



Tutkimustyöselostus Ranuan kunnassa valtausalueella Nuupas 2 (kaivosrekisterino. 7369/2) tehdyistä malmitutkimuksista vuosina 2003 - 2005

Tapani Mutanen



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS • GEOLOGISKA FORSKNINGSCENTRALEN • GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

PL / PB / P.O. Box 96
FI-02151 Espoo, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 12

PL / PB / P.O. Box 1237
FI-70211 Kuopio, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 13

PL / PB / P.O. Box 97
FI-67101 Kokkola, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 5209

PL / PB / P.O. Box 77
FI-96101 Rovaniemi, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 14

Tekijät Tapani Mutanen		Raportin laji M06	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi Tutkimustyöselostus Ranuan kunnassa valtausalueella Nuupas 2 (kaivosrekisterino. 7369/2) tehdyistä malmitutkimuksista vuosina 2003 – 2005			
Tiivistelmä Valtauksella Nuupas 2 oleva kohde Tammikangas liittyy hankkeen ”Magmatismi ja malminmuodostus” (hankeno. 2901000) tutkimuksiin Ranualla. Tutkimuksissa selviteltiin aeromagneettisilla matalalentokartoilla olevia magneettisia anomaliaita geofysikaalisin maanpintamittauksin (magneettinen, sähköinen VLF-T ja painovoima) ja sydännäytekairauksilla. Tammikangas-kohteessa on voimakas magneettinen ja painovoima-anomalia. Kohteeseen kairattiin seitsemän syväkairausreikää, yhteensä 666.79 m. Kohde on ultramafinen intruusio, joka koostuu magnetiittipitoisista hornblendiiteista. Intruusion pohjalla sen itäpäässä on apatiittirikkaita magnetiitti-hornblendiitteja. Paikoin esiintyy magmaattista kerroksellisuutta (gabromaisia välikerroksia hornblendiitissa). Intruusion sivukivet ovat Ranuan dioriittiin kuuluvia kvartsidioriitteja, joissa on trondhjemiittisiä osia. Intruusiota leikkaavat juonina kvartsidioriitit, trondhjemiitit, albitiitit, albiittipegmatiitit ja karkearakeiset albiittigraniitit. Hornblendiiteissa on kohonnut vanadiinipitoisuus (400 – 800 ppm V). Intruusion pohjaosissa on kohonneita apatiittipitoisuuksia (4 – 5 %) 5 – 17 m:n lävistyksinä. Muiden analysoitujen arvometallien (Ni, Cu, Au, Pd) pitoisuudet ovat matalia.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Malminetsintä, vanadiini, apatiitti			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Lapin lääni, Ranua, Tammikangas			
Karttalehdet 3524 02			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi Valtausraportti		Arkistotunnus M06/3524/2006/5/10	
Kokonaissivumäärä 11 s.	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus julkinen
Yksikkö ja vastuualue Pohjois-Suomen yksikkö/Kallioperä ja raaka-aine		Hanketunnus 2901000	
Allekirjoitus/nimen selvennys Tapani Mutanen		Allekirjoitus/nimen selvennys	

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND DOCUMENTATION PAGE

Date / Rec. no.

25.5.2006

Authors Tapani Mutanen		Type of report M06	
		Commissioned by GTK	
Title of report Report of exploration on the claim Nuupas 2, Ranua, in 2003– 2005 (Mine register no. 7369/2)			
<p>Abstract</p> <p>Tammikangas, the anomaly on the claim Nuupas 2, is one of the targets of the exploration work of the project "Magmatism and ore genesis" at Ranua. Exploration consisted of ground geophysical line surveys and diamond core drilling of selected magnetic anomalies on the low altitude aeromagnetic maps. Tammikangas is a strong magnetic anomaly and a positive gravity anomaly.</p> <p>Seven diamond core drill holes (total 666.79 m) were put into the anomaly. The anomaly target is an ultramafic intrusion, composed of magnetite-bearing hornblendites. At the base of the intrusion, near its eastern end apatite-enriched magnetite hornblendites occur. In some places magmatic layering (gabbroic interlayers in hornblendite) is seen. The surrounding rocks are quartz diorites, with trondhjemitic parts. Dykes of quartz diorites, trondhjemites, albitites, albite pegmatites and coarse albite granites cut the hornblendites.</p> <p>The hornblendites have an elevated concentration of vanadium (from 400 to 800 ppm V). At the base on the intrusion higher concentrations of apatite (4 – 5 %) were encountered in DDH intersections from 5 to 17 metres. The concentrations of other metals assayed (Ni, Cu, Au, Pd) are low.</p>			
Keywords Exploration, vanadium, apatite			
Geographical area Lappi Province, Ranua, Tammikangas			
Map sheet 3524 02			
Other information			
Report serial Claim report		Archive code M06/3524/2006/5/10	
Total pages 11 p.	Language Finnish	Price	Confidentiality public
Unit and section Northern Finland Office/Bedrock Geology and Research		Project code 2901000	
Signature/name Tapani Mutanen		Signature/name	



Sisällysluettelo

Kuvailulehti Documentation page

1	JOHDANTO	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimuskohteen sijainti	1
1.3	Alueen yleisgeologia	2
2	MALMITUTKIMUKSET VALTAUKSELLA	3
2.1	Geofysikaaliset mittaukset	3
2.2	Kairaukset	4
2.3	Analyysit	7
3	KIVILAJIT: MINERAALIT JA KEMIALLINEN KOOSTUMUS	7
4	ESIINTYMÄN ARVIOINTI	10
5	VALTAUKSESTA LUOPUMISEN SYYT	10

KIRJALLISUUSLUETTELO

KUVATEKSTIT:

Kuva 1.	Valtausalueen Nuupas 2 sijainti.	2
Kuva 2.	Magneettinen väripintakartta; totaalikentän vuon tiheys, painovoimaprofiilit.	5
Kuva 3.	Väripintakartta; VLF-R näennäinen ominaisvastus, sinisellä vaihekulma.	6

TAULUKKOTEKSTIT:

Taulukko 1.	Valtaus Nuupas 2 (Tammikangas), syväkairauksen reikä tiedot.	4
Taulukko 2.	Valtaus Nuupas 2 (Tammikangas), syväkairausten analyysitiedot	7

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

GTK:n hankkeessa ”Magmatismi ja malminmuodostus” (hankeno. 290 1000) selviteltiin Ranual- la vuosina 1999-2006 pienialaisia magneettisia anomalioita. Kohteissa tehtiin geologista karttoi- tusta ja lohcare-etsintää, geofysikaalisia maastomittauksia (magneettisia, sähköisiä VLF-R ja gravimetrisia mittauksia, seismistä kallionpintaluotausta) ja niiden perusteella syväkairauksia. Anomalioiden aiheuttajat olivat piippumaisia ja juonimaisia magnetiittipitoisia intrusiivisista magmakiviä: alkalikiviä, syeniittejä, ferropikriittejä, komatiittisarjan serpentiniittejä ja plagio- klaasihornblendiittejä; Tervonkankaan anomalian aiheuttaja on ultraemäksis-emäksinen juoni- kompleksi. Ultramafiset intruusioiden antavat selvän positiivisen painovoima-anomalian; syeniitit (Kokalmus) ja egiiriini-albiittikivet (Simontaival) eivät tiheydeltään poikkea sivukivistä.

