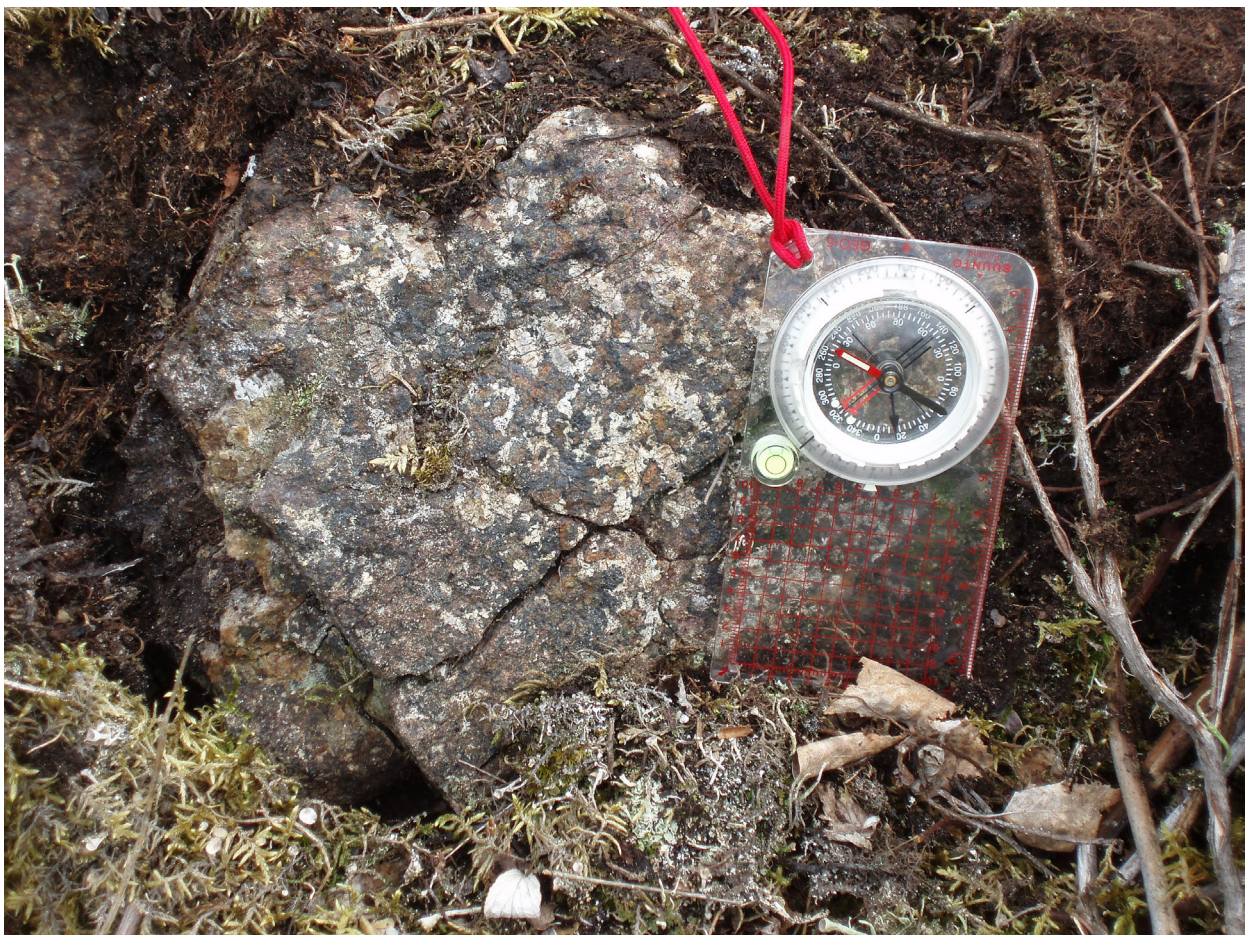


Tutkimustyöselostus Rautalammin kunnassa valtausalueella Kiviniemi 1 (kaivosrekisterinnumero 8777/1) suoritetuista skandium- ja zirkoniumesiintymätutkimuksista vuosina 2008-2010

Halkoaho Tapio ja Niskanen Matti



Kansikuva: Kalliopaljastuma (TAH\$-2008-18, taulukko 3) granaattipitoista fayaliittiferrodioriittia, Kiviniemi, Rautalampi (karttalehti 3224 08B4/P4333 D2, $x = 6967.985/6965.065$ ja $y = 3484.995/484.830$). Kuva T. Halkoaho.

Cover picture: Bedrock outcrop (TAH\$-2008-18, Table 3) of garnet-bearing fayalite ferrodiorite, Kiviniemi, Rautalampi (map sheet 3224 08B4/P4333 D2, $x = 6967.985/6965.065$ ja $y = 3484.995/484.830$). Photo T. Halkoaho.

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

Päivämäärä / Dnro

Tekijät Tapio Halkoaho Matti Niskanen		Raportin laji Valtausraportti	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi Tutkimustyöselostus Rautalammin kunnassa valtausalueella Kiviniemi 1 (kaivosrekisterinumero 8777/1) suoritetuista skandium- ja zirkoniuimesiintymätutkimuksista vuosina 2008-2010			
Tiivistelmä Tutkimuskohde sijaitsee Itä-Suomen läänissä Rautalammin kunnassa Kiviniemen alueella, noin 22 km Rautalammin kuntakeskuksesta pohjoiseen ja vajaa 30 km Suonenjoen kaupungin keskustasta luoteeseen. Tutkimuksen tarkoituksena oli paikantaa Suonenjoen alueelta löydettyjen nikkeli- ja kuparipitoisten lohkareiden lähtöpaikka. Nikkeli- ja kuparipitoisten lohkareiden lähtöpaikkaa ei Kiviniemen alueen tutkimuksissa kuitenkaan löydetty, mutta tutkimusten edetessä havaittiin, että Kiviniemessä sijaitsevassa gabroidisessa intruusiossa on poikkeuksellisen korkeat skandium- ja zirkoniumpitoisuudet. Vuosina 2008-2010 Kiviniemen tutkimuskohteelle tehtiin GTK:n toimesta 9 syväkairareikää (yhteensä 1252 m), paljastumakartoitus ja geofysikaalisia maastomittauksia. Alustavan malmiarvion mukaan Kiviniemen intruusio sisältää 13,4 miljoonaa tonnia kiveä, jonka keskipitoisuus on 163 g/t skandiumia, 1726 g/t zirkoniumia ja 81 g/t yttriumia. Edellä mainittujen lisäksi Sc-Zr-Y-esiintymä sisältää fosforia (P ₂ O ₅ 0,6-0,8 paino-%), titaania (TiO ₂ 1,6-1,8 paino-%), almandiinigranaattia ja fayaliittia. Rikastuskokeet tehtiin GTK:n Mineraalitekniikan laboratorioissa Outokummussa (GTK Mintec), jonne toimitetun näytteen skandiumpitoisuus oli noin 200 g/t. Parhaiten toimi magneettierotusmenetelmä, sillä saatiin skandiumia rikasteeseen 72 %, pitoisuuden ollessa 346 g/t ja rikastuskertoimen noin 1,5. Itä-Suomen yliopistossa on tutkittu skandiumin saostamista happoliuoksista difosfonaattien avulla.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Rautalampi, Svecofennian, ferrodioriitti, skandium, zirkonium, yttrium, timanttikairaus, geofysiikka			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Itä-Suomen lääni, Rautalampi, Niinivesi, Kiviniemi			
Karttalehdet 3224 08 ja P433 (UTM)			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi Valtausraportti		Arkistotunnus 56/2015	
Kokonaissivumäärä 32	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus Julkinen
Yksikkö ja vastuualue Itä-Suomen yksikkö, 401		Hanketunnus 2551014	
Allekirjoitus/nimen selvennys Risto Pietilä		Allekirjoitus/nimen selvennys Erkki Luukkonen	



GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

DOCUMENTATION PAGE

Date / Rec. no.

Authors Tapio Halkoaho Matti Niskanen		Type of report Claim report	
		Commissioned by Geological Survey of Finland	
Title of report Tutkimustyöselostus Rautalammin kunnassa valtausalueella Kiviniemi 1 (kaivosrekisterinumero 8777/1) suoritetuista skandium- ja zirkoniumesiintymätutkimuksista vuosina 2008-2010 (A research report of scandium and zirconium studies concerning the claim area of Kiviniemi 1 (register number of claim: 8777/1) in Rautalampi during years 2008-2010)			
Abstract The study area is located in Kiviniemi, the municipality of Rautalampi, province of Eastern Finland, about 22 km north from the centre of Rautalampi and about 30 km northwest from the city centre of Suonenjoki. The main purpose of the study was to localize the source of the nickel- and copper-bearing boulders, which have been found in the Suonenjoki area. The source region of the nickel- and copper-bearing boulders in the studies of Kiviniemi area were not found, on the contrary extraordinary high scandium and zirconium concentrations were observed in the gabbroic intrusion located in Kiviniemi. During the years 2008-2010 in the Kiviniemi area 9 diamond drill holes (altogether about 1252 m), extensive outcrop mapping and geophysical measurements were made by GTK. According to a preliminary mineral resource estimate, the Kiviniemi intrusion contains up to 13.4 million tons of rock with 163 g/t Sc, 1726 g/t Zr, and 81 g/t Y. In addition to the above-mentioned, the Sc-Zr-Y deposit contains resources of phosphorus (P ₂ O ₅ 0,6-0,8 Wt.%), titanium (TiO ₂ 1,6-1,8 Wt.%), almandine garnet and fayalite. The concentration test has been made in the GTK Mineral Processing Laboratory (GTK Mintec), located in Outokumpu. The scandium content of the test sample was about 200 g/t. The best workable concentration method was magnetic separation. With that method the recovery of scandium to the concentrate was 72 %, the content of scandium 346 g/t and the concentration coefficient is about 1.5. In the University of Eastern Finland the precipitation of scandium from acid liquids with bisphosphonates was investigated.			
Keywords Rautalampi, Svecofennian, ferrodiorite, scandium, zirconium, yttrium, geophysics, diamond drilling			
Geographical area Finland, Province of Eastern Finland, Rautalampi, Niinivesi, Kiviniemi			
Map sheet 3224 08 and P433 (UTM)			
Other information			
Report serial Claim report		Archive code 56/2015	
Total pages 32	Language Finnish	Price	Confidentiality Public
Unit and section Eastern Finland Office, 401		Project code 2551014	
Signature/name Risto Pietilä		Signature/name Erkki Luukkonen	





Sisällysluettelo

Kuvailulehti Documentation page

1	JOHDANTO	1
1.1	Alueen kuvaus	1
1.2	Tutkimuksen tavoite	1
2	SUORITETUT TUTKIMUKSET	1
2.1	Maastogeofysikaaliset mittaukset ja niiden tulokset	1
2.2	Kiviniemen alueen geologiset tutkimukset	4
2.3	Syväkairaukset ja paljastumanäytteet	6
2.4	Kairasydänten ja paljastumanäytteiden käsittely sekä analysointi	6
3	TUTKIMUSALUEEN GEOLOGISET PÄÄPIIRTEET	10
4	KIVINIEMEN GABROIDISEN INTRUUSION TUTKIMUSTEN TULOKSET	14
5	RIKASTUSKOKEET	28
6	MINERAALIVARANTOARVIO	28
7	TUTKIMUSAINIESTON TALLENTAMINEN	31
8	SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI	31
9	KIRJALLISUUSLUETTELO	31



1 JOHDANTO

1.1 Alueen kuvaus

Matalalentogeofysiikassa selvästi ympäristöään magneettisempi tutkimuskohde sijaitsee Itä-Suomen läänissä Rautalammin kunnassa Kiviniemen alueella, karttalehdellä 3224 08 sekä P4333 D2, D4, noin 22 km Rautalammin kuntakeskuksesta pohjoiseen ja vajaa 30 km Suonenjoen kaupungin keskustasta luoteeseen. Kiviniemi on asumaton Niiniveteen pistävä, kivikkoine niemi (kuvat 1, 2 ja 4). Alue on pääasiassa vesistöjen halkomaa kumpuilevaa kivikkoista moreenimaastoa.

