulun yliopisto) jatkaa parhaillaan shokkilamellien suuntauksien määrittämistä U-pöydällä. Hiljattain on syntynyt Petsamon rakennetta koskeva epämuodollinen tutkimusyhteistyö London University Collegen tutkijoiden kanssa (A. Jones, R. Price).

Eero Hanskilta käyttööni saamista näytteistä on tehty lisää hieitä. Näytteet on alun perin merkitty seuraavasti:

Soukerjärvi 5/91  
 Soukerjoki B  
 1833 Smolkin  
 Souker/Jer 3  
 Soukerjärvi 4/91

### **Elijoki, Salla-Kuusamo (kl. 4613, 4614)**

Kohde sijaitsee Sallan kunnan eteläosassa lähellä Venäjän rajaa, aiemmin tutkitusta Lehtomaan intruusiosta (Mutanen, 2002d) etelään. Alue on osaksi Oulangan kansallispuiston alueella, joten tutkimuksiin on haettu ja saatu asianmukaiset luvat. Kyseessä on 10-11 km:n läpimittainen magneettinen rengas, jonka keskellä on 6 km:n läpimittainen epämagneettinen, pyöreä alue. Tämän keskialueen kohdalla on voimakas painovoiman Bouguer-minimi. Rakenne voi olla paleo-impaktikraatteri, jossa keskialue olisi keskuskohouma. Sen heikosti magneettinen, kevyt massa edustaisi siten vihreäkivien alapuolelta nousseita happamia kuoren kiviä. Kevättalvella 2003 on tarkoitus mitata alueen yli pitkä painovoimaprofiili. Maastossa tehdyt lohkahavainnot viittaavat siihen, että keskusalueella on tunnettuun geologiseen karttakuvaan "sopimattomia" granitoideja.

### **Vuontisjärvi, Inari (kl. 4913)**

Tein alueella kenttätöitä kraatterin selvittämiseksi 1980-luvun puolivälissä. Tarkoitus oli löytää impaktibreksioita ja sulakiviä.

Vuontisjärvi erottuu ympäristön pikkupiirteisestä kallioisesta ja lohkaraisesta maastosta pyöreänä, laakeana alueena. Järviolueella ja laajalti sen ympärillä on paksut sora- ja hiekkapeitteet. Järven keskellä on jyrkkä syväne. Kevättalvella 2000 mitattiin järven keskikohdan poikki itä-länsisuuntainen magneettinen ja painovoimaprofiili (VLF ei jostain syystä toiminut). Järven kohdalla on n. 2 km leveä painovoimaminimi (0.5 mGal), joka tukee kraatteritulkintaa. Lopullinen varmistus vaatisi syväkairausa. Järveä ympäröiviltä kallioalueilta voisi löytyä särökartioita (shatter cones).

Gravimetrinen profiili Q21.1/491302/00/1

Magneettinen profiili Q22.23/491302/00/1

### **Kypäsjärvi, Ylitornio (kl 2632)**

Tämä rakenne erottuu magneettisessa matalalentokartassa 6 x 10 km:n laajuksena ”vaimennettuna” pyöreähkönä alueena, joka muistuttaa esim. Lappajärven magneettista karttakuvaa. Sen keskustassa pienellä alueella on voimakkaammin magneettinen anomaliarypäs, johon sattuu sähköisiä (Re, Im) anomalioita. Maastossa ei löydy todisteita meteoriittikraatterista. Alueen topografiassakaan ei ole mitään selvästi kraatteriin viittaavaa.

### **Mellajärvi, Ylitornio (kl. 2631)**

Magneettisella matalalentokartalla näkyy lähes täyden ympyrän muotoinen, halkaisijaltaan 15 – 20 km kehämäinen rakenne. Kehän ulkoreunalla Lalvikonmaan länsipuolella ja Kuusivaaran länsireunalla on paljastuneina merkillistä kvartsiittibreksiaa. Kyseessä on ilmeisesti yhtenäinen muodostuma. Kävin paikalla Vesa Perttusen kanssa 2001, ja myöhemmin syksyllä otimme Pauli Vuojärven kanssa räjäyttämällä näytteitä kahdesta kalliosta Lalvikonmaan länsipuolelta. Mikroskooppisesti breksiassa löytyy yleisesti isometrisiä, hauraita rakeita, jotka optisesti muistuttavat grafiittia. Mikroanalyysin mukaan mineraali koostuu pääasiassa hiilestä, lisäksi on Si ja S. Kyseessä on jonkinlainen tukkoliitti. Se voi olla timantin paramorfoosi. Grafiittia ei tästä löytynyt, sen sijaan toisessa paljastumassa oli grafiittia mutta tukkoliitti puuttui.