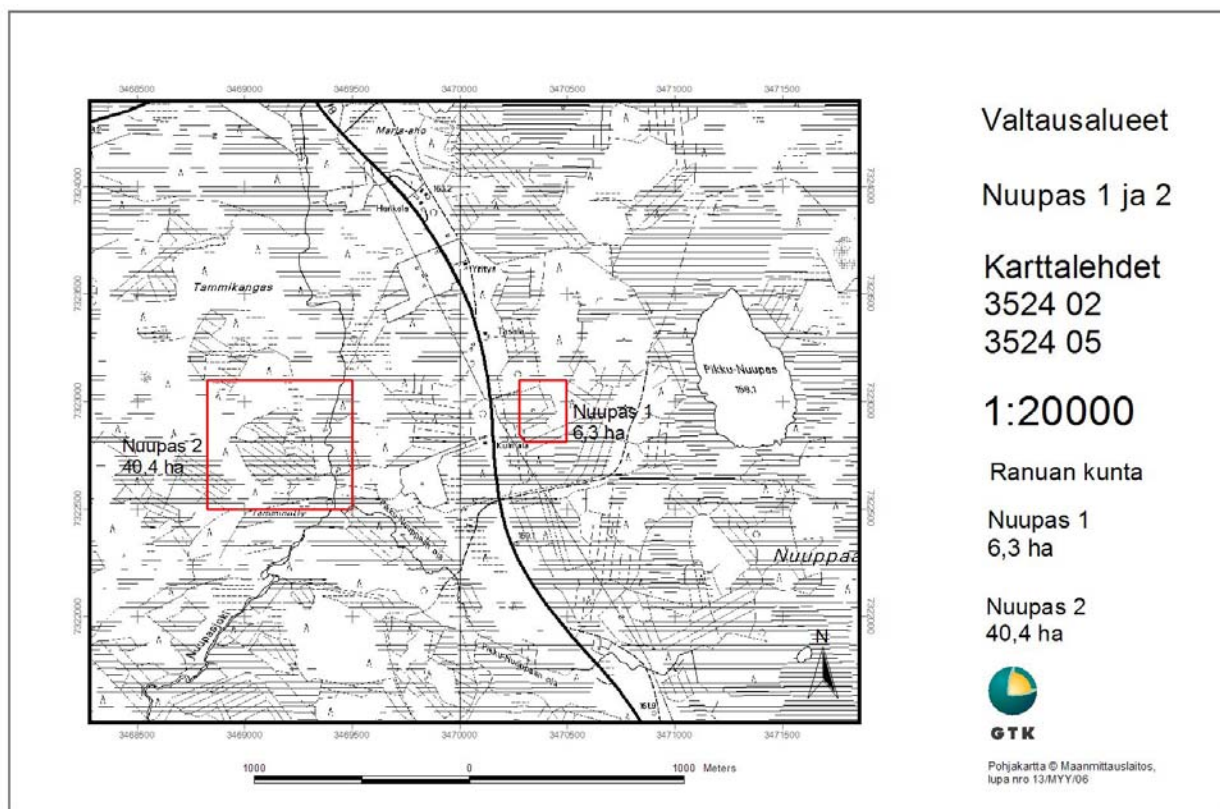
Alkalikivissä ja syeniiteissa oli kohonneina pitoisuuksina Cu, Ag, Nb, Zr ja apatiitti, komatiitti- sissa serpentiniiteissa Ni, ferropikriiteissa Ni ja Cu, satunnaisesti platinaryhmän metallit (PGE). Tervonkankaan juonen pyrokseeniittisissä osissa oli anomaalisia PGE-pitoisuuksia.

Tutkimuksista vastasi Tapani Mutanen. Geofyysikoista hankkeessa oli mukana Heikki Salmirine, Pertti Turunen, Erkki Lanne, Eija Hyvönen ja Eero Sandgren. Kairauksen valvonnassa ja raportoinnissa avusti Pauli Vuojärvi. Tämän raportin kokoamisessa avustivat Viena Arvola ja Helena Murtovaara. Bo Johanson ja Lassi Pakkanen tekivät mineraalien EP-mikroanalyysit. Pentti Kouri teki suuren määrän mineraalien XRD-määrittelyksiä. Hannu Huhma on tehnyt Sm-Nd- isotooppimäärittelyksiä ja dioriittisten sivukivien zirkonin U-Pb-ikäyksiä. Kaikki kemialliset ana- lyysit on tehty GTK:n Rovaniemen ja Otaniemen laboratorioissa. Kiillotetut ohuthieet on tehty GTK:n Rovaniemen yksikössä (Tauno Mukku, Mauri Kauttio) ja Kuopion yksikössä (Timo Saa- rimäki). GTK:n omat geofysiikan ryhmät ovat tehneet maastomittaukset; Simontaival-kohteessa Astrock Oy teki osan magneettisista ja gravimetrisistä mittauksista. Ranuan eri kohteiden kaira- uksia ovat tehneet Oy Kati Ab (Simontaival), GTK:n GPK-GP:n POKA-kairaajat (Kuha, Kuu- kasjärvi, Tervonkangas, Pikku Nuupas, Kokalmus, Säaskilammit, Pahakumpu, Luhtajärvi), Suomen Malmi Oy (Rytisuo, Simontaival), Geokeskus Oy (Tammikangas) ja Arctic Drilling Company Oy (Kuha).

Tammikangas-kohteessa selvitettiin voimakasta magneettista anomaliaa, jonka kohdalla on myös voimakas positiivinen painovoima-anomalia. Kohteen kivet ovat magnetiitti- ja plagioklaasipi- toisia hornblendiittejä.