1.2 Tutkimuksen tavoite

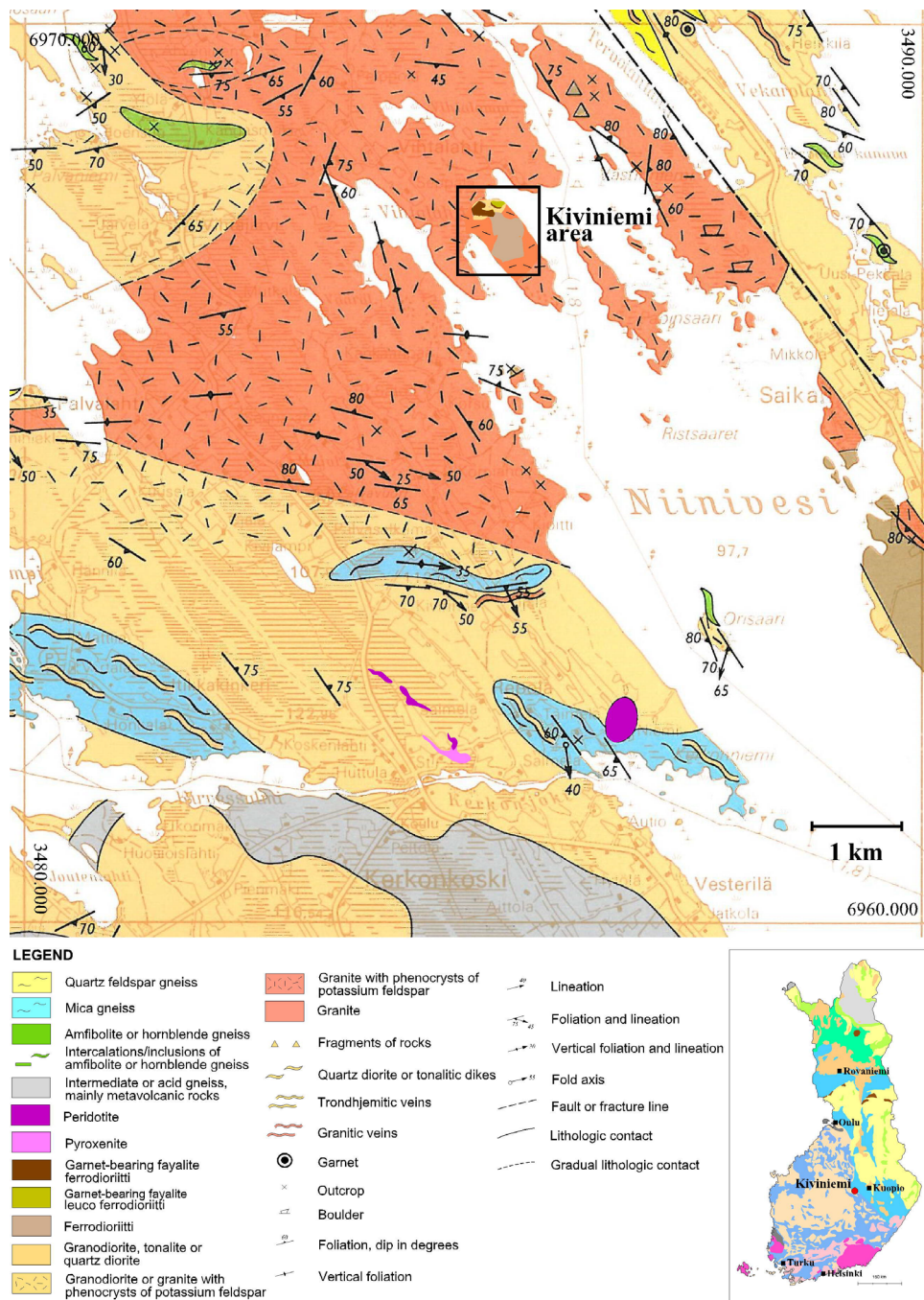
Tutkimuksen tarkoituksena oli löytää Suonenjoen alueelta löydettyjen nikkeli- ja kuparipitoisten lohka-reiden lähtöpaikka. Tutkimukset aloitettiin Rautalammin, Suonenjoen, Tervolan ja Vesannon alueiden magneettisen matalalentoaineiston tarkastelulla. Heti alkuvaiheessa vuonna 2008 GTK suuntasi maasto-tutkimuksessa magneettisessa matalalentoaineistossa hyvin nähtävissä olevan Kiviniemen voimakkaan magneettisen anomalian aiheuttajan selvittämiseen.

Tutkimuksista on vastannut erikoistutkija Tapio Halkoaho. Lisäksi tutkimuksiin ovat osallistuneet geofyysikko Matti Niskanen ja tutkimusassistentti Martti Saastamoinen. Avustavana henkilöstönä tutkimuk-sissa olivat mukana GTK:n geofysiikan mittaus- ja POKA-kairaushenkilöstö.

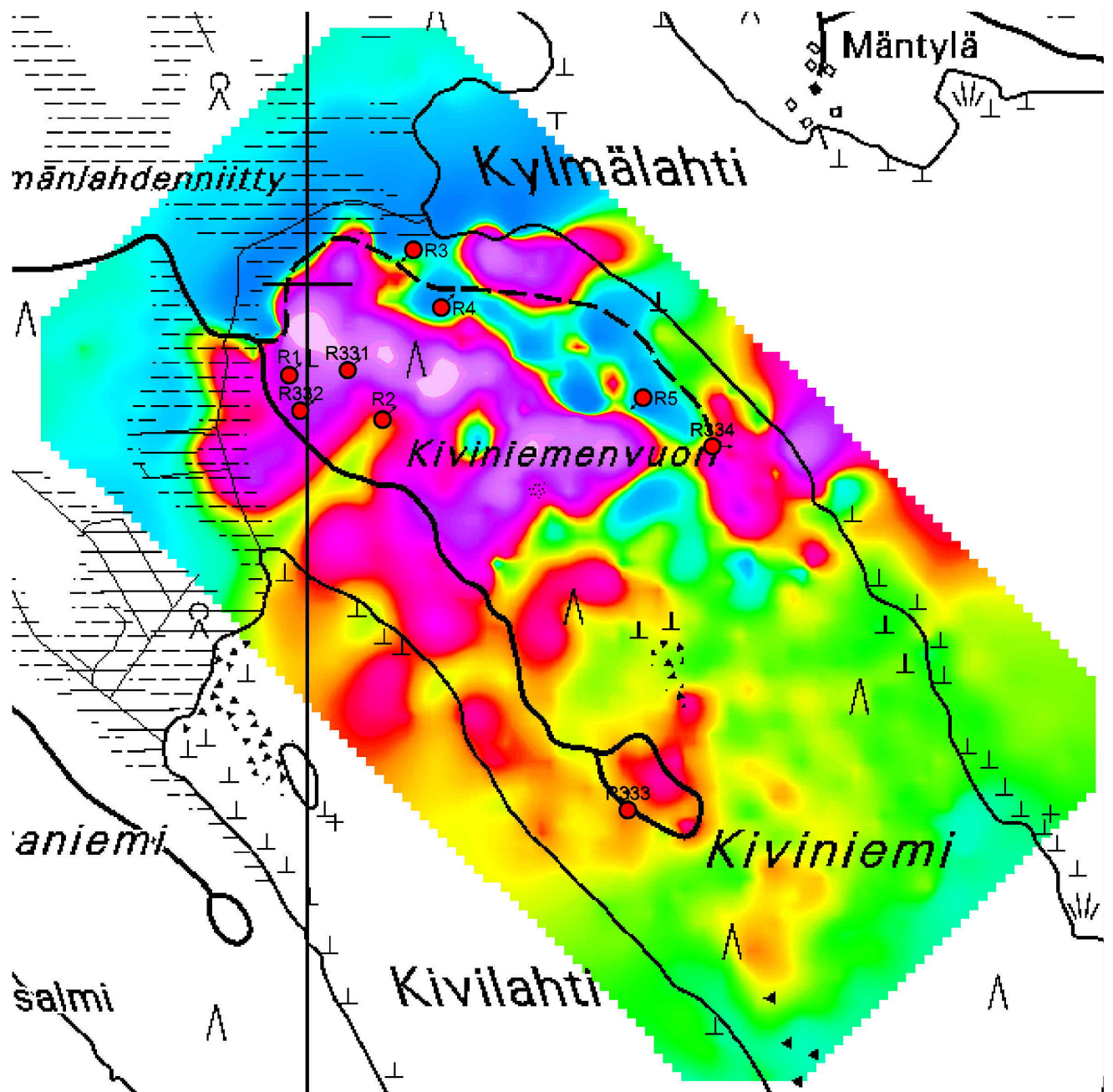
2 SUORITETUT TUTKIMUKSET

2.1 Maastogeofysikaaliset mittaukset ja niiden tulokset

Kiviniemen magneettisen anomalian aiheuttajan selvittämiseksi tehtiin alueelle tammi-helmikuussa 2010 hieman yli 0,8 km² lounas-koillinen linjasuuntainen systemaattinen sähkömagneettinen (MaxMin) ja magneettinen (totaali-intensiteetti) mittaus. Slingram mitattiin 100 metrin kelavälillä ja 20 metrin pistevälillä taajuuksilla 880, 3520 ja 14080 Hz. Magneettinen protonimagnetometraus tehtiin 10 metrin pistevälillä. Linjavälinä alueella on 50 metriä (kuva 2).



Kuva 1. Kiviniemen tutkimusalueen sijainti geologisella kartalla. Mukailtu Pääjärven (1991, 2000) pohjalta. Ultramafiset kivet Kerkonjoen pohjoispuolella on piirretty Makkonen & Forssin (2000) pohjalta.
 Fig. 1. Location of Kiviniemi exploration target on the geological map. Modified after Pääjärvi (1991, 2000). Delineation of ultramafic rocks in the area to the north from the Kerkonjoki river is after Makkonen & Forss (2000).



Kuva 2. GTK:n tekemien kairareikien sijainnit ja Kiviniemen alueen magneettinen maanpintakartta (punainen = maksimi, sininen = minimi).

Fig. 2. Location of the diamond drill holes made by GTK and ground magnetic total intensity map of the Kiviniemi area (red = maximum, blue = minimum).