Breksia voi olla metamorfoitunut impaktibreksia. Asia vaatisi lisäselvityksiä.

### **Kostonjärvi, Taivalkoski (kl. 3543, 4521)**

Kostonjärven ympärillä on halkaisijaltaan 80 km:n rengasmaisen topografinen rakenne, jossa rengasharjanteet ja -painanteet vuorottelevat. Rakenteen lounaisosa on

topografisesti epäselvempi. Rakenne erottuu kraatterimaisena jo 1:1000000 – mittakaavaisella topografisella kartalla. Rakenteen ”häränsilmässä” Kostonjärven pohjassa on kairauksissa (Markku Iljinan hanke) tavattu pelkästään granitoidibreksioita. Breksioiden kvartsi on erittäin voimakkaasti deformatunut, mutta kvartsi on uudelleenkiteytynyt. Kuitenkin erottuu kvartsissa paikoin viivamaisia sulkeumajonoja, jotka saattavat edustaa uudelleenkiteytyneitä shokkilamelleja.

Järven ympäristössä on monin paikoin useita metrejä leveitä breksiajuonia. Parhaiten breksia on näkyvissä sorakuopan pohjalla Poroperällä, ja täällä breksiat ovat parhaiten säilyneitä. Breksioissa on kulmikkaita ja pyöristyneitä granitoidiklasteja mustassa iskoksessa. Iskos on kuitenkin melko hapanta, ja siinä on runsaasti kvartsia kristalloklasteina. Iskoksessa on merkkejä sulamisesta. Esiintymistavaltaan ja ulkonäöltään breksiajuonet ovat hyvin samanlaisia kuin Vredefortin pseudotakylittibreksiajuonet.

Rengasrakenteen koillisosasta löytyy breksioita jotka muistuttavat metasueviitteja. Näiden kivien kvartsille on tyypillistä samanlainen ”tektiittinen” päällekasvu kuin Petsamon sueviitti-metatektiitissä.

### **Arajärvi, Sodankylä (kl. 3732)**

Arajärven laakso käsittää itse Arajärven ja sen pohjoispuolisia suoalueita. Tätä syvää laaksoa ympäröivät vaarat. Laaksossa on laajoja, rapaumiin viittaavia matalalentogeofysikaalisia johdeanomaliaita. Aikoinaan järvellä tehty POKA-kairaus epäonnistui, eikä johteiden luonne ole vieläkään selvinnyt. Maastotutkimuksissa järven etelä- ja itäpuolella ei lohkarista ja kallioista löytynyt todisteita impaktikraatterista.

### **Muut mahdolliset impaktikraatterit ja paleokraatterit**

Alustavia maastotarkistuksia on tehty kohteissa, joissa lentogeofysiikan, topografian, kallioperähavaintojen tai lohkarelöytöjen perusteella on viitteitä impaktikraattereista tai –paleokraattereista. Tällaisia ovat mm. Korsatunturi (lentogeofysiikka), Tsohkkoaivi (breksioita) ja Souruaapa (lentogeofysiikka, topografia).

Iso Paavolammen appiniittiaiheen alustavissa maastotutkimuksissa löytyi lammen distaalipuolelta viisi lohkaretta (ja myöhemmin vielä yksi lohkar kaukaa kaakosta, Ylinampajärven pohjoispuolelta) merkillistä polymiktista breksiaa, joka koostui valtaosaltaan särmikkäistä tai pyöristyneistä klasteista (emäksisiä ja happamia laavoja, albiittidiabaaseja, grauvakkoja, kalkkikiviä, magnetiittirautamalmeja, joitakin punaisia jaspisklasteja). Magnetiittirautamalmikappaleita lukuun ottamatta klasteissa on vain hematiittia. Iskos on paljon happamampaa (runsaasti kvartsia ja maasälpiä) ja siinä on vain magnetiittia, omamuotoisina oktaedreina. Iskos on kiteytynyt selvästi pelkistävämmissä oloissa kuin mitä klastiaines edustaa. Tällainen pelkistyminen on tyypillinen piirre meteori-impakteissa (breksiat, sulat, tektiitit). Iskoksen kvartsissa on epäselviä viitteitä kvartsin shokkilamelleista. Lohkareet ovat lähtöisin Kittilästä ns. Sirkka-konglomeraattimuodostumasta (seuraavassa Sirkka-muodostuma). Kävin paikalla kesällä 2001 Vesa Kortelaisen opastamana. Sirkka-muodostuma poikkeaa