1.2 Tutkimuskohteen sijainti

Tammikangas sijaitsee karttalehdellä 3524 02, Nuupasjoen länsipuolella, 10 km Ranuan liike- keskuksesta luoteeseen (kuva 1). Matkaa itään Rovaniemen tielle on 1 km. Maasto on ojitettua suota ja soistunutta metsää.



Kuva 1. Valtausalueen Nuupas 2 sijainti.

Fig. 1. Location of the claim Nuupas 2.

1.3 Alueen yleisgeologia

Ennen näitä tutkimuksia alueen geologia on ollut huonosti tunnettu. Puutteita on vieläkin; systemaattista geologista kartoitusta ei ole tehty. Geologisilla kartoilla alueen kivilajiksi on merkitty yhdellä värillä arkeiseen gneissikompleksiin kuuluvia happamia ortogneissejä (tonaliitteja, trondhemiitteja, granodioriitteja) ja migmatiitteja.

Magneettisilla matalalentokartoilla erottuu kuitenkin 15 x 20 km:n laajuinen korkeamman intensiteetin alue, joka sijoittuu Ranuan kirkonkylän pohjois-, luoteis- ja länsipuolelle. Alueen kohdalla on n. 12 mGal:in (maksimi) positiivinen painovoima-anomalia, jonka keskus sijoittuu Eläinpuiston – Kivijärven alueelle. Moreenipeite alueella on hyvin paksu; Ranuanjärven luoteispuolella Kotilehdossa ei kalliota ole tavoitettu yli 30 m:n syvyydessä porakaivossa. Korkeimman magneettisen tason alueet ovat paljastumattomia; lohkahavaintojen mukaan kallioperä on tummaa biotiitti- ja sarvivälkepitoista dioriittia. Vaaleampia, heikosti magneettisia tai epämagneettisia dioriitteja on paljastumina kirkonkylän lounaispuolella Heinisuon tien länsipuolella, Eläinpuiston – Kivijärven alueella ja dioriittialueen pohjoisosissa vyöhykkeellä Iso Pajuvaara – Pyhälamminaho – Latva-Tervo. Kyseessä on myöhäisarkeinen intruusio, josta seuraavassa käytän nimeä dioriitti. Dioriitin eteläkontakti on magneettisella kartalla terävä. Lähelle eteläkontaktia kairattiin Luhtajärvellä dioriittiin lyhyt POKA-reikä (3524/2004/R182). Dioriitin pohjois- ja länsiosia tunnetaan vielä huonosti.

Kuopasjärven eteläpuolelta Korkia-ahon paljastumasta Hannu Huhma määrittä dioriitin zirkonin kiteytymisiäksi 2.703 Ga (Mutanen & Huhma, 2003). Ikänsä puolesta dioriitti-intruusio voisi kuulua myöhäisorogeenisiin arkeisiin sanukitoideihin, mutta Ranuan analysoiduista dioriiteista ei löydy sanukitoideille tyypillisiä piirteitä. Toisaalta dioriitin ja erilaisten (ja eri-ikäisten) ultramafiittien ja alkalikivien välille ei löydy luontevaa petrologista yhteyttä. On huomattava, että vaikka monet tutkitut intruusioidet esiintyvätkin dioriitin alueella tai sen lähellä, Pudasjärven pohjoisosista tunnetaan alkalikiviä (Laivajoen ja Kortejärven karbonatiitit), lamprofyyrijuonia ja ferropikriittejä (Heikki Juopperin tietoja) laajalla alueella.

Magneettisesta matalalentokartasta näkyy, että siirrokset ovat pilkkoneet dioriitin lohkoihin. Suurin siirros on Kivijärven kohdalla kulkeva, hiukan kaareva ja likimain N-S –suuntainen oikeakätinen siirros, jossa (näennäinen) horisontaalsiirtymä on 8.5 km. Tätä siirrosta voi seurata magneettisella kartalla ainakin 60 km. Se katkaisee myös n. 180 km pitkän, NNW-suuntaisen diabaasijuonen. Diabaasijuonen kohdalla on vasenkätinen siirros, jossa (näennäinen) horisontaalsiirtymä on n. 5 km. Vaikuttaa siltä, että Kokalmuksen alue on näiden suurten siirrostensa väliin jäävä lohko. Dioriitin läntisimmässä tunnetussa osassa Iso-Pajuvaarassa on paljastuneena myloniittituneita dioriitteja. Idässä dioriitilla on siirroskontakti (Maunujärven siirros), ja koko itäpuoliskossa näkyy siirrostensa aiheuttamaa NNW-suuntaista rakennetta. Dioriitin itäpuolisko ei ilmeisesti ole muutenkaan yhtenäinen: siinä näkyy NE-suuntaisia magneettisia juovia, jotka lohkahavaintojen perusteella ovat arkeeseen kompleksiin kuuluvia amfiboliitteja. Simontaivalkohteessa alkalikompleksin itäpuolella sivukivi on arkeinen gneissigraniitti. Heti dioriitin itäpuolella Kaitavaarassa on laajoja gneissigraniittipaljastumia. Yleensäkin gneissigraniittialue on dioriitin ulkopuolella verraten hyvin paljastunutta, usein suurinakin kallioalueina.

Ranuan kohteista Simontaipaleessa, Kuukasjärvellä, Kuhassa ja Tervonkankaalla sivukivet ovat arkeisen gneissikompleksin kiviä.

Mafisia, ultramafisia ja alkalikiviä leikkaavat monenlaiset juonet: erilaiset diabaasit (meta-diabaasit), gabrodiabaasit, albiitti-kvartsipegmatiitit, albitiitit, albiitti-biotiittigraniitit ja lamprofyyrit. Tammikankaan ultramafisessa piipussa on paksumpia leikkaavia trondhjemiittis-tonaliittisia kiviä. Heinisuon Kalliokummuilla on laaja-alaisia (> 1 ha) graniittipegmatiittipaljastumia. Happamien (graniittisten tai tonaliittisten) juonien ei ole vielä todettu leikkaavan ”oikeita” alkalikiviä (Simontaival, Säaskilammit, Kokalmus).

Tammikankaan magneettinen anomalia sijaitsee Ranuan dioriitin voimakkaammin magneettisen länsipuoliskon pohjoisreunalla.