GTK

2.2 Kiviniemen alueen geologiset tutkimukset

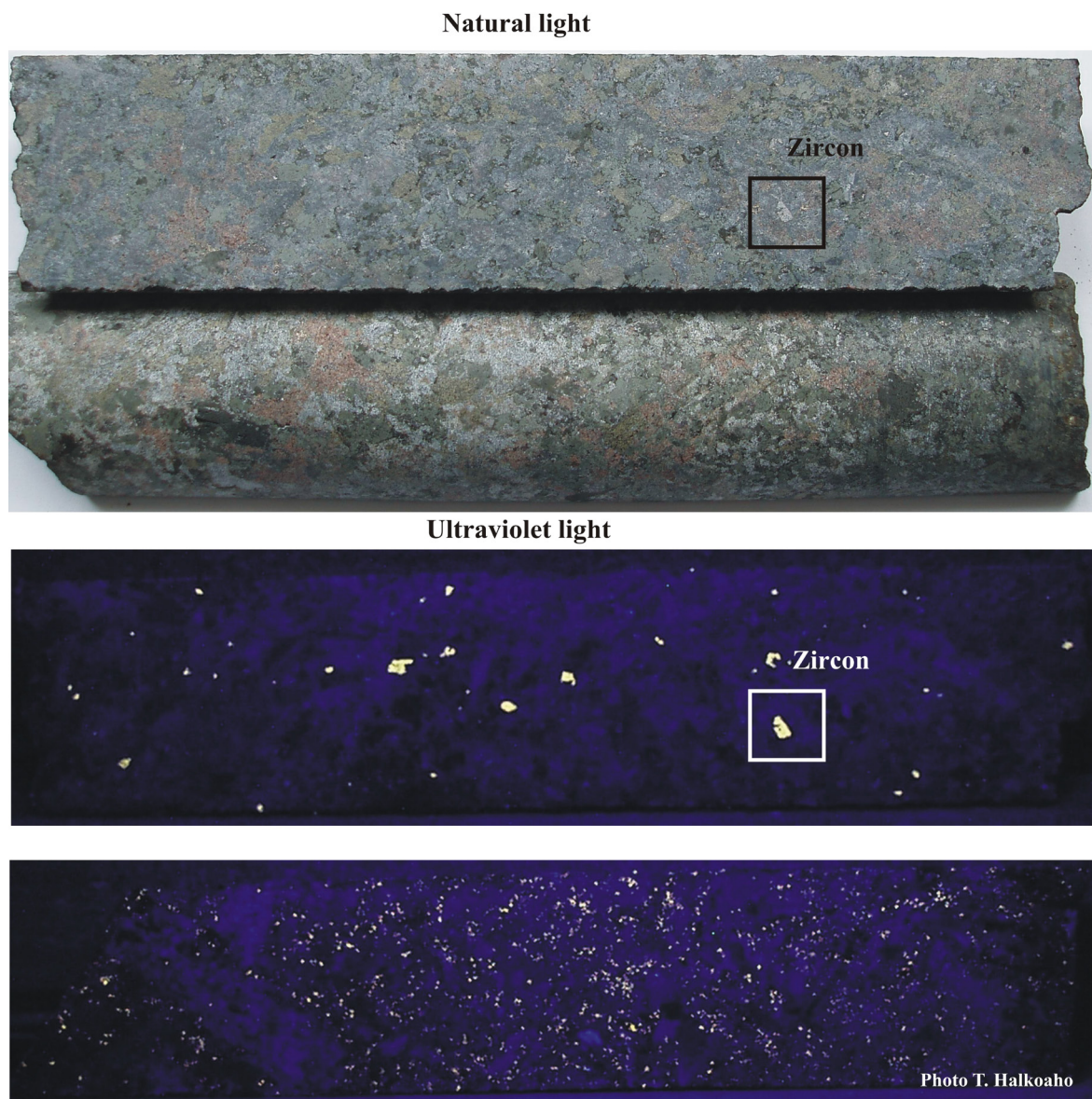
Varhaisimmat tutkimukset, joissa Rautalammin Kiviniemen gabro mainitaan, ovat Wilkmanin (1935, 1938) 1:400 000 karttalehtiselostus ja kallioperäkartta (lehti C3, Kuopio). Pääjärvi teki 1:100 000 mittakaavaisen kartoituksen Rautalammin ja Karttulan alueen lehdellä 3224 (Pääjärvi 1991) ja julkaisi sen selityksen vuonna 2000 (Pääjärvi 2000). Karttaselityksessä (Pääjärvi 2000) Kiviniemenvuoren gabroidisen kivilajin (ARP-84-082) mineraalikoostumukseksi kuvataan: plagioklaasia 36,6 %, pyrokseenia 24,6 %, kalimaasälpää 19,0 %, sarvivälkettä 11,8 % ja aksessorisia mineraaleja 8,0 %.

Vuonna 2008 Geologian tutkimuskeskus (GTK) aloitti Suonenjoen, Rautalammin, Tervolan ja Vesannon alueilla magneettiseen matalalentoaineiston tarkastelun, jonka tarkoituksena oli löytää Suonenjoen alueelta löydettyjen nikkeli- ja kuparipitoisten lohkareiden lähtöpaikka. Tässä yhteydessä kartoitettiin myös magneettisen anomalian kohdalla sijainnut Kiviniemenvuoren gabroidinen intruusio (kuva 1). Pian kuitenkin havaittiin, ettei intruusiossa ollut merkittäviä pitoisuuksia nikkeliä tai kuparia, mutta yllättävän korkeat skandium- ja zirkoniumpitoisuudet. Ensimmäiset neljä syväkairareikää (R331- R334, kuvat 2 ja 4 sekä taulukko 1), yhteispituudeltaan 346,50 metriä, tehtiin GTK:n toimesta talvella 2008-2009.

Kiviniemen kohteen kairasydämiä raportoitaessa ensimmäisessä kohteelle kairatussa reiässä (3224/2008/R331, pituus 102,10 m) havaittiin karkearakeisessa gabromaisessa kivessä 82,8 m matkalla (väli 5,10-87,90 m) UV-valossa runsaasti kullankeltaisena fluoresoivaa mineraalia, jonka huhtikuussa 2009 Bo Johanson GTK:n Espoon tutkimuslaboratoriossa määrittä zirkoniksi (kuva 3). Samassa yhteydessä määritettiin myös kivilajin päämineraalit: plagioklaasi ($An_{30,7-44,7}$), klinopyrokseeni (ferrohedenbergiitti), ferrohastingsiitti, fayaliitti ja almandiinigranaatti. Aksessorisina esiintyy zirkonin lisäksi, apatiittia, ilmeniittia, kvartssia, kalimaasälpää ja rikkikiisua. Mineralogiansa perusteella kivi nimettiin tuolloin granaattipitoiseksi fayaliittiferrogabroksi, myöhemmin kivilajinimi gabro muutettiin dioriitiksi. Kun kokokivianalyysit (175X) saatiin, niin havaittiin, että korkean zirkoniumpitoisuuden lisäksi myös kiven skandiumpitoisuus on epätavallisen korkea (n. 200 ppm). Kahdesta tämän kivilajityypin näytteestä oli tilattu myös 308M-analyysi (fluorivety-perkloorihappo-liuotus+sulate ja alkuaineiden määrittäminen ICP-MS-tekniikalla), joista toinen sisälsi skandiumia 281 ja toinen 218 ppm:ää. Korkein analysoitu zirkoniumpitoisuus oli tuolloin 0,56 %.

Kesäkuussa 2009 ryhdyttiin selvittämään, missä mineraalissa/mineraaleissa skandium on. Mikroanalyyseistä selvisi, että analysoitujen klinopyrokseenirakeiden (ferrohedenbergiitti) keskimääräinen Sc-pitoisuus on 735 ppm (n 13) ja ferrohastingsiittirakeiden 837 ppm (n 5). Lisäksi zirkoni sisältää skandiumia keskimäärin 187 ppm (n 12). Kiviniemen karkearakeisen granaattipitoisen fayaliittiferrodioriitin iäksi on saatu 1857 ± 2 Ma (A2024, kirjallinen tiedonanto Huhma 2010, Ahven 2012).

Paljastumahavaintoja tehtiin kesien 2008-2010 aikana 47 kpl ja paljastuma-/lohkarenäytteitä kerättiin 24 kpl (Kuva 4). Yhteensä tutkimuksessa analysoitettiin 21 paljastuma- ja 3 lohkarenäytettä (TAH\$-2008-19.1 – 21.1, kuva 4 sekä taulukko 3). Vuonna 2010 geofysikaalisten maastomittausten jälkeen tutkimuskohteelle kairattiin lisää viisi reikää (R1- R5), yhteispituudeltaan 905,30 metriä (kuvat 2 ja 3 sekä tauluk-



Kuva 3. Kairasydänvalokuvia Kiviniemen Sc-Zr-Y-esiintymän granaattipitoisesta fayaliittiferrodioriitista. Ylemmät kuvat on otettu luonnonvalossa ja alemmat ultraviolettivalossa. Ylemissä kuvissa punertava mineraali on almandiinigranaattia, harmahtavat mineraalit ovat plagioklaasia ja kalimaasälpää, tumman vihreä on amfibolia (ferrohasstingsiittiä), vihreä on klinopyrokseenia (ferrohedenbergiittiä) ja vaalean vihreä on fayaliittia. Alemmissä kuvissa keltaisena näkyvät rakeet ovat zirkonia. Kairasydänten leveys on 4 cm. Kuvat T. Halkoaho.

Fig. 3. Photographs of drill core samples from the garnet-bearing fayalite ferrodiorite typical of the Kiviniemi Sc-Zr-Y occurrence. The upper photograph shows the sample in natural light and the lower one in ultraviolet light. In the upper image, the reddish mineral is almandine garnet, the grayish minerals are plagioclase and potassium feldspar, dark green is amphibole (ferrohastingsite), green clinopyroxene (ferrohedenbergite) and light green fayalite. In the lower images the yellow spots mark zircon grains. The width of the drill core is 4 cm. Photos T. Halkoaho.



ko 1). Pisimmät reiät ovat pituudeltaan noin 250 metriä. Kairasydämet raportoitiin vuosina 2009-2010, ja kairarei'istä valittiin 67 näytettä kokokivianalyyysiin. Kerätystä näytteistä teetettiin mineralogiin tutkimuksiin 51 kpl kiillotettuja ohuthieitä. GTK teki kesällä 2009 valtaushakemuksen Kiviniemi 1, joka tuli voimaan kesäkuussa 2012 ja josta luovuttiin kesäkuussa 2015. Paljastumahavaintojen ja kairasydäntutkimusten pohjalta laadittiin Kiviniemen intruusiosta yksityiskohtainen kivilajikartta (Kuva 5). Vuosien 2009 ja 2010 aikana Rautalammin Kiviniemen näytteellä tehtiin laboratoriomittakaavan rikastutkimuksia Geologian tutkimuskeskuksen Outokummun Mineraalitekniikan laboratoriossa (Korhonen et al. 2010).

Valtauksen voimaan tulon jälkeen Kiviniemen kohteelta tutkimuksissa kerätystä materiaalista on valmistunut Geotieteiden ja maantieteen laitos Helsingin yliopistossa Marjaana Ahvenen Pro gradu -tutkielma. Kiviniemen intruusion mineralogiasta, litogeokemiasta ja synnystä (Ahven 2012, katso https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37610/Gradu_Ahven.pdf?sequence=3). Lisäksi sitä on esitelty muutamilla esitelmillä (Halkoaho et al. 2013a,b) ja postereilla (Hokka & Halkoaho 2014, Ahven & Halkoaho, 2015) ja Lithokseen on arvioitavaksi jätetty 2015 Ahven et al. julkaisu. Lisäksi siitä on julkaistu alustava mineraalivarantoarvio (Hokka ja Halkoaho 2014), jota tullaan täydentämään yksityiskohdaisemmalla mineraalivarantoarvioraportilla (Hokka 2015).

2.3 Syväkairaukset ja paljastumanäytteet

Kiviniemen tutkimuskohteelle tehtiin vuosina 2008, 2009 ja 2010 (8.12.2008-16.1.2009 ja 3.5.-3.6.2010) GTK:n toimesta yhdeksän (9) POKA-kairausreikää, yhteispituudeltaan 1251,80 metriä (taulukko 1). Kairauksista on vastannut GTK:n POKA-kairausyksiköt (GM100 ja GM150). Kairaukset on tehty halkaisijaltaan 56 mm putkistolla. Paljastumahavaintoja tehtiin kesien 2008-2010 aikana 47 kpl ja paljastuma-/lohkarenäytteitä kerättiin 24 kpl (Kuva 4).

Taulukko 1. Kiviniemen alueen timanttikairareiät.

Table 1. Diamond drill holes in the Kiviniemi area.