muista Lapin nuorista konglomeraateista mm. siten, että se on magneettinen (johtuu magnetiitista). Muodostuma on rengasmainen; Vesa Kortelainen käyttää rakenteesta nimeä ovoidi. Muodostuman alakontakti jalkapuolen arkoosikvartsiitteihin on hyvin terävä. Itse ”konglomeraatti” on 1 km:n paksuinen järjestymätön breksiapinkka; välikerroksia ilmaantuu vasta ylimmissä osissa (Vesa Kortelainen, suullinen tieto, 2001). Klasteissa on edustava kokoelma alueella esiintyvistä, breksiaa vanhemmista kivistä. Aluetta aikanaan tutkinut Kaj Lång piti ovoidia vulkaanisena kalderana. Ovoidin keskellä on syvä Bouguer-minimi. Muodostuman kivien metamorfoosiaste on hyvin matala. Se ansaitsee perusteellisemmän tutkimuksen.

## MUUT KOHTEET

### **Tuntsa (kl. 4713, 4714)**

Kohdetta on käsitelty valtausraportissa (Mutanen, 2002e).

Kartoitushavainnot: TM-98-2, TM-98-3, TM-98-5 -- 16

### **Rytiniva, Sodankylä (kl. 3714)**

Kohde on magneettinen anomalia jonka kyljessä on voimakas sähkömagneettinen johde. Se sijaitsee Yljoen länsipuolella Viiankiaavan kaakkoisreunalla, Puolakkavaarasta lounaaseen. Kohde kairattiin marraskuun lopulla 1998. Kairausprofiilin paikka varmistettiin geofysikaalisilla profiileilla (sähköinen ja magneettinen). Anomalian takaa lounaasta kairattiin luoteeseen profiilissa 5 reikää, yhteensä 737.70 m. Kairansydämistä analysoitiin lähes systemaattisesti alkuaineet menetelmillä 521U (Au, Pd) ja 511P, valikoiduista näytteistä tehtiin XRF-analyysit (175X) ja Se-Te-analyysit (511U). Näytteistä on runsaasti kiillotettuja ohuthieitä, jotka tutkin tarkasti.

Reikä R841 lävisti 75 – 90° kulmalla metasedimenttejä. Alussa oli 55.5 m:iin sulfidipitoisia (pyriitti ja monokliininen pyrrotiitti) mustaliuskeita, joissa on useita 0.3 – 2.5 m:n paksuisia kalkkikivivälikerroksia, alimpana 7.8 m:n paksuinen kalkkikivi. Näiden alla on kirjava sarja karsiliuskeita, sarvivälke-granaatti-karbonaattipitoisia karsipeliittejä ja sarvivälkeporfyroblastisia peliittejä 110.80 m:iin asti. Näiden alla on kordieriitti-stauroliitti-andalusiittikiilleliuskeita ja amfibolipeliittejä 123 m:iin. Tästä 141 m:iin on vulkaniittimaisia, albiittipitoisia serttejä, joissa oli pyrrotiittijuonia ja -kasumia ja mustaliuskevälikerroksia; edelleen karbonaatti-amfiboli-sulfidikiveä 143.25 m:iin. Tästä 161.30 m:iin on vaihteleva sarja serisiittipeliittejä, kloriittipeliittejä (usein grafiittipitoisia) ja sulfidipitoisia mustaliuskeita, 155 m:ssä on välikerroksena karbonaatti-magnetiitti-sulfidikiveä. Edelleen 170.25 m:iin on amfiboli-biotiitti-karbonaattikiviä, karsikiilleliuskeita ja hapanta vilkaniittia (?). Reiän loppuosa (185.80 m:iin) on biotiittipeliittejä, amfiboli-skapoliittikiviä, amfiboli-plagioklaasikiviä ja amfibolikiviä. Reikä päättyi mielenkiintoisiin kordieriitti-antofylliittikiilleliuskeisiin, joita lävistettiin n. 6 m. Kivissä on satunnaisia kohonneita

pitoisuuksia: As (max. 1110 ppm), Co (max. 570 ppm), Cu (731 ppm), Li (83.5 ppm), Mo (190 ppm), S (21 %), Sb (71 ppm) ja Th (55 ppm). Hiukan anomaalista Pd-pitoisuutta (max. 18 ppb) on amfiboli-karbonaatti-sulfidikivissä ja kloriittipeliiteissä. Au-pitoisuudet ovat hyvin pieniä.