2 MALMITUTKIMUKSET VALTAUKSELLA

2.1 Geofysikaaliset mittaukset

Tutkimuskohde oli magneettisella matalalentokartalla erottuva magneettinen anomalia.

Tein valtausalueella geologisia maastotutkimuksia ennen syväkairauksia. Kalliopaljastumia tai paikallisia, anomaliasta peräisin olevia lohcareita ei löytynyt. Maakerrokset ovat ohuita, kohteen maakairaussyvytydet pystyreikillä olivat 2.2 m – 6.1 m.

Alueella tehtiin 1 km x 2.5 km:n systemaattinen magneettinen ja sähköinen VLF-R -mittaus (magneettinen kartta, kuva 2), joka kattoi valtaukset Nuupas 1 ja 2 ympäristöineen.

Tammikankaan kohteen yli mitattiin neljä painovoimaprofiilia; näistä kolme tehtiin magneettisen

anomalian poikki pohjoisesta etelään, yksi anomalian pituusakselin suunnassa idästä länteen. Maastomittauksissa linjaväli oli 50 m; Nuupas 1 –valtauksen pienten magneettisten piippujen kohdalla linjaväli tiennettiin 25 m:iin. VLF-R-mittauksissa linjaväli oli 200 m (VLF-R –kartta; kuva 3). Tammikankaalla painovoimaprofiilien kokonaispituus oli 4.2 km.

Magneettinen anomalia on itä-länsi -suunnassa n. 600 m pitkä ja leveimmillään 250 m - 280 m. Sekä magneettiset että painovoimamittaukset osoittavat, että magneettinen kappale painuu loivasti länteen. Kappaleen koko moreeninalaisessa pintapuhkeamassa on 220 m x 290 m. Magneettisen anomalian huippuarvo puhkeaman kohdalla on 6000 nT. Samoilla kohden on painovoiman jäännösanomalia 1.25 mGal (kts. kuva 2). Lännessä jäännösanomalia näkyy 700 m:n päähän länteen kappaleen itäkontaktista. Magneettisen ja gravimetrisen anomalian aiheuttaa intrusiivinen magnetiittipitoinen hornblendiitti, jota seuraavassa nimitetään Tammikankaan intrusioksi tai pelkästään intrusioksi.

Painovoimassa on etelään nouseva regionaalitaso; nousua on 1.85 mGal/km. Ilmeisesti etelässä vaikuttava massa on Ranuan dioriitti.

VLF-mittauksissa ei ilmennyt sulfideihin tai muihin hyviin johteisiin viittaavia ”vetoja”. Magneettisen anomalian pohjoisreunalla on mittauslinjalla y = 3469.000 yksi piste, jossa näennäinen ominaisvastus on laskenut 500– 600 ohmimetriin; samalla pisteellä vaihekulman arvo on noussut n. 50°:een. Tämä anomalia sijoittuu intrusioon kattopuolelle.

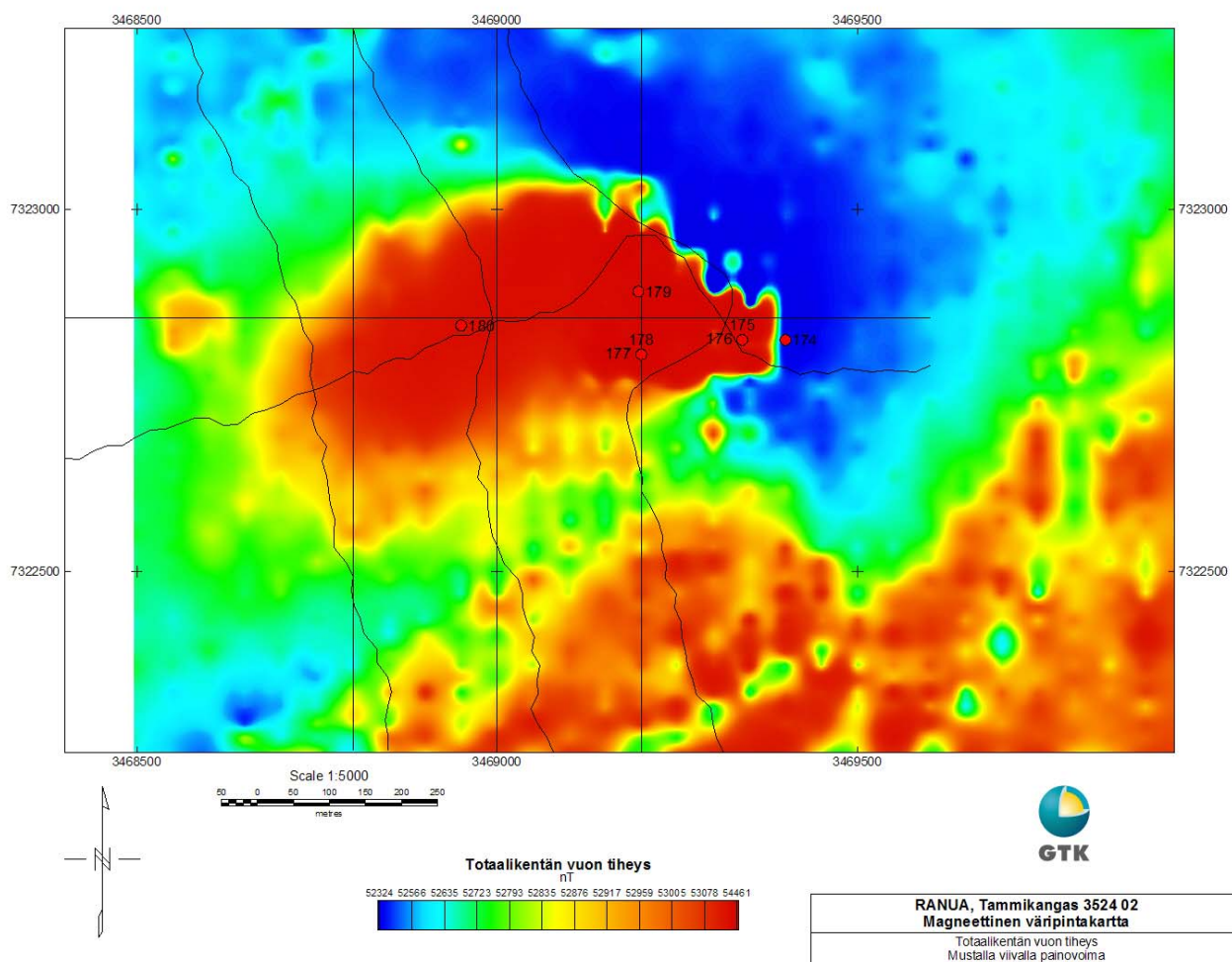
2.2 Kairaukset

Keväällä 2004 kohteeseen kairattiin seitsemän syväkairausreikää, yhteensä 666.79 m. Reikäsyvytydet olivat 39.67 m– 188.23 m. Reikien sijainti on merkitty magneettiseen karttaan (kuva 2).