Kairareikä tunnus	UTM	KL	X (yhten.)	Y(yhten.)	X (Euref)	Y(Euref)	Korkeus	Suunta	Kaade	Maata (m)	Pituus (m)
Hole-id			Northing (X)	Easting (Y)	Northing (X)	Easting (Y)	Elev. (Z)	Direction	Inclination	Soil (m)	Length (m)
3224/08/R331	P4333 D2	3224 08D	6967905	3485045	6964985	484880	110.0	45	45	5.10	102.10
3224/08/R332	P4333 D2	3224 08B	6967860	3484993	6964940	484828	104.0	45	45	1.80	93.80
3224/08/R333	P4333 D4	3224 08D	6967416	3485356	6964497	485191	113.0	360	45	3.50	60.30
3224/09/R334	P4333 D4	3224 08D	6967820	3485450	6964900	485285	103.0	90	45	5.00	90.30
P433/2010/R1	P4333 D2	3224 08B	6967900	3484980	6964980	484815	105.0	45	45	3.00	253.20
P433/2010/R2	P4333 D2	3224 08D	6967850	3485085	6964930	484920	109.0	45	45	5.00	254.50
P433/2010/R3	P4333 D2	3224 08D	6968040	3485120	6965120	484955	99.0	225	45	5.90	173.60
P433/2010/R4	P4333 D2	3224 08D	6967975	3485150	6965055	484985	107.5	45	45	7.60	131.50
P433/2010/R5	P4333 D4	3224 08D	6967875	3485375	6964955	485210	108.0	225	45	5.00	92.50
											1251.80

2.4 Kairasydänten ja paljastumanäytteiden käsittely sekä analysointi

Kairarei'istä kerättyjen kokokivianalyyysinäytteiden (Labtium Oy:n menetelmät 175X ja 811L) pituus on 30-150 cm. Näytteet on kuivattu 70 °C:ssa (menetelmä 10), murskattu (menetelmä 30) tai hienomurskattu (>70 % <2 mm) (menetelmä 31) mangaaniteräsluoilla, erillinen ositus rännijakolaitteella (menetelmä 35)

ja jauhettu karkaistussa hiiliteräsjauhinastiassa (menetelmä 40) tai volframikarbidijauhinastiassa (menetelmä 43). Kiviniemen 67:stä kairasydännäytteestä teetettiin kokokivianalyysi 175X- (monialkuainemääritys XRF-menetelmällä, briketti) ja hiilimääritys 811L-(C:n määritys hiilianalyysaattorilla) menetelmillä. Seitsemästä (7) kairasydännäytteestä teetettiin Au-Pd-Te-analyysi Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 521U (GFAAS, kuningasvesiuutto huoneen lämmössä 5 g:n näytepunnituksesta, kersaostus elohopealla ja pitoisuusmääritys grafiittiuuniabsorptiospektrometrillä). Rautalammen Kiviniemen Sc-Zr-kohteelta teetettiin Sc:n, Y:n ja Zr:n määritykset viidestä (5) näytteestä analyysimenetelmällä 721P (monialkuainemääritys ICP-AES-tekniikalla, Na-peroksidisulate, 0,2 g alinäyte, Ni-upokas), 443:sta Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 724P (monialkuaineanalyysi, Na-peroksidisulate, 0,2 g alinäyte, Ni-upokas) ja kairareistä P433/2010/R1 teetettiin 169 kpl Ti:n ja Zn:n määrityksiä menetelmällä 720P (monialkuainemääritys ICP-AES-tekniikalla, Zr-upokas). Lisäksi teetettiin 27:stä näytteestä REE-alkuaineanalyysit Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 308M (fluorivety-perkloorihappo-liuotus+sulate ja alkuaineiden määritys ICP-MS-tekniikalla) (taulukko 2).

Taulukko 2. Kiviniemen alueen kairasydämistä tehdyt kemialliset analyysit.

Table 2. Chemical analyses made from diamond drill cores in the Kiviniemi area.

Kairareikä tunnus	Analyysitilaus	521U	720P/721P/724P	308M	175X	811L
Hole-id	Analysis order no.					
3224/08/R331	220336&220633	7	4 (721P [Sc, Y, Zr])	2	7	7
3224/08/R332	220336&220633		1 (721P [Sc, Y, Zr])	1	4	4
3224/08/R333	220336				4	4
3224/09/R334	220336				4	4
P433/2010/R1	220643		169 (720P [Ti & Zn] & 724P)	8	19	19
P433/2010/R2	220655		122 (724P)	6	11	11
P433/2010/R3	220655		97 (724P)	6	10	10
P433/2010/R4	220668		49 (724P)	3	5	5
P433/2010/R5	220668		6 (724P)	1	3	3
			448	27	67	67

Tutkimuksessa analysoitettiin 21 paljastuma- ja 3 lohkarinäytettä (TAH\$-2008-19.1 – 21.1, Kuva 4 sekä taulukko 3). Taulukosta 3 nähdään, mitkä näytteet on kuivattu 70 °C:ssa (menetelmä 10), murskattu (menetelmä 30) tai hienomurskattu (>70 % <2 mm) (menetelmä 31) mangaaniteräsleuoilla, erillinen ositus rännijakolaitteella (menetelmä 35) ja jauhettu karkaistussa hiiliteräsjauhinastiassa (menetelmä 40) tai volframikarbidijauhinastiassa (menetelmä 43). Alussa kaksi paljastuma- ja kolme lohkarinäytettä analysoitettiin Labtium Oy:n analyysimenetelmillä 511P (kuningasvesiliuotus 90 °C:ssa ja monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla) ja 704P (fire assay rikastusmenetelmä, 25g alinäyte ja Au, Pd ja Pt määritys ICP-AES-tekniikalla). Koska näissä analyyseissä ei ilmennyt merkittäviä metallipitoisuuksia, näiden menetelmien käytöstä luovuttiin. Tämän jälkeen Kiviniemen kahdeksasta paljastumanäytteestä teetettiin kokokivianalyysi 175X- (monialkuainemääritys XRF-menetelmällä, briketti) ja hiilimääritys 811L-(C:n määritys hiilianalyysaattorilla) menetelmillä. Yhdestätoista (11) paljastumanäytteestä teetettiin analyysit Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 724P (monialkuaineanalyysi, Na-peroksidisulate, 0,2 g alinäyte, Ni-upokas) Lisäksi teetettiin kolmesta näytteestä REE-alkuaineanalyysit Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 308M (fluorivety-perkloorihappo-liuotus+sulate ja alkuaineiden määritys ICP-MS-tekniikalla) (taulukko 3).

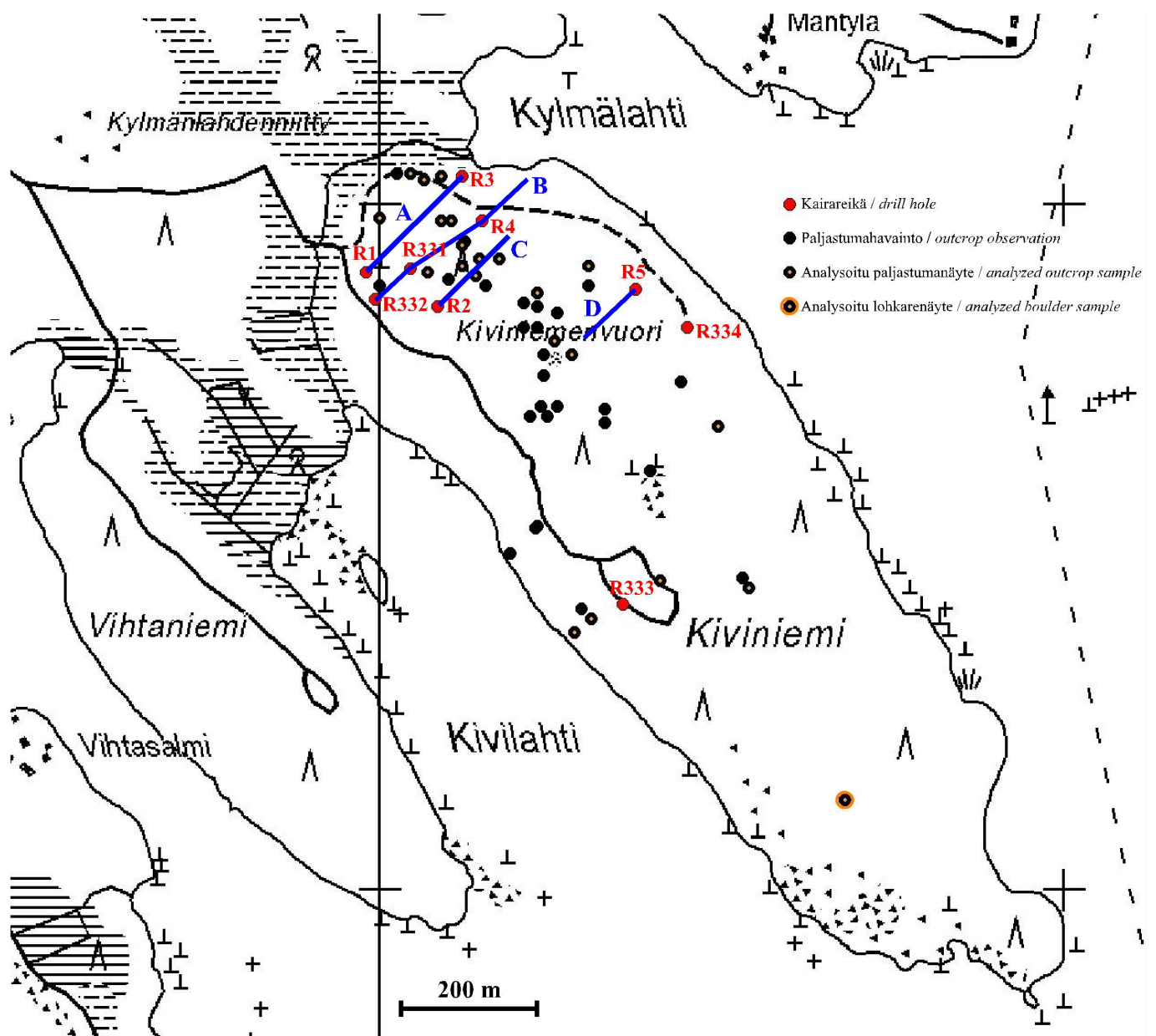


Taulukko 3. Tutkimusalueen paljastumista kerätyt näytteet ja niistä tehdyt kemialliset analysiitit.
 Table 3. Outcrop samples and chemical analyses from the research area.

Näyte	Analyyisinro	Kivilaji	X (KKJ 3/YKJ)	Y (KKJ 3/YKJ)	X (EUREF)	Y (EUREF)
Sample	Analysis no.	Rock type	Northing (X)	Easting (Y)	Northing (X)	Northing (X)
TAH\$-2008-17.1	L08074091	Dioriitti	6967800	3485255	6964880	485090
TAH\$-2008-18.1	L08074092	Ferrodioriitti(+graniitti)	6967980	3485000	6965060	484835
TAH\$-2008-19.1	L08074093	Dioriitti	6967130	3485680	6964211	485515
TAH\$-2008-20.1	L08074094	Dioriitti	6967130	3485680	6964211	485515
TAH\$-2008-21.1	L08074095	Dioriitti	6967130	3485680	6964211	485515
TAH\$-2008-29.1	L09037371	Dioriitti	6967450	3485410	6964531	485245
TAH\$-2008-30.1	L10094603	Granodioriitti	6967975	3485090	6965055	484925
TAH\$-2008-31.1	L10094604	Granodioriitti	6967975	3485105	6965055	484940
TAH\$-2008-33.1	L10094605	Ferrodioriitti	6967940	3485120	6965020	484955
TAH\$-2008-34.1	L10094606	Ferrodioriitti	6967920	3485145	6965000	484980
TAH\$-2008-36.1	L10094607	Dioriitti	6967895	3485140	6964975	484975
TAH\$-2008-40.1	L10094608	Dioriitti	6967870	3485230	6964950	485065
TAH\$-2009-1.1	L09037372	Ferrodioriitti	6967910	3485305	6964990	485140
TAH\$-2009-4.1	L09076200	Ferrodioriitti	6968040	3485090	6965120	484925
TAH\$-2009-5.1	L09076201	Dioriitti+graniitti	6967395	3485310	6964476	485145
TAH\$-2009-7.1	L09076202	Graniitti	6967375	3485285	6964456	485120
TAH\$-2009-23.1	L09076207	Dioriitti+graniitti	6967675	3485495	6964756	485330
TAH\$-2009-25.1	L10094609	Ferrodioriitti	6968035	3485065	6965115	484900
TAH\$-2009-26.1	L10094610	Ferrodioriitti	6968045	3485045	6965125	484880
TAH\$-2009-28.1	L09076208	Graniitti	6967440	3485540	6964521	485375
TAH\$-2009-32.1	L09076209	Dioriitti	6967780	3485280	6964860	485115
TAH\$-2010-1.1	L10094611	Graniitti	6967900	3485070	6964980	484905
TAH\$-2010-2.1	L10094612	Ferrodioriitti	6967910	3485120	6964990	484955
TAH\$-2010-3.1	L10094613	Ferrodioriitti	6967920	3485175	6965000	485010