Reikä R842 kairattiin edellisen edestä. Lävistys on peliittivaltainen, seassa on sulfidipitoisia plagioklaasi- amfibolikiviä, ja välikerroksina sulfidipitoisia mustaliuskeita. Arvometallipitoisuudet ovat pieniä: Cu max. 455 ppm, amfiboli-plagioklaasikivissä on hiukan anomaalinen Pd (10 – 24 ppb).

Edellisen edestä kairatussa R843:ssa on 38.60 m:iin peliittejä, sitten 48.75 m:iin vuorotellen peliittejä ja pienirakeisia, voimakkaasti magneettisia dioriitteja, tästä 55.80 m:iin on sekavahko seurue amfibolikiviä, karbonaattipitoisia liuskeita ja kloriittiliuskeita. Tämän jälkeen alkaa yhtenäinen lävistys magnetiittipitoisia, pienirakeisia dioriitteja, joissa on erotettu karkearakeisia muunnoksia ”metadiabaaseina” 113.80 m:iin. Koostumukseltaan ”metadiabaasit” ovat selvästi emäksisempiä (korkeampi Mg, Cr, Ni), dioriiteissa on korkeampi P, Ce-La, Zr ja Th. On myös dioriiteista ja ”metadiabaaseista” syntyneitä ruhjeisia emäksisiä liuskeita. Dioriiteissa ovat kohonneet Ag (usein 2 ppm) ja As (10 – 20 ppm). Arvometallipitoisuudet ovat pieniä (Cu max. 726 ppm).

Reikä R844 kairattiin R841:n takaa. Alussa on 4 m kalkkikiveä, sen jälkeen harmaita peliittejä 107.30 m:iin, joissa on paikoin amfibolipitoisuutta ja välikerroksina amfiboli-plagioklaasikiviä. Grafiittipitoisia välikerroksia, ja samalla amfiboli-karbonaattikiviä, on välillä 78 – 96 m. Tästä 113 m:iin on vuorottelevia serisiittipeliittejä, amfiboli-karbonaattikiviä ja mustaliuskeita, edelleen 117.35 m:iin kellertävänharmaita, mustaliuskevälikerroksisia peliittejä. Välillä 117.35 – 130.00 m on yhtenäinen grafiittirikas mustaliuske, jossa on mobiloitunutta pyrroitiittia. Mustaliuskeista on analysoitu kokonaishiilipitoisuus (menetelmä 811L) yhdeksästä näytteestä; näissä C-pitoisuus oli 4.16 – 9.55 %. Peliittivälikerroksia alkaa ilmaantua 126.70 m:stä. Reiän lopussa on 5.7 m pyriittipitoista sherttimäistä kiveä. Analyyseissa ei ollut merkittäviä arvometallipitoisuuksia.

Profiililla etummaisoin reikä R845 alkoi dioriitista. Kivi on harmaa ja magnetiittipitoinen. Siinä on yleisesti kvartsilinssejä ja -juonia ja näissä joskus pyriittipitoisuutta. Paikoin on tektonisoituneita, liuskeisia osia. Dioriitin terävä alakontakti on 123 m:ssä. Alapuolella kivet ovat peliittejä, joissa on välikerroksina karsimaisia amfiboli-plagioklaasikiviä, amfiboli-kloriittiliuskeita ja mustaliuskeita reiän loppuun (140.30 m). Tässäkin reiässä dioriitille on tyypillistä lievästi kohonnut Ag (1 – 2 ppm) ja As (10 – 25 ppm). Pyriittirikkaissa kohdissa on joskus kohonnut Co (max. 193 ppm). Myös peliittien pyriittipitoisissa osissa on kohonneita Co-pitoisuuksia (max. 305 ppm). Dioriitin alaosa (84 m:stä alkaen) on sulfidirikas (S 1 – 2 %). Mustaliuskeiden kokonaishiilipitoisuus (neljä analyysia väliltä 130.00 – 134.15 m) on 4.94 – 7.75 %. Analyyseissa ei ollut merkittäviä arvometallipitoisuuksia.