Taulukko 1. Valtaus Nuupas 2 (Tammikangas), syväkairauksen reikätiiedot.

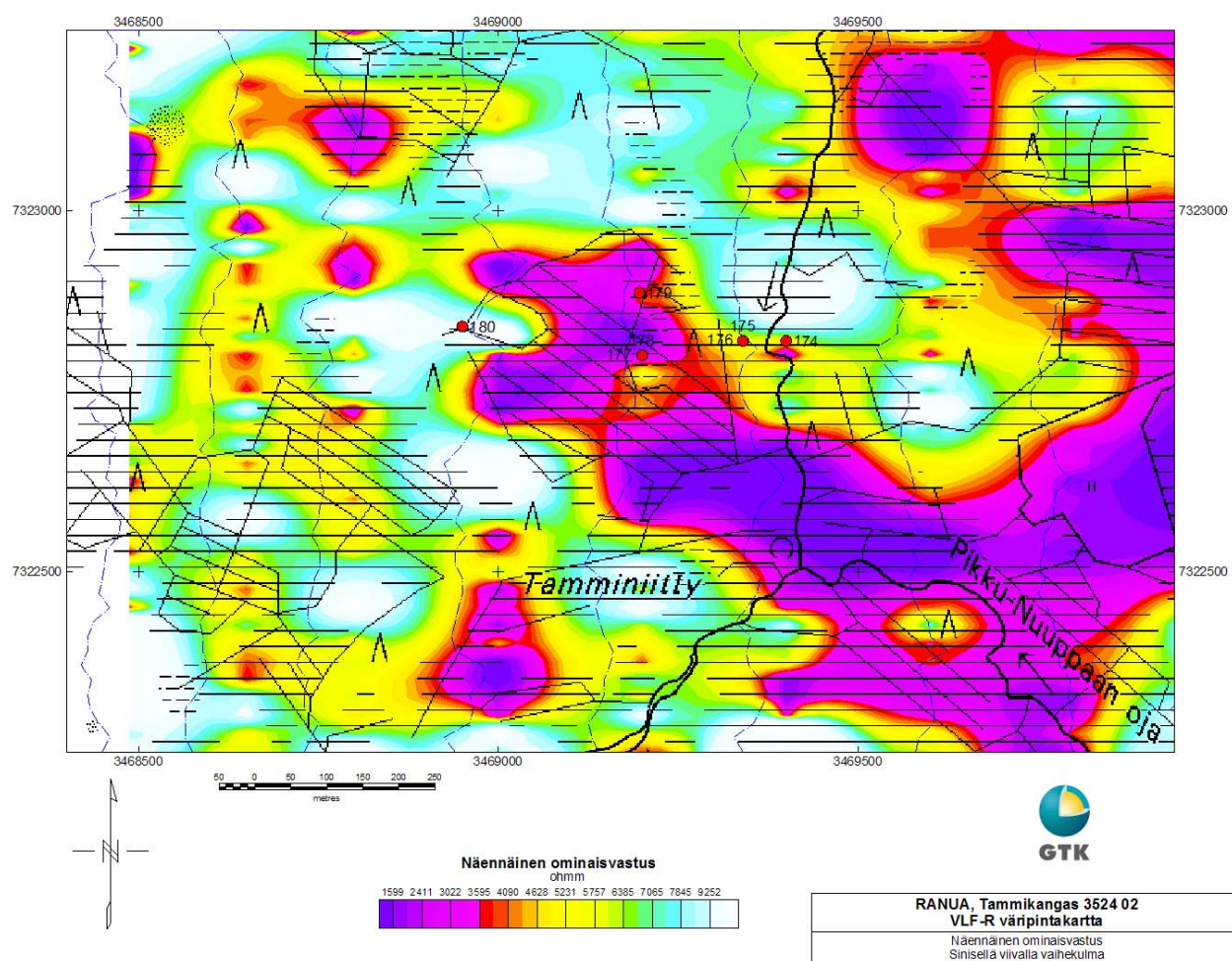
Table 1. Claim Nuupas 2 (Tammikangas), drill hole locations, directions, angles and depths

Reikä, no.	X	Y	Suunta	Kulma	Syvyys, m.	Maata, m
R174	7322.820	3469.40	90	45.8	39.67	2..60
R175	7322.820	3469.340	0	45.8	54.65	2.50
R176	7322.820	3469.340	0	90	71.99	2.20
R177	7322.800	3469.200	0	46.8	112.26	7.80
R178	7322.800	3469.200	0	90	53.30	6.10
R179	7322.887	3469.196	0	46.1	188.23	4.30
R180	7322.840	3468.950	0	90	146.69	2.80



Kuva 2. Magneettinen väripinta kartta; totaalikentän vuon tiheys, painovoimaprofiilit.

Fig. 2. Colour coded total intensity magnetic map with gravimetric Bouguer profiles.



Kuva 3. Väripintakartta; VLF-R näennäinen ominaisvastus, sinisellä vaihekuilma.

Fig 3. Colour coded VLF-R apparent resistivity map with blue curve phase angle profiles.

2.3 Analyysit

Kairansydämistä on tehty Au-Pd-Te-määrittäksiä (menetelmätunnus 521U) ja monialkuainemääritys (32 alkuainetta) ICP-AES-tekniikalla (kuningasvesiliuotus 90°:ssa; tunnus 511P); valikoiduista näytteistä on tehty kokokivianalyysi XRF-tekniikalla (näytetunnus 175Xa) ja hivenalkuainemääritys (REE, Sc, Y, U, Th) HF-perkloorihappoliuotus+sulate/ICP-MS –tekniikalla (tunnus 308M). Analyysipituus on yleensä korkeintaan 2 m. Kokokivi- ja hivenalkuainemääritykset on tehty mahdollisimman homogeenisista ja vähän muuttuneista kivistä. Taulukossa 2 on esitetty eri reikien tilausnumerot ja analyysimäärät eri menetelmillä.