Näyte	Analyyssitilaus	10	30	31	35	40	43	175X	811L	511P	308M	724P	704P
Sample	Anal. order no.												
TAH\$-2008-17.1	212457		X	X	X					X			X
TAH\$-2008-18.1	212457		X	X	X					X			X
TAH\$-2008-19.1	212457		X	X	X					X			X
TAH\$-2008-20.1	212457		X	X	X					X			X
TAH\$-2008-21.1	212457		X	X	X					X			X
TAH\$-2008-29.1	220336		X	X	X		X	X					
TAH\$-2008-30.1	220655	X	X	X	X	X						X	
TAH\$-2008-31.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2008-33.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2008-34.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2008-36.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2008-40.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2009-1.1	220336		X	X	X		X	X					
TAH\$-2009-4.1	220390		X	X	X		X	X		X			
TAH\$-2009-5.1	220390		X	X	X		X	X					
TAH\$-2009-7.1	220390		X	X	X		X	X			X		
TAH\$-2009-23.1	220390		X	X	X		X	X					
TAH\$-2009-25.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2009-26.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2009-28.1	220390		X	X	X		X	X			X		
TAH\$-2009-32.1	220390		X	X	X		X	X					
TAH\$-2010-1.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2010-2.1	220655	X	X	X	X							X	
TAH\$-2010-3.1	220655	X	X	X	X							X	
Total		11	7	17	13	24	11	8	8	5	3	11	5





Kuva 4. Kiviniemen alueen kairareivät, paljastuma/lohkarehavainnot ja analysoidut paljastuma/lohkarenäytteet.
 Fig. 4. Diamond drill holes, outcrop/boulder observations and analyzed outcrop/boulder samples of the Kiviniemi area.



3 TUTKIMUSALUEEN GEOLOGISET PÄÄPIIRTEET

Rautalammin Kiviniemen gabroidinen intruusio sijaitsee Keski-Suomen granitoidikompleksin itäosassa (kuva 1) lähellä kaakosta luoteeseen suuntautuvaa Savon vyöhykettä, johon kuuluu eri-ikäisiä Svekofennisiä primitiivisen kaarityypin kiviä, kuten bimodaalisia vulkaniitteja, gneissitonaliitteja ja pyrokseenipitoisia granitoideja (Pääjärvi 2000). Keski-Suomen granitoidikompleksin intruusioidet ovat pääasiassa 1900–1860 Ma ikäisiä synorogeenisiä syväkiviä. Ne voidaan jakaa edelleen synkinemaattisiin ja nuorempiin postkinemaattisiin kiviin (Nironen 2003). Valtaosa granitoideista on synkinemaattisia granodioriitteja, graniitteja ja tonaliitteja. Savon vyöhykkeen mafisten ja ultramafisten syväkivien synty liittyy vesipitoisiin kaarityypin basaltteihin primitiivisessä kaarikompleksissa. Ne ovat usein nikkeli- ja kuparikriittisiä.

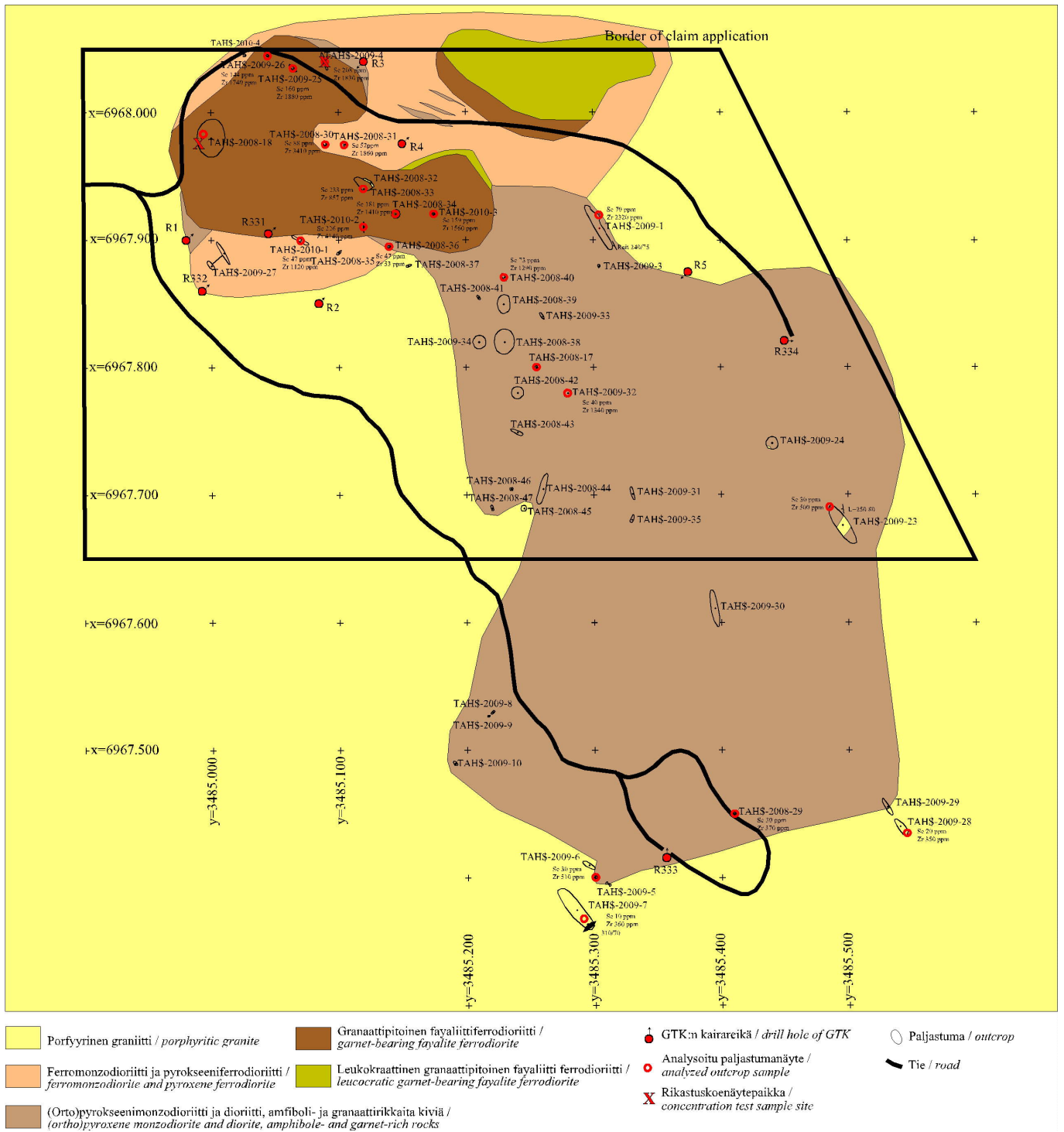
Rautalammin ja Karttulan kartta-alueen pienialaiset emäksiset syväkivet Pääjärvi (2000) jakaa sarvivälkepitoisiin ja pyrokseenipitoisiin gabroihin ja dioriitteihin. Näitä gabroidisia intruusioita esiintyy etenkin korkean metamorfoosiasteen alueella, ja erilaisia hybridirakenteita, sulkeumia ja breksioitumista on havaittu niiden reunavyöhykkeissä. Gabro- ja dioriitti-intruusioita halkovat usein graniittiset juonet ja suonet. Ultramafisia kiviä on harvassa pieninä esiintyminä (esim. Makkonen & Forss 2000) tai differentioituneina alueina emäksisten intruusioiden sisällä.

Rautalammin Kiviniemen ferrodioriitti-intruusio koostuu osista, jotka voidaan erottaa toisistaan raekoon perusteella. Karkearakeisin, rauta- ja skandiumrikkain granaattipitoinen ferrodioriitti (kansikuva ja kuva 5) sisältää fayaliittia ja se sijaitsee niemen pohjoisosassa dioriittisen yksikön ympäröimänä. Sen reunoilla esiintyy paikoitellen osueina vaaleamman sävyistä leukoferrodioriittia.

Massamainen pieni-keskirakeinen ferrodioriitti muodostaa pinta-alaltaan pääosan intruusioista ja ulottuu pitkälle etelään (kuvat 5 ja 6). Tämä kivityyppi on paikoin voimakkaasti metamorfoitunutta koostuen amfiboliiteista ja jopa granaattikivistä. Siinä esiintyvät graniittijuonet ovat useimmiten pegmatiittisia, lisäksi siitä tavataan satunnaisesti kalimaasälpähajarakeita.

Ferrodioriitti-intruusioita ympäröi porfyyrinen graniitti (kuvat 5 ja 7), joka rajautuu lännessä ja pohjoisessa porfyyriseen granodioriittiin, joka erottuu edellisestä lähinnä plagioklaasivaltaisen perusmassansa perusteella (Pääjärvi, 2000).

Ahven (2012) on kuvannut ja selvittänyt Pro gradu-työssään yksityiskohtaisesti tutkimusalueen mineralogian ja geokemian sekä julkaissut tutkimuskohteelta tehdyt ikämääritykset: granaattipitoisen fayaliitti ferrodioriitin iäksi on saatu 1857 ± 2 miljoonaa vuotta (A2024) ja sitä ympäröivän porfyyrisen graniitin iäksi 1859 ± 9 miljoonaa vuotta (A2146). Ahven tulee tulevaisuudessa julkaisemaan yksityiskohtaisempia tutkimustuloksia kansainvälisissä julkaisusarjoissa.



Kuva 5. Kiviniemen tutkimuskohteen geologinen kartta.
 Fig. 5. Geological map of the Kiviniemi area.



Kuva 6. Kalliopaljastuma pieni-keskirakeista ferrodioriittia (TAH\$-2009-23, taulukko 3), Kiviniemi, Rautalampi (karttalehti 3224 08D2/P4333 D4, $x = 6967.675/6964.756$ ja $y = 3485.495/485.330$). Kuva T. Halkoaho.

Fig. 6. Bedrock outcrop of small- to medium-grained ferrodiorite, Kiviniemi, Rautalampi (map sheet 3224 08D2/P4333 D4, $x = 6967.675/6964.756$ ja $y = 3485.495/485.330$). Photo T. Halkoaho.



Kuva 7. Kalliopaljastuma karkearakeista porfyyristä graniittia (TAHŠ-2009-28, taulukko 3), Kiviniemi, Rautalampi (karttalehti 3224 08D1/P4333 D4, $x = 6967.440/6964.521$ ja $y = 3485.540/485.375$). Kuva T. Halkoaho.
Fig. 7. Bedrock outcrop of coarse-grained porphyritic granite, Kiviniemi, Rautalampi (map sheet 3224 08D1/P4333 D4, $x = 6967.440/6964.521$ ja $y = 3485.540/485.375$). Photo T. Halkoaho.

4 KIVINIEMEN GABROIDISEN INTRUUSION TUTKIMUSTEN TULOKSET

Kiviniemen tutkimuskohteelle tehtiin vuosina 2008, 2009 ja 2010 yhdeksän (9) POKA-kairausreikää, yhteispituudeltaan 1251,80 metriä (taulukko 1). Näistä kuudella (3224/08/R331, 3224/08/R331, P433/2010/R1-R4) kartoitettiin noin 2,5 hehtaarin kokoisen pääesiintymän laajuutta ja kolmella muulla pyrittiin saamaan alueesta tarkempi geologinen kuva. Kiviniemen Sc-Zr-Y-esiintymän isäntäkivi on erittäin rautarikas granaattipitoinen fayaliittiferrodioriitti ja leukoferrodioriitti, jonka ikä on 1857 ± 2 miljoonaa vuotta. Se liittyy ajallisesti paleoproterotsooisien Svekofennisen orogeenin postkinemaattiseen Fe-Ti-P-rikkaaseen mafiseen magmatismiin. Kiven päämineraalit ovat (ferro)hedenbergiittinen klinopyrokseeni, plagioklaasi (An_{26-46} , keskiarvo noin 40), ferroamfibolit, almandiinigranaatti, fayliittinen oliviini ($FO_{0,9-3,9}$) ja kalimaasälpä. Aksessorisina mineraaleina esiintyy mm. biotiitti, zirkoni, ilmeniitti, fluoriapatiitti, pyriitti, magneettikiisu, grüneriitti, klinoferrosiliitti, kloriitti ja stilpnomelaani (Ahven 2012, Halkoaho et al. 2013a,b).