Magneettisen anomalian aiheuttaja on magnetiittipitoinen dioriitti, sähköinen anomalia aiheutuu dioriitin päällä olevasta grafiitti- ja sulfidipitoisesta mustaliuskeesta. Karttakuvan ja stratigrafian kannalta merkittävä uusi kivilajitieto on kalkkikivien esiintyminen. Näistä johtuneen näiden alueiden rehevät, paksuakin koivua kasvavat lettosuot.

Geofysikaaliset profiilit:

Q22.23/3714 10/98/1

Q24.32/3714 10/98/1

Syväkairauksen raportit:

M19/52/3714/98/R841 (analyysitilaus no. 72485)

M19/52/3714/98/R842 (analyysitilaus no. 72486)

M19/52/3714/98/R843 (analyysitilaus no. 72487)

M19/52/3714/98/R844 (analyysitilaus no. 72488)

M19/52/3714/98/R845 (analyysitilaus no. 72489)

### **Takavaara, Sodankylä (kl. 3732)**

Kohteessa on erikoinen ja koristeellisen näköinen albitiittibreksia, jota on paikalla runsaasti jopa usean m<sup>3</sup>:n kokoisina lohkareina. Yhdessä lohkareessa on ontelossa savukvartsikiteitä. Tästä etelään on tietä pitkin mitatussa painovoimaprofiilissa syvenevä minimi.

Syksyllä kairattiin lohkareikon alueelle pysty reikä (R340) ja toinen pystyreikä (R341) painovoimaminimiin tästä n. 400 m etelään tien varteen.

Reiässä R340 kivi on loppuun asti (85.40 m) albitiittibreksiaa. Petrografisesti kivi on albitiittikarsi. Tumman ja vaalean aineksen osuudet vaihtelevat. Valkoiset klastit koostuvat pienirakeisesta, granoblastisesta albitiitista, tumman iskoksen päämineraalit ovat diopsidi ja vaaleanvihreä amfiboli. On myös mafisia, pyöreähköjä tai kulmikkaita klasteja (koko 1 mm – 7 cm). Jotkut osat muistuttavat makroskooppisesti karkeaa gabroa. Amfiboli esiintyy diopsidissa omamuotoisina, joskus säteettäisinä sälöinä. Tummien mineraalien sisällä on usein karkeaa, omamuotoista albitiittia. Satunnaisesti on hiukan kvartsia ja karbonaattia, nämä kuuluvat primaariin metamorfiseen parageneesiin. Hyvin harvoin on karbonaattijuonia, joissa kalsiittia on kirkkaina ontelokiteinä. Tyypillinen aksessori on kookkaina, vyöhykkeisinä idioblasteina esiintyvä titaniitti, lisäksi on apatiittia isoina anhedrisina rakeina, zirkonia, rutiilia ja hematiittia. Satunnaisesti on osittain martiittiutunutta magnetiittia.

Kivessä ei ole mitään merkkejä läpikotaisliikunnoista (esim. liuskeisuutta) ja siinä on hyvin vähän rakoja.

Kiven koostumus ei vastaa mitään eruptiivikiveä, vaikka esim. Ni-Cr-Sc-pitoisuudet sopisivat basaltille. Siinä on hyvin vähän K, P, S, Zn ja Sr. Lähtökivi ei voi olla myöskään peliittinen sedimentti. Jalometallipitoisuudet (analysoitu Au ja Pd) ovat yhtä poikkeusta (Pd 2 ppb) lukuun ottamatta alle määritysrajan. Aines voisi olla liuenneesta evaporaatista jäljelle jäänyt ”sakka”, joka olisi koostunut alkuperäisestä karbonaatista ja evaporaatin liukenemattomasta (esim. tuulen kuljettamasta) mineraaliaineksesta.