Taulukko 2. Valtaus Nuupas 2 (Tammikangas), syväkairausten analyysitiedot

Table 2. Claim Nuupas 2 (Tammikangas), chemical analyses of drill cores

Reikä, no.	Analyysitilausno.	Analyysimäärät eri menetelmillä			
		522U	511P	175Xa	308M
R174	91303	20	20	17	4
R175	91304	23	23	23	2
R176	91302	37	37	36	6
R177	91305	60	60	49	2
R178	91306	31	31	21	5
R179	91307	106	106	47	8
R180	91406	27	27	22	7

3 KIVILAJIT: MINERAALIT JA KEMIALLINEN KOOSTUMUS

Intruusion pääkivilaji on hornblendiitti. Siinä on (tai on ennen metamorfoosia ollut) vaihtelevia määriä plagioklaasia, jonka vuoksi sitä pitäisi nimittää plagioklaasihornblendiitiksi. Kun kivessä on vielä aina mukana magnetiittia ja joskus paljon apatiittia, pitäisi sitä tarkkuutta tavoitellen nimittää magnetiittiplagioklaasihornblendiitiksi ja joskus magnetiittiapatiittiplagioklaasihornblendiitiksi. Blastomyloniittisilla kivillä pitäisi loppuun vielä lisätä asianmukaisesti ”–blastomyloniitti”. Tässä käytän lyhyiden vuoksi nimeä hornblendiitti. Jossakin kohdalla saatan korostaa korkeita magnetiitti- tai apatiittipitoisuuksia niistä erikseen mainiten. Joskus esiintyy selvästi gabromaisia muunnoksia ja magmaattista kerroksellisuutta, jossa plagioklaasirikkaampia raitoja vuorottelee sarvivälkerikkaiden hornblendiittiraitojen kanssa. Gabromaisia kiviä esiintyy myös autoliittimaisina murskaleinä. Intruusion sivukivinä on kvartsidioriittivaltaisia syväkiviä, joissa on trondhjemiiittisiä osia. Intruusiota leikkaavat monenlaiset juonet. Paksumpina juonina on dioriitteja ja kvartsidioriitteja. Happamat juonet ovat albitiitteja, albiittiutuneita graniittipegmatiitteja ja karkearakeisia graniitteja.. Näiden lävistyspaksuudet vaihtelevat muutamista sentteistä 4.2 metriin. Koska juonien leikkaukset ovat hyvinkin vinoja (loivia), saattavat todelliset paksuudet paljonkin pienempiä.

Hornblendiitti vaikuttaa päällisin puolin melko homogeeniselta kiveltä. Se on alkujaan ollut pyrokseeni-magnetiittikumulaatti, joka on ehkä sisältänyt myös oliviinia. Magnetiitti on selvästi kiteytynyt kotektisesti (ja realistisissa kotektisissa suhteissa) pyrokseenin kanssa. Pyrokseeni on metamorfoosissa muuttunut sarvivälkkeeksi. Koostumuksista voi päätellä, että paikoin mukana on ollut runsaasti Ca-köyhää pyrokseenia (korkea SiO_2/MgO). Apatiitti esiintyy joskus runsaana, suurina ja euhedrisina kiteinä, ja se on silloin ollut selvästi kumulusfaasi. Korkeimmillaan apatiittipitoisuus nousee 4.9 paino-%:iin. Kumulusmineraalit ovat siis: oliviini? – pyrokseeni (augiitti +/- ortopyrokseeni) – magnetiitti – (apatiitti, joskus).

Yleisin interkumulusmineraali on plagioklaasi, joka on yleensä vaihtelevasti muuttunut epidootti-klinozoisitiksi ja serisiitiksi; samalla plagioklaasi on tullut albiittirikkaammaksi tai albiittiseksi. Paikoin näkyy ruskehtavan vihreää sarvivälkettä, mikä viittaa sellaiseen mahdollisuuteen, että magmasta on kiteytynyt myös korkean lämpötilan sarvivälkettä. Tyypillisesti sarvivälkkeen väri on normaalin vihreä; paikoin on vaaleampaa tai lähes väritöntä amfibolia (aktinoliittia). Apatiitti on fluoriapatiittia. Se esiintyy useimmiten interkumulusmineraalina kookkaina euhedrisina – subhedrisina pölkkyinä kiteinä. Kun kiven fosforipitoisuus on pieni, apatiitti on anhedrista. Magnetiitti on tyypillisesti anhedrista, mutta esiintyy pyöreähkönä kiteinä. Pieninä pitoisuuksina magnetiitti esiintyy harvalukuisina mutta suhteellisen kookkaina euhedrisina kiteinä. Koskapa missään ei näy alkuperäisiä ilmeniitin suotaumalamalleja, on magnetiitti ilmeisestikin saanut nykyisen raeasunsa ja koostumuksensa metamorfisessa uudelleenkiteytymisessä. Magnetiitin ohella on melko runsaasti ilmeniittä. Se esiintyy tyypillisesti hematiitin kanssa; näissä kompleksirakkeissa ”pohjan” voi muodostaa hematiittikin. Joskus löytyy hieistä pieniä määriä kvartsia, joka saattaa olla alkuperäinen interkumulusmineraali.

Biotiitti on sekundaaria, ja sitä on yleensä melko runsaasti. Pieniä määriä on kloriittia biotiitin muuttumistuloksena; titaniitti, rutiili ja karbonaatti ovat verraten harvinaisia ja ne esiintyvät tyypillisesti blastomyloniittisissa kivissä. Useasta hieistä on löytynyt zirkonia ja allaniittia. Yleisimmät sulfidit ovat pyriitti ja kuparikiisu. Pyrrotiittia on vain sulkeumina pyriitissä, usein yhdessä kuparikiisun kanssa. Epävarmoina on tunnistettu putoraniittia ja pentlandiittia. Eräässä magmaattis-kerroksellisessa kivessä (R179/172.85) esiintyy borniittia ja carrolliitti-ryhmän tiospinelliä (epävarma identifiointi).

Gabroja on vähän. Tähän luokkaan voidaan yhdistää raporteissa mainitut sarvivälkegabrot, melagabrot, metagabrot ja jotkut MgO -rikkaat dioriitit. Päämineraalit ovat plagioklaasi ja sarvivälke, joskus plagioklaasi ja biotiitti. Muuttumistuloksia ja aksessorisia ovat kloriitti, epidootti(-pistasiitti), albiitti, titaniitti, magnetiitti, kvartsi, allaniitti, zirkoni, fluoriapatiitti ja hematiitti-ilmeniitti.