Massamainen pieni-keskirakeinen ferrodioriittien-ferromontsodioriittien ryhmä ja pyrokseeniferrodioriitti muodostavat pinta-alaltaan pääosan intruusiosta (kuva 6). Kiven päämineralogia on hyvin samanlainen kuin edellisen kiven ollen kuitenkin vähemmän mafinen. Ferrodioriitti on paikoin hyvin muuttunutta koostuen amfiboliiteista ja jopa granaattikivistä. Pyrokseeniferrodioriitissa esiintyy ortopyrokseenia (Ahven 2012).

Gabrointruusiota ympäröivän, käytännössä mafisen intruusion kanssa samanikäisen (1859 ± 9 miljoonaa vuotta), porfyyrin graniitin päämineraalit ovat kalimaasälpä, plagioklaasi, kvartsi ja ortopyrokseeni. Suuntautuneet kalimaasälpärakeet esiintyvät pölkkyinä maksimissaan jopa 8 cm pitkinä hajarakeina (kuva 7), hienorakeinen kvartsista ja plagioklaasista koostuvassa perusmassassa. Ortopyrokseeni on pääasiällisin tumma mineraali (Ahven 2012).

Kiviniemen Fe-Ti-P-rikas mafinen intruusio on erittäin rautarikas, pääesiintymän granaattipitoinen fayaliittiferrodioriitti sisältävät FeO:ta (FeOtot) 11-33 paino-%, keskimääräisen magnesiumluvun ollessa noin 8,7. Niiden korkein TiO_2 -pitoisuus on noin 3 paino-% ja P_2O_5 -pitoisuus noin 1 paino-%. Kaikkien intruusion kivien SiO_2 -pitoisuus on alle 52 paino-%. Kiviniemen intruusion ns. pääesiintymässä on poikkeuksellisen korkeat skandium- (50-281 g/t), zirkonium- (275-5600 g/t) ja yttrium (58-189 g/t) pitoisuudet kuin myös sinkkipitoisuus (213-700 g/t). Vastaavasti sen nikkeli-, kupari- ja kromipitoisuudet ovat erittäin alhaiset (Ahven 2012, Halkoaho et al. 2013a,b).

Kiviniemen karkearakeisessa granaattipitoisessa fayaliittiferrodioriitissa ei esiinny ns. omia skandiummineraaleja, vaan kivessä skandiumin kantajina ovat pääasiassa ferroamfibolit (Sc-pitoisuus 270-1360 g/t) ja ferrohedenbergiittinen klinopyrokseeni (Sc-pitoisuus 530-1060 g/t). Myös apatiitista on havaittu korkeita Sc-pitoisuuksia (max. 740 g/t), mutta koska kivessä ei apatiittia ole kuin noin 2 %, sen sitoman skandiumin määrä on ferroamfiboleja ja klinopyrokseenia merkityksettömämpi. Zirkoni sisältää keskimäärin yli 100 g/t skandiumia ja saattaa selittää sen ultraviolettallossa näkyvän keltaisen väri-ilmiön (kuva 3). Zirkoni sisältää myös keskimäärin vajaan prosentin (9243 g/t) hafniumia ja apatiitti 540 g/t ytt-

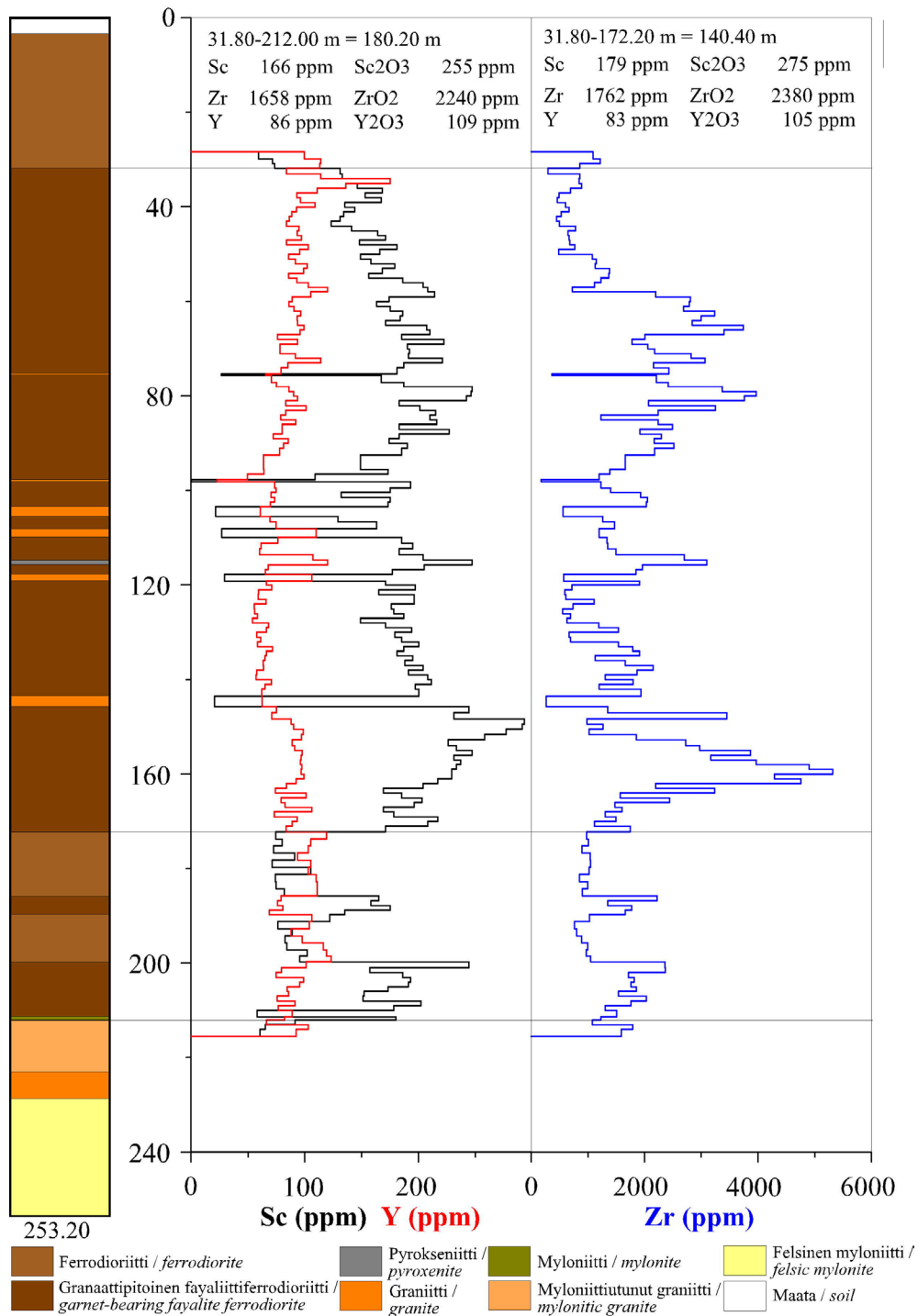
riumia. Zirkoni on esiintymässä pääasiallinen hafniumin kantaja ja apatiitti yttriumin kantaja (Ahven 2012, Halkoaho et al. 2013a,b).

Kiviniemen Sc-Zr-Y-pääesiintymään kairattiin kolme kairareikäprofiilia. Luoteisin A-profiili (kuvat 4, 5, 8, 9 ja 10) käsittää kaksi kairareikää P433/2010/R1 ja P433/2010/R3. Molemmissa kairarei'issä skandiumista, zirkoniumista ja yttriumista rikastunut granaattipitoinen fayaliittiferrodioriitti on hyvin homogeeninen sisältäen vain joitain graniittisia juonia ja kairareiän P433/2010/R1 lopussa pieni-keskirakeisemman ferrodioriitti"kerroksen". Profiililla esiintymän lounaispuolella on pieni-keskirakeista ferrodioriittia ja koillispuolella felsisiä myloniittisia kiviä ja keskirakeista ferrodioriittia (kuvat 8-10). Kairareiässä P433/2010/R1 (kuva 8) esiintymälävistyksen pituus ja keskimääräiset pitoisuudet ovat 1) 180,20 m Sc 166 g/t, Zr 1658 g/t ja Y 86 g/t tai 2) 140,40 m Sc 179 g/t, Zr 1762 g/t ja Y 83 g/t. Kairareiässä P433/2010/R3 (kuva 9) esiintymälävistyksen pituus ja keskimääräiset pitoisuudet ovat 139,70 m Sc 158 g/t, Zr 1398 g/t ja Y 78 g/t.

Keskimmäinen B-profiili (kuvat 4, 5, 11, 12, 13 ja 14) käsittää kolme kairareikää 3224/08/R331, 3224/08/R332 ja P433/2010/R4. Näistä ainoastaan yksi kairareikä 3224/08/R331 (esiintymän löytökairareikä, kuva 11) osuu Kiviniemen Sc-Zr-Y-pääesiintymään, mutta sitä ei tuolloin alkuvaiheessa analysoitu systemaattisesti (katso taulukko 2). Kairareikä 3224/08/R332 (kuva 12) edustaa esiintymän länsipuolella olevaa dioriittista yksikköä ja kairareikä P433/2010/R4 alkaa pääesiintymän itäpuolelta lävistäen pääesiintymän koillis/itäpuolella olevan kapeahkon satelliittiesiintymän: 15,30 m Sc 189 g/t, Zr 3014 g/t ja Y 73,5 g/t (kuvat 13 ja 14). Kairareikä päättyy paksuun granaattipitoiseen fayaliittileukoferrodioriittiin.