Reiässä R341 (syvyys 76.35 m) kivi oli vaihtelevampi ja sekavampi ja ennen kaikkea rikkoutuneempi kuin R340:n kivi. Kivet ovat albitiitteja, albiittikarsia, skapoliittiamfiboliitteja (skapoliitti-sarvivälke-biotiittikiviä) ja skapoliittialbitiitteja (skapoliittiutuneita peliittejä ?). Albitiiteissa on yleisesti hiukan magnetiittia. Koostumuksen puolesta nämä poikkeavat selvästi R340:n albiittikarsista: albiittirikkaissa kivissä on paljon pienempi MgO, CaO, V, Cr ja Ni ja korkeampi SiO<sub>2</sub>, K ja Cl. Au- ja Pd-pitoisuudet ylittävät useammin määrittäysrajan (Au max. 7.3 ppb, Pd max. 6 ppb).

Reikäraportit:

M19/52/3732/00/R340 (analyysitilaus no. 78846)

M19/52/3732/00/R341 (analyysitilaus no. 78847)

### **Räkkiluostonvaara, Sodankylä (kl. 3642)**

Räkkiluostonvaarassa on Fe-Ti-V-Cu-rikas metagabro (Lehmuspelto & Vuojärvi, 1978). Vanhoissa tutkimusojissa on kalliassa sekundaarijuoniin liittyviä Cu-sulfideja ja malakiittia. Syksyllä 2000 otin Pauli Vuojärven kanssa analyysiin 9 näytettä malakiittipitoisista kallionäytteistä, joista tarkistettiin ennen kaikkea Au-pitoisuudet. Näytteissä oli lievästi kohonnutta Ag-, Mo-, Sb-, Th- ja As-pitoisuutta, anomaalinen Co (parhaat 161 – 184 ppm Co) ja V (yl. 600 – 870 ppm). Kuudessa näytteessä oli Cu > 2000 ppm (korkein 0.944 % Cu). Au vaihteli, kuudessa näytteessä oli >15 ppb Au (paras 70 ppb Au). Au ja Cu korreloivat positiivisesti, korkein Au oli Cu-rikkaimmassa näytteessä. Pt-Pd olivat yleensä alle määrittäysrajan (20 ja 10 ppb); yhdessä näytteessä oli Pd 30 ppb ja Pt 20 ppb.

Kartoitushavainnot: TM-00-15 (15.1.1 – 15.3.2)

Analyysitilaus no. 79415.

### **GEOBOTAANISET TUTKIMUKSET**

Koitelaisen ja Keivitsan alueen maastotöissä sain 1970-luvulla ensimmäiset viitteet siitä, että järviruoko (Phragmites) viittaa kalkkikiven esiintymiseen. Maastotutkimukset ja vertailut kivilajikartoilla esiintyviin tai kairauksissa lävistettyihin karbonaattikiviin (Kolari, Tervola-Ylitornio, Kuusamo, Pudasjärvi, Sodankylä) ovat osoittaneet, että järviruoko (ryti), varsinkin missä se kasvaa soilla, suolampien rannoilla ja purojen varsilla, on helposti havaittava ja melko pettämätön karbonaattipitoisten kivien indikaattori. Usein sen lähellä esiintyy muita kalkki-indikaattorikasveja. Kasvupaikat näkyvät usein paikannimissä: Rytlampi, Rytiniva, Rytijänkä, Rytisuo. Vesa Perttunen on kartoitusalueiltaan esittänyt lisää aiheidosteita. Pidetään silmällä muun työn ohessa.



## KESKENERÄISET TUTKIMUKSET

Niin kuin edellä on käynyt ilmi, monien kohteiden selvitys on joko puuttuvien analyysien tai tarvittavien lisäkairausten osalta kesken.

Ilmakkiselän trondhjemiitti edustaa Petkulan-Peurasuvannon alueella yleisiä syväkiviä, jotka koostumukseltaan ja esiintymistavaltaan poikkeavat alueen muista kivistä. Nämä ovat pieniä stokkimaisia intruusioita, jotka koostuvat kvartsidioriiteista, tonaliiteista ja amfibolipitoisista trondhjemiiteista. Intrusioiden yhteydessä on joskus emäksisiä kiviä. Stokkien laidoilla on tyypillisesti albiittiutuneita kiviä ja albiittibreksioita. Vajukosken voima-aseman alakanavassa breksiassa on suuriakin kvartsikideonteloita. Albiittibreksiaa on louhittu Vajukosken voimalan alakanavasta ja koneaseman alta. Breksiaa ja sen ympäristön albiittiutunutta metahornfelsia on Vajukosken padossa.

Ilmakkiselän intrusiosta on otettu näyte ikäystä varten, mutta sen jatkokäsittelystä ei ole vielä sovittu.