Kvartsidioriitit ovat intruusion sivukiviä. Eri muunnoksia on nimitetty leukodioriiteiksi, metaanortosiiteiksi, metakvartsidioriiteiksi ja trondhjemiiteiksi. Trondhjemiitit ovat kaliköyhiä, niiden Na/K on korkea ja niissä on usein runsaasti muskoviittia. Päämineraaleja ovat plagioklaasi (joskus albiitti), kvartsi, sarvivälke ja biotiitti. Sekundaareja mineraaleja ovat kloriitti, muskoviitti, serisiitti, epidootti, karbonaatti (joskus runsaasti), titaniitti ja rutiili. Fluoriapatiitti on tyypillinen aksessorinen. Magnetiittia, euhedrisina kiteinä, on vähän ja se saattaa puuttua. Ilmeniitti-hematiitti on tavallinen, useimmiten löytyy allaniittia ja zirkonia. Sulfideja (pyriitti, kuparikiisu) on vähän. Eräässä trondhjemiittinäytteessä on mackinawiittia.

Happamat juonet. Näiden päämineraalit ovat vaaleanpunainen albiitti (albitiiteissa) ja albiitti ja kvartsi (pegmatiiteissa ja graniiteissa). Kalimaasälpää ei löytynyt, kali on metamorfoosissa ilmeisesti osaksi sitoutunut biotiittiin, osaksi poistunut. Tummia mineraaleja ovat biotiitti,

kloriitti, joskus sarvivälke. Kaikki tummat mineraalit ovat sekundaareja; muita sekundaareja ovat epidootti-pistasiitti, muskoviitti, toisinaan karbonaatti. Pieniä määriä on magnetiittia (usein puuttuu), fluoriapatiittia, titaniittia, rutiilia, ilmeniitti-hematiittia, zirkonia, pyriittia ja kuparikiisua.

Kivilajikoostumukset: Seuraavassa pitoisuudet ovat painoyksikköjä (% , ppm).

Hornblendiitti vaikuttaa ulkonaisesti melko homogeeniselta ja fraktioitumattomalta yksiköltä. Sen SiO_2 -pitoisuus, jossa magnetiitin ja apatiitin ja toisaalta plagioklaasin määrät vaikuttavat eri suuntiin, vaihtelee eri rei'issä yleensä välillä 37.3 – 44.5 %, jokseenkin Mg- ja Al-pitoisuuksista riippumatta. Joissakin rei'issä SiO_2 nousee 50 %:iin asti, silloin useimmiten syynä on korkea alkuperäisen Ca-köyhän pyrokseenin pitoisuus, joskus korkeampi plagioklaasipitoisuus. MgO vaihtelee kaikissa analyyseissa melko kapealla välillä, 10 – 14 %; vain kahdessa näytteessä oli MgO 17 – 18 %. TiO_2 on tyypillisesti 2.0 - 2.5 %, kaikki analyysit ovat välillä 1.5 – 3 %. FeO(tot) vaihtelee yleensä välillä 16 – 20 %, kokonaisvaihtelu on 14 – 22 %. On muistettava, että Ti-Fe-pitoisuuksiin vaikuttaa ratkaisevasti magnetiitti- ja ilmeniittipitoisuus. Myös vanadiinipitoisuus vaihtelee kapealla välillä, 400 – 800 ppm V, mutta 90 % näytteistä on 500 – 700 ppm V. Vanadiinin korkea pitoisuus selittyy korkealla magnetiittipitoisuudella. Vanadiini lienee valtaosin magnetiitissa; magnetiitin V-pitoisuutta ei ole tutkittu EMP-analyysein. Toisaalta voimakkaan kidefraktioitumisen vaikutus näkyy monissa muissa alkuaineissa. Vaikka apatiittia on kaikissa näytteissä, ylivoimaisesti suurin osa on matalien pitoisuuksien alueella, 0.14 – 0.4 % apatiittia (250 – 750 ppm P). Korkeita apatiittipitoisuuksia (3 – 5 % apatiittia) on hyvin vähän. Näissä tapauksissa apatiitti on kiteytynyt kottektisesti kumulusfaasina pyrokseenin ja Fe-Ti-oksidiin kanssa. Fosforin frekvenssijakauma on erittäin vino lognorminen. On huomattava, että lähes kaikki korkeat apatiittipitoisuudet (4 – 5 %) sijoittuvat intruusion itäpäähän ja siellä pohjimmaisiiin osiin sivukiviä vasten. Apatiitista rikastuneen kerroksen paksuus eri suuntaan kairattujen reikien lävistyksissä on 5 – 17 m. Lännempänä (ylempänä?) on joitakin lyhyitä apatiittirikkaita lävistyksiä rei'issä R178 (4 m) ja R179 (0.76 m). Myös kromin lukuisuusjakauma osoittaa voimakasta fraktioitumista. Korkeimmat Cr-pitoisuudet (250 – 300 ppm) ovat intruusion itäpäässä, pohjalla, samoilla seuduilla kuin apatiitin rikastumat. Tyypillisesti Cr vaihtelee välillä 0 – 150 ppm (suuri osa pitoisuuksista on määritysrajan 30 ppm alapuolella). Ensimmäisenä kiteytynyt ja laskeutunut Fe-Ti-spinelli on selvästi köyhdyttänyt intruusion jäännössulan kromista. Taipumus kasaantua intruusion pohjalle (itäpäässä) näkyy myös Ni:n esiintymisessä, vaikkakaan ei niin selvästi. Ni-S –korrelaatiota ei ole. Taloudellisesta kannalta Ni-pitoisuudet ovat merkityksettömän pieniä. Rikin pitoisuudet vaihtelevat eri reikälävistyksissä paljon. On hyvin sulfidiköyhiä osia, mutta myös osia joissa magma on ollut selvästi sulfidisulakylläinen (kivissä 2000 – 3000 ppm S). Kuparin ja rikin korrelaation on melko hyvä, mutta ei läheskään moitteeton. Korkeimmat Cu-pitoisuudet (606 ppm Cu/0.64 m) johtuvat ilmeisesti mobiloituneista sulfideista.