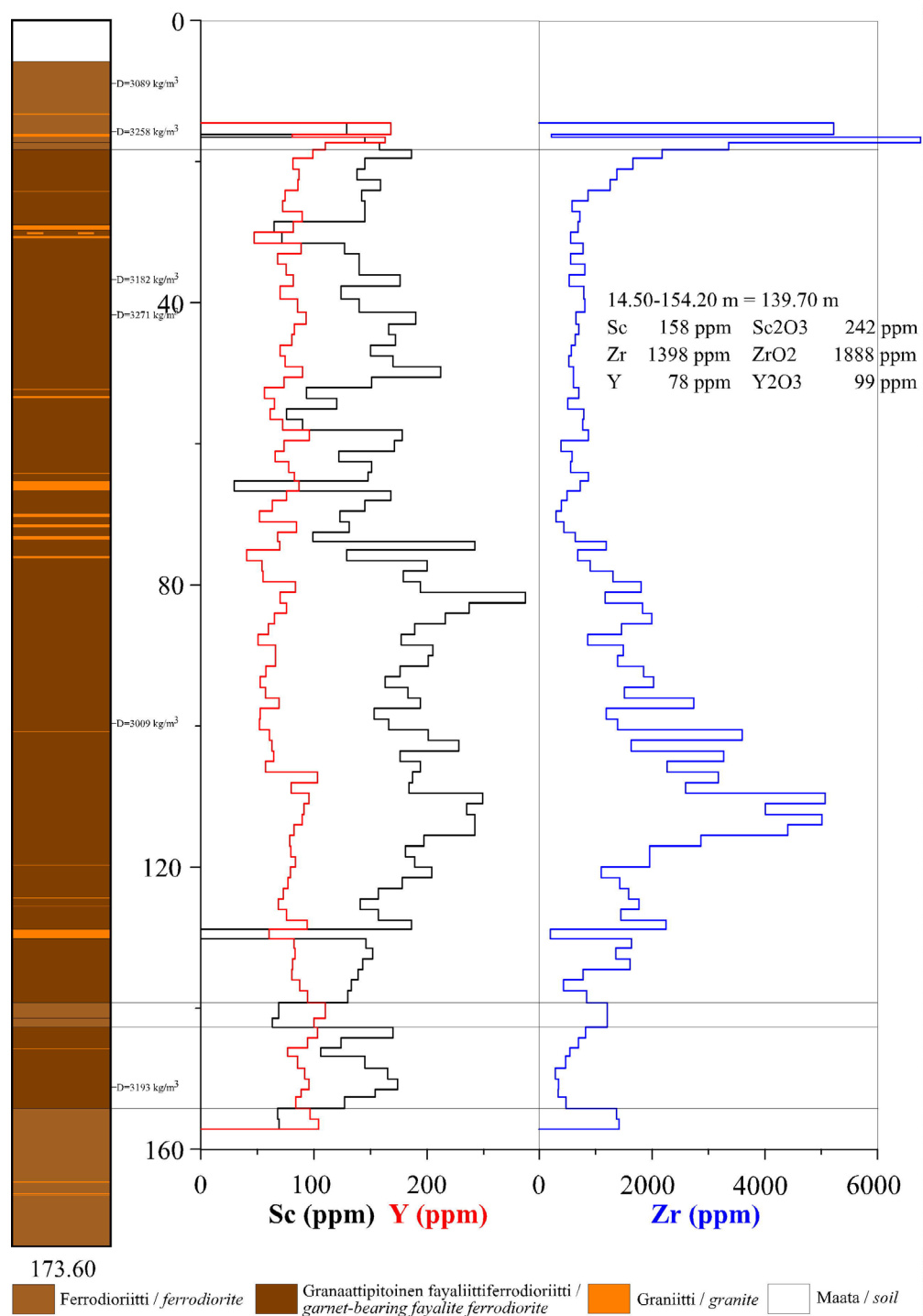
Kaakkoisin C-profiili (kuvat 4, 5, 15 ja 16) käsittää vain yhden kairareiän P433/2010/R2. Kairareikä alkaa pääesiintymän länsipuolen graniittisesta yksiköstä ja päättyy hieman yli 254 m syvyydellä itäpuolella olevaan dioriittiseen yksikköön. Pääesiintymän itäkontaktilla (noin 240 m syvyydellä) on kapea granaattipitoinen fayaliittileukoferrodioriitti. Pääesiintymä on kohtalaisen homogeeninen sisältäen vain joitain graniittisia juonia.

Myös profiili D (kuvat 4, 5, 17 ja 18), joka on Sc-Zr-Y-esiintymän ulkopuolella, käsittää vain yhden kairareiän P433/2010/R5. Kairareikä on miltei kokonaan homogeenista, pieni-keskirakeista ja tummaa ferrodioriittia, jota leikkaa joitain graniittisia juonia. Reiässä näytti siltä, että zirkoni hyvin heikosti fluoresoisi ja siksi siitä kokeeksi analysoitettiin kuuden metrin pätkä, jonka skandiumpitoisuus on 64 g/t, zirkoniumpitoisuus 1292 g/t ja yllättäen yttriumpitoisuus 125 g/t.



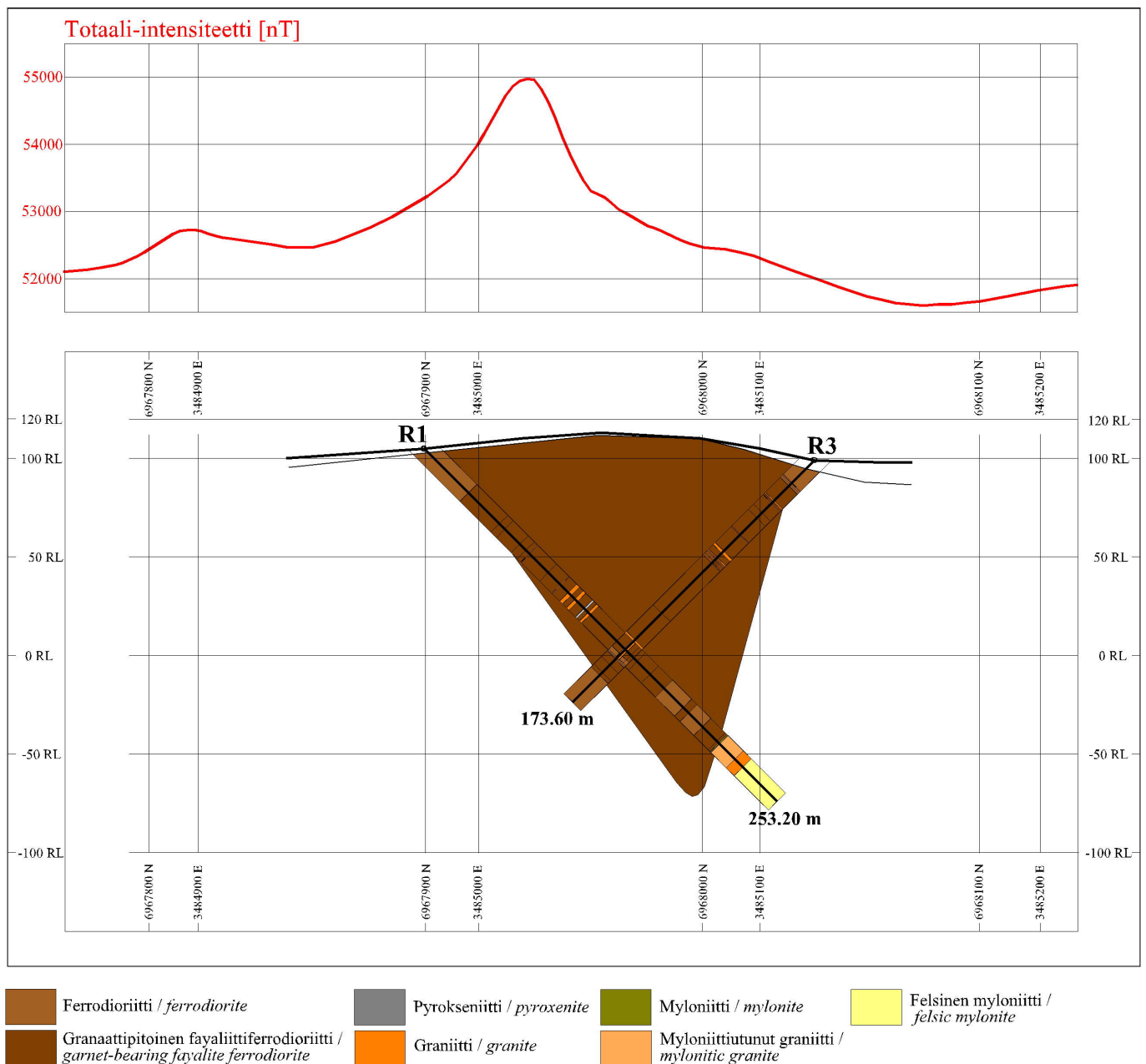
Kuva 8. Kairareiän P433/2010/R1 (profiili A kuvassa 4) kivilajipylväs ja skandiumin, yttriumin sekä zirkoniumin koostumusvaihtelut.

Fig. 8. Rock type column and variations in scandium, yttrium and zirconium concentrations of the diamond drill hole P433/2010/R1 (profile A in Fig. 4).

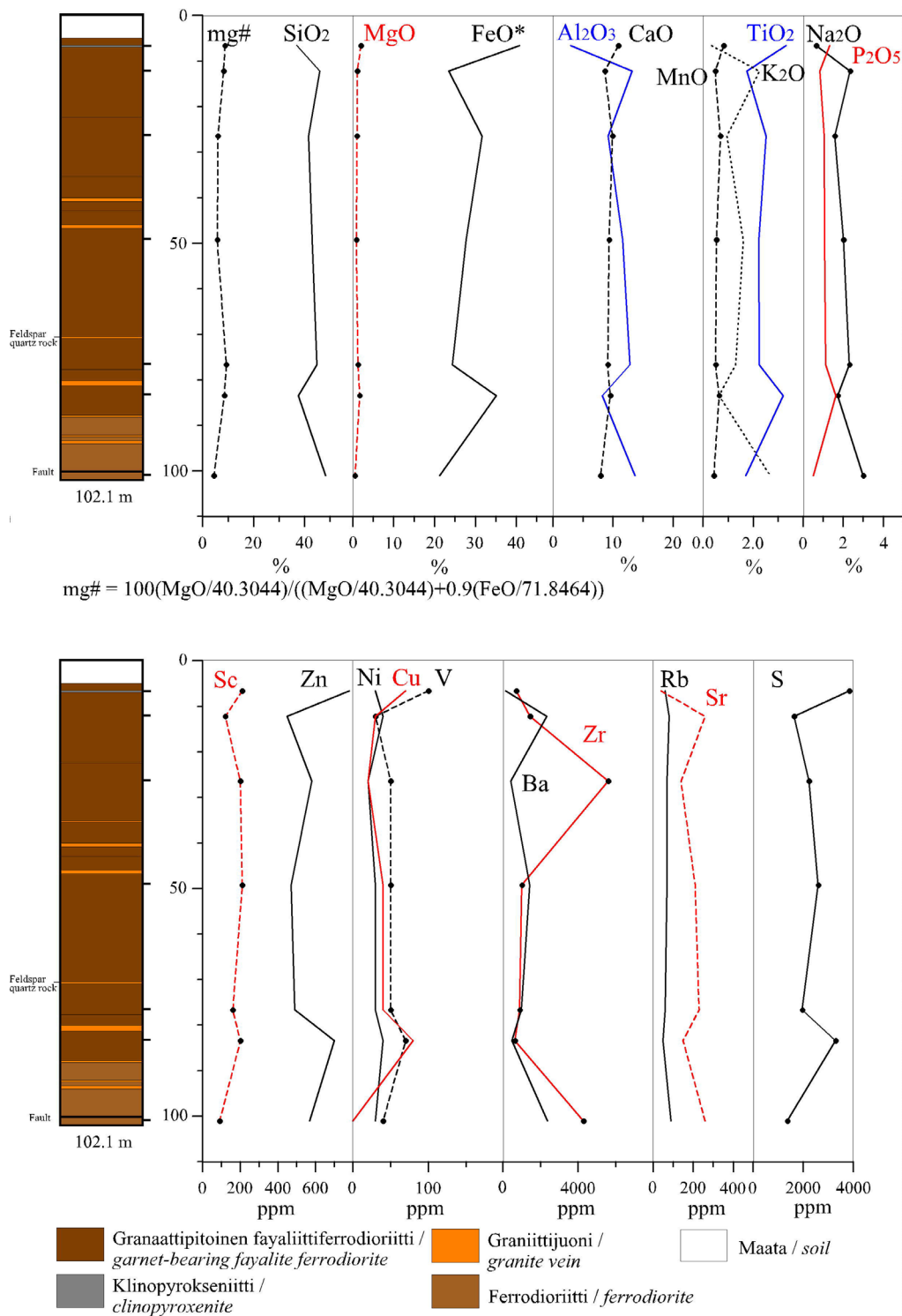


Kuva 9. Kairareiän P433/2010/R3 (profiili A kuvassa 4) kivilajipylväs ja skandiumin, yttriumin sekä zirkoniumin koostumusvaihtelut.

Fig. 9. Rock type column and variations in scandium, yttrium and zirconium concentrations of the diamond drill hole P433/2010/R3 (profile A in Fig. 4).