Kartoitushavainto (näyte): TM-02-1

Rovaniemellä 12.2.2003

Tapani Mutanen  
geologi

Liite 1. Tutkimuskohteet 1998 – 2001

## KIRJALLISUUS

- Elo, S. (1979) Penikan gabron oletetun syöttökanavan poikki mitattujen geofysikaalisten profiilien tarkastelu. Kirje, 17.9. 1979.
- Fleitout, L. & Froidevaux, C. (1980) Thermal and mechanical evolution of shear Zones. *Jour. Structural. Geol.* 2, 159-164
- Hanski, E. (1998) Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Särkivaara 7-8 (kaiv. rek. no:t 5988/1-2) ja Metsävaara 3-5 (kaiv. rek. no:t 5565/1- 3) suoritetuista malmitutkimuksista. 5 s., 3 liitettä. GTK, arkistoraportti M06/3714/98/1/10.
- Huhma, H. & Mutanen, T. (2002) Oldest rocks of the Fennoscandian Shield in the Pudasjärvi Granulite Belt. Käsikirjoitus, jätetty julkaistavaksi *Geologi-lehdessä*. (Myös: Korkka-Niemi, Kirsti (toim.): *Geologian tutkijapäivät 13.-14.3. 2002* Helsinki. Ohjelma, tiivistelmät, osallistujat, s. 22-23.
- Jones, A.P., Price, G.D., Price, N.J., DeCarli, P.S. & Clegg, R.A. (2002) Impact induced melting and the development of large igneous provinces. *Earth Planet Sci. Lett.* 202, 551-561.
- Lalli, Katja (2002) Pudasjärven granuliittivyöhykkeen Isokummun alueen petrografia, geokemia ja metamorfinen petrologia. Pro gradu –tutkielma. Geotieteiden laitos, Oulun yliopisto. 105 s., 2 karttaliitettä.
- Lehmuspelto, P. & Vuojärvi, P. (1978) Geokemialliset tutkimukset Räkki luostonvaarassa karttalehdellä 3642 03 vuonna 1978. 13 s., 1 geologinen kartta, 2 liitettä. GTL, arkistoraportti S/41/3642 03/1/1978.
- Lehmuspelto, P. & Vuojärvi, P. (1983) Raportti geokemiallisista kohdetutkimuksista Kaikkivaltiaanlehdossa karttalehdellä 3732 01 vuonna 1981. 3 s., 12 liitettä. GTL, arkistoraportti S/41/3732 01/1/1983.
- Mutanen, T. (1991) Pellon järvisuudun pedogeokemiallisen P-Zr-Nb-Mo-Y-REE – anomalian alustava selvitys. Rap. M19/2641/-91/1/10. 56 s.
- Mutanen, T. (1997) Geology and ore petrology of the Akanvaara and Koitelainen mafic layered intrusions and the Keivitsa-Satovaara layered complex, northern Finland. *Geol. Surv. Bull.* 395. 233 p.
- Mutanen, T. (1998) Akanvaaran intruusion kromi-, kromi-vanadiini-, vanadiini- ja platinametalli-kultaesiintymät (Savukoski, Pohjois-Suomi). Raportti M06/3644/-98/1/10. 95 s., 10 liitettä.
- Mutanen, T. (2000a) The Big Pechenga Bang. In: Plado, J. & Pesonen, L.J. (eds.) *Meteorite Impacts in Precambrian Shields. Programme and Abstracts*, p. 43-44. The 4<sup>th</sup> Workshop of the European Science Foundation Impact Programme,

Lappajärvi-Karikkoselkä-Sääksjärvi, Finland, May 24-28, 2000. Geological Survey of Finland and University of Helsinki, 119 p.