Kyseessä on ilmeisesti verraten pitkälle kehittynyt, Fe-Ti-rikastunut sula, jossa Ni ja Cr ovat köyhtyneet. Korkeiden Ti-V-Fe-pitoisuuksien lisäksi pitkästä fraktioivasta kehityksestä todistaa kivien korkea Co/Ni (yleensä välillä 1 – 2). Jotenkin kuitenkin olisi odottanut, että tällainen magma ei olisi niin Cu-köyhä (köyhtynyt ?), Cu-pitoisuus on kivissä tyypillisesti < 45 ppm. Ilmeisesti magmasta on aikaisemmassa vaiheessa erottunut sulfidisulaa, joka on köyhdyttänyt jäännössulan kuparista. Myös jalometallipitoisuudet ovat hyvin matalia. Lievästi anomaalisia Au-lävistyksiä on reiässä R175 (0.15 ppm/1.75 m) ja reiässä R178 (0.17 ppm/1.75 m; tässä myös Te 0.16 ppm). Pd ei nouse juuri koskaan yli määritysrajan 10 ppb. Reiässä R179 on kaksi 20 ppb:n Pd-pitoisuutta.

Magman pitkälle menneestä ”evoluutiosta” todistavat CN-normalisoidut REE-käyrät. CN-pitoisuudet laskevat keveistä raskaisiin REE-metalleihin. Tyypillinen piirre on negatiivinen La-

anomalia ja tasainen Ce-Pr-Nd-osuus (ylöspäin kupera LREE-pää). Näissä on myös negatiivinen Eu-anomalia, ja se on sitä korkeampi mitä korkeampi on Ce-Pr-Nd-taso (korkeimmillaan 200 x CN-pitoisuudet). Ylöspäin kupera LREE-osuus on tyypillinen Ca-rikkaan pyrokseenin (augiitti) kumulaateille, negatiivinen Eu-anomalia osoittaa plagioklaasin fraktioitumista.

Ilmeniitti-hematiitin esiintyminen ja ”vapaan” pyrroitiitin puuttuminen osoittaa, että magma on ollut melko hapettunut.

Gabrot ovat ilmeisesti hornblendiitin kanssa samamagmaisia. Niille on ominaista korkeahko P_2O_5 (0.347 – 0.696 %) ja TiO_2 (1.07 – 1.39 %). MgO on 5.45 – 8.33 %. Gabrojen CN-normalisoidut REE-käyrät ovat identtisiä hornblendiittien käyrien kanssa; ainoa ero on, että gabrojen negatiivinen Eu-anomalia on pienempi. Osa dioriiteista saattaa olla hornblendiittien kanssa samamagmaisia.

Kvartsidioriitit, leukokvartsidioriitit ja trondhjemiitit ovat intruusion sivukiviä ja leikkaavat tätä juonina. Niille on ominaista korkea Sr-taso (628 – 1555 ppm). Korkea Sr-pitoisuus on tyypillistä Ranuan dioriitille (ks. Mutanen & Huhma, 2003, Table 1). Happamammassa päässä (kvartsidioriitit, trondhjemiitit) Sr-pitoisuus on pienempi (444-829 ppm). Näiden kivien CN-REE-malli, vaikka onkin laskeva keveistä raskaisiin REE-alkuaineisiin, poikkeaa intruusion kivien mallista: niiden LREE/HREE on paljon suurempi, negatiivinen La-anomalia ja LREE-pään kuperaus puuttuvat ja HREE ovat hyvin matalat (Ho, Tm ja Lu usein alle määritysrajan). Negatiivinen Eu-anomalia puuttuu, mutta matalilla tot-REE-pitoisuuksilla kivillä on voimakas positiivinen Eu-anomalia.

Albitiiteissa ja albiittipegmatiiteissa Sr on huomattavan korkea (488 – 1326 ppm), varsinkin kun Ca-pitoisuus on yleensä matala. Myös Zr-pitoisuudet ovat korkeita. Mikäli Sr on alkuperäistä, ei näitä kiviä voida pitää albiittituneina graniittipegmatiiteina; pikemminkin niillä voi olla petrogeeninen yhteys Ranuan dioriittiin.

4 ESIINTYMÄN ARVIOINTI

Vaikuttavista geofysikaalisista ominaisuuksista (magneettisuus, tiheys) huolimatta ei Tammi-kankaan intruusiosta löytynyt merkittäviä arvometallipitoisuuksia. Apatiitin rikastumisesta intruusion pohjalle on merkkejä, mutta parhaimmillaankin pitoisuudet jäivät kauas kannattavasta apatiittiesiintymästä. Vanadiinin raaka-aineeksi kivi on liian köyhää.

5 VALTAUKSESTA LUOPUMISEN SYYT

Tutkimuksilla ei voitu osoittaa selvästi hyödyntämiskelpoisia mineraaliesiintymiä, ja sen takia GTK luopui valtauksesta.

KIRJALLISUUSVIITTEET

Mutanen, T. & Huhma, H. (2003). The 3.5 Ga Siurua trondhjemite gneiss in the Archaean Pudasjärvi Granulite Belt, northern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland* 75, 51-68.

TUTKIMUSAINEISTON TALLENTAMINEN

Kairasydämiä säilytetään GTK:n Pohjois-Suomen yksikön kairasydänvarastossa; lopullinen säilytyspaikka on Lopen valtakunnallinen kairasydänarkisto. Kairasydämien digitaalivalokuvien tiedostoja säilytetään GTK:n Pohjois-Suomen yksikössä. Kiillotetut ohuthieet säilytetään GTK:n Pohjois-Suomen yksikössä.

Numeerinen aineisto on tallennettu sekä paperitulosteina ja digitaalisessa muodossa. Kairasydänraportit, reikäluotaustulokset ja kemialliset analyysit on tallennettu GTK:n WinKaira-kallioperätietokantaan. Maastogeofysiikan tiedot on tallennettu ASCII-muotoisina GEOSOFT xyz-tiedostoina.

LIITTYY-AINEISTO

1. Kairansydänraportit 3524/R174 – 180/Tapani Mutanen
2. Kemialliset analyysit, ks. Taulukko 2.
3. Magneettinen mittaus (totaalikenttä) Q22.23/352402/02/1
4. Painovoimamittaus Q21.1/352402/03/1
5. Sähköinen mittaus, VLF-R Q24.32/352402/02/1
6. Kiillotetut ohuthieet rei'istä 3524/R152 – 156

Data-CD:llä on numeerisessa muodossa maastogeofysiikan tiedot, kairasydänraportit, kemialliset analyysit ja valtausraportti.