- Mutanen, T. (2000b) New possible impact sites in northern Finland. In: Plado, J. & Pesonen, L.J. (eds.) Meteorite Impacts in Precambrian Shields. Programme and Abstracts, p. 81. The 4th Workshop of the European Science Foundation Impact Programme, Lappajärvi-Karikkoselkä-Sääksjärvi, Finland, May 24-28, 2000. Geological Survey of Finland and University of Helsinki, 119 p.
- Mutanen, T. (2002a) Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Pajukoski 1, kaivosrekisterinumero 6866/1 ja Pajukoski 2, kaivosrekisterinumero 6866/2 tehdyistä malmitutkimuksista. Raportti M06/3714/02/1/10. 28 s.
- Mutanen, T. (2002b) Tutkimustyöselostus Savukosken kunnassa valtausalueilla Tanhua 6 (kaivosrekisterinumero 5568/1) ja Tanhua 7 (kaivosrekisterinumero 5568/2) tehdyistä malmitutkimuksista. Raportti M06/3732/02/1/10. 5 s.
- Mutanen, T. (2002c) Tutkimustyöselostus Sodankylän Koitelaisen alueella tehdyistä malmitutkimuksista valtausalueilla Rykimälampi 1 (kaiv. rek.no. 5337/1), Paasikivenaapa 1-4 (kaiv. rek.no. 5337/2-5), Viuvalo-oja 1-3 (kaiv. rek. no. 5337/6-8), Kahdenputaanaapa 1 (kaiv. rek.no. 5338/1), Rytioja 1-2 (kaiv. rek.no. 5339/1-2), Huutamoaapa (kaiv. rek.no. 5340/1), Haapalampi 1 (kaiv. rek.no. 5340/2), Jäsessaari 1-4 (kaiv. rek. no. 5340/3-6), Rookkijärvi 1-5 (kaiv. rek. no. 5566/1-5), Kainalomukka 1-2 (kaiv. rek. no. 5567/1-2), Porkkausoja 1 (kaiv. rek. no. 5624/1) ja Porkkausoja 2 (kaiv. rek. no. 5624/2). Raportti M06/37/2002/1/10. 23 s.
- Mutanen, T. (2002d) Tutkimustyöselostus Sallan kunnassa valtausalueilla Ahmalampi 1 (kaivosrekisterinumero 5573/1), Kieskijärvi 1-2 (kaivosrekisterinumerot 5574(1-2) ja Kapitvaara 1-2 (kaivosrekisterinumerot 5572/1-2) tehdyistä malmitutkimuksista. Raportti M06/4614/2002/1/10. 18 s., 9 liitettä.
- Mutanen, T. (2002e) Tutkimustyöselostus Sallan kunnan Auermavaarassa valtausalueella Auermavaara 1 (kaivosrekisterinumero 6937/1) tehdyistä malmitutkimuksista. Raportti M06/4714/2002/1/10. 16 s., 4 liitettä.
- Mutanen, T. & Huhma, H. (2001) U-Pb geochronology of the Koitelainen, Akanvaara and Keivitsa mafic layered intrusion and related rocks. Julkaisussa: Vaasjoki, M. (ed.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. Geological Survey of Finland. Special Paper 33, 229-246.
- Mutanen, T. & Huhma, H. (2002) Oldest rocks of the European Union in the Pudasjärvi Granulite Belt, northern Finland. Käsikirjoitus jätetty julkaistavaksi sarjassa Bull. Geol. Soc. Finland. 18 s., + 6 kuvaa, 3 taulukkoa. Huom.: käsikirjoitus jätetty julkaistavaksi 9.9.1999, mutta SIMS-tuloksilla täydentäminen siirtää painatuksen vuoteen 2003.

- Mutanen, T. & Huhma, H. (2002) U-Pb geochronology of the Koitelainen, Akanvaara and Keivitsa mafic layered intrusions and related rocks. [Käsikirjoitus, jätetty julkaistavaksi 9.9.1999, mutta SIMS-tuloksilla täydentäminen siirtää painatuksen vuoteen 2003].
- Mutanen, T. & Nykänen, V. (2000) Pohjoisen rajan malmit. *Rajaseutu* 1/2000, 19-23.
- Ruotoistenmäki, T. (1977) Tutkimus Keski-Lapin graniittialueen läntisen osan rakenteesta. Diplomityö. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu, Vuoriteollisuusosasto. 61 s.
- Vatanen, J.-P. (1998) Kromiittimalmin pelkistyminen CO/CO<sub>2</sub>-atmosfäärissä. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessitekniiikan osasto, Prosessimetallurgian laboratorio. 111 s., 7 liitettä.
- Väänänen, J. (2002) Pasmajärvi. Suomen geologinen kartta, 1:100 000, lehti 2642. GTK.
- Öhman, T. (2002) Kraatteroitumisprosessin merkit Saarijärven törmäyskraatterin alueella. Pro gradu –tutkielma. Geotieteiden laitos, Oulun Yliopisto. 196 s.

# TUTKIMUSKOHTEET 1998 - 2001

Hanke 2104001