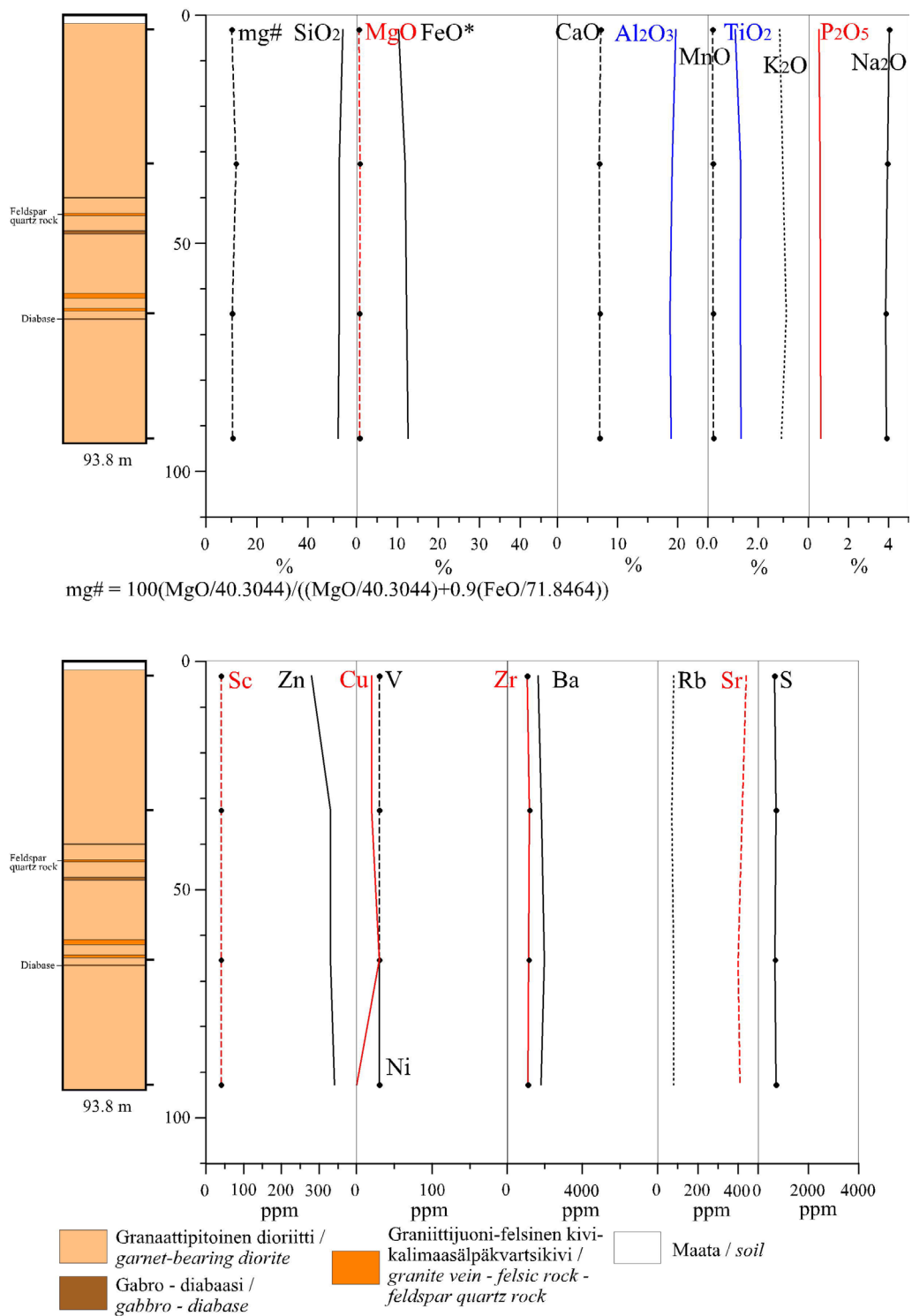


Kuva 10. Kiviniemen luoteinen kairausprofiili (profiili A kuvassa 4), jossa reiät P433/2010/R1 ja P433/2010/R3 (kuvat 8 ja 9). Yläosassa on esitetty magneettisen maastomittauksen totaali-intensiteetti.
 Fig. 10. NW diamond drill hole cross section profile of Kiviniemi (profile A in Fig. 4), which includes drill holes P433/2010/R1 and P433/2010/R3 (Figs 8 and 9). In the upper part is shown the total intensity of the ground magnetic survey.



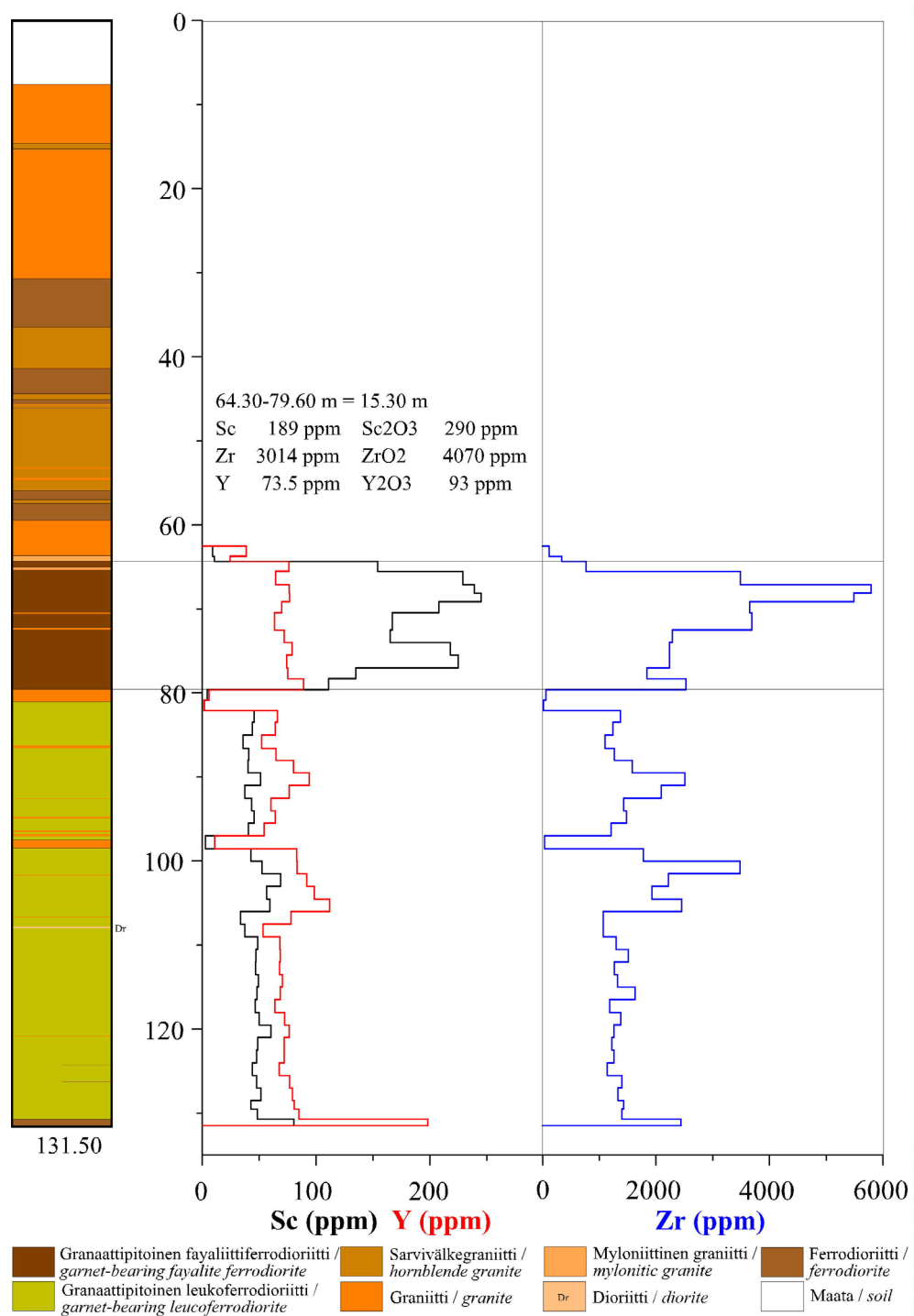
Kuva 11. Kairareiän 3224/08/R331 kivilajipylväs ja alkuaineiden koostumusvaihteluja.

Fig. 11. Rock type column and variations in element concentrations of the diamond drill hole 3224/08/R331.



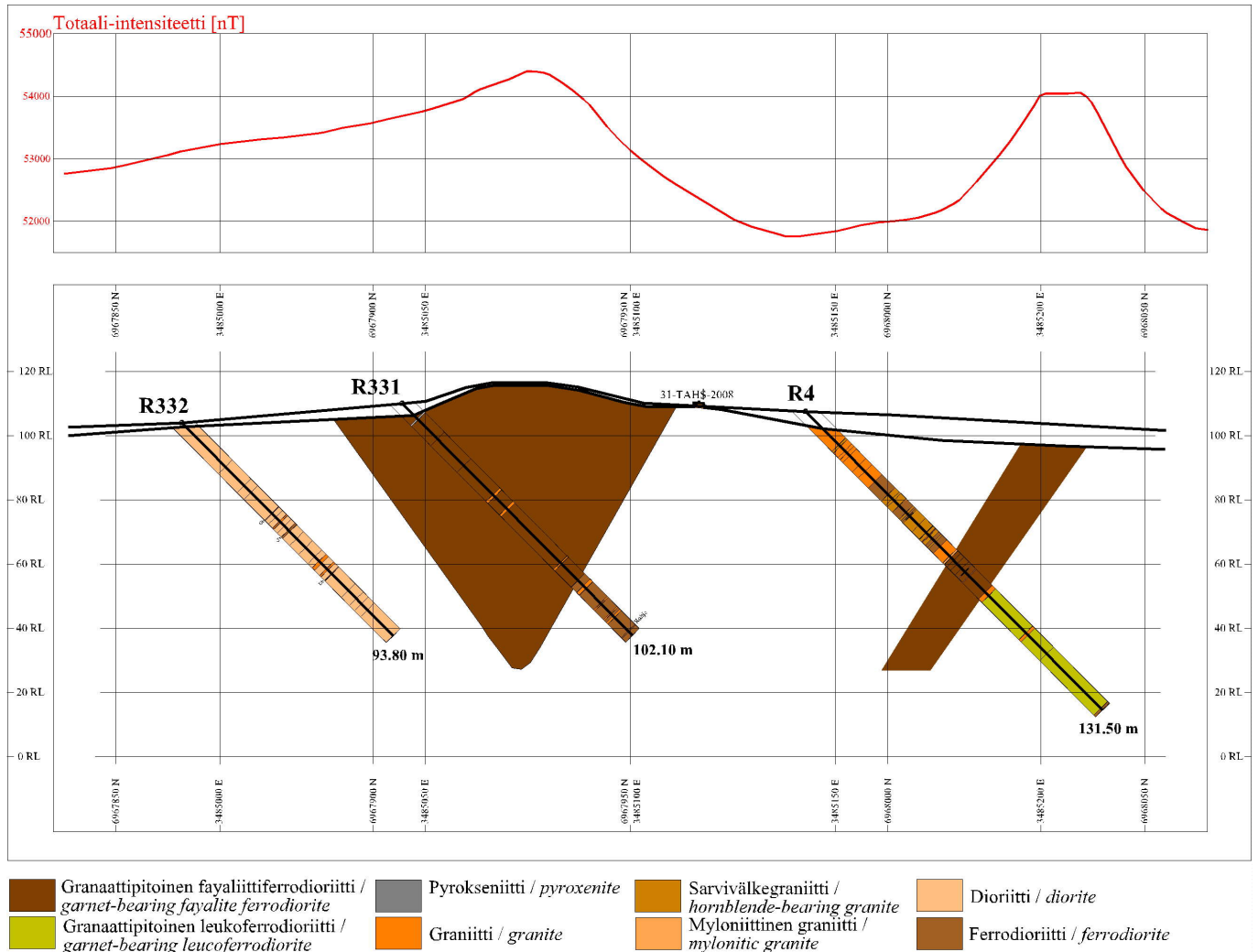
Kuva 12. Kairareian 3224/08/R332 kivilajipylväs ja alkuaineiden koostumusvaihteluja.

Fig. 12. Rock type column and variations in element concentrations of the diamond drill hole 3224/08/R332.



Kuva 13. Kairareian P433/2010/R4 (profiili B kuvassa 4) kivilajipylväs ja skandiumin, yttriumin sekä zirkoniumin koostumusvaihtelut.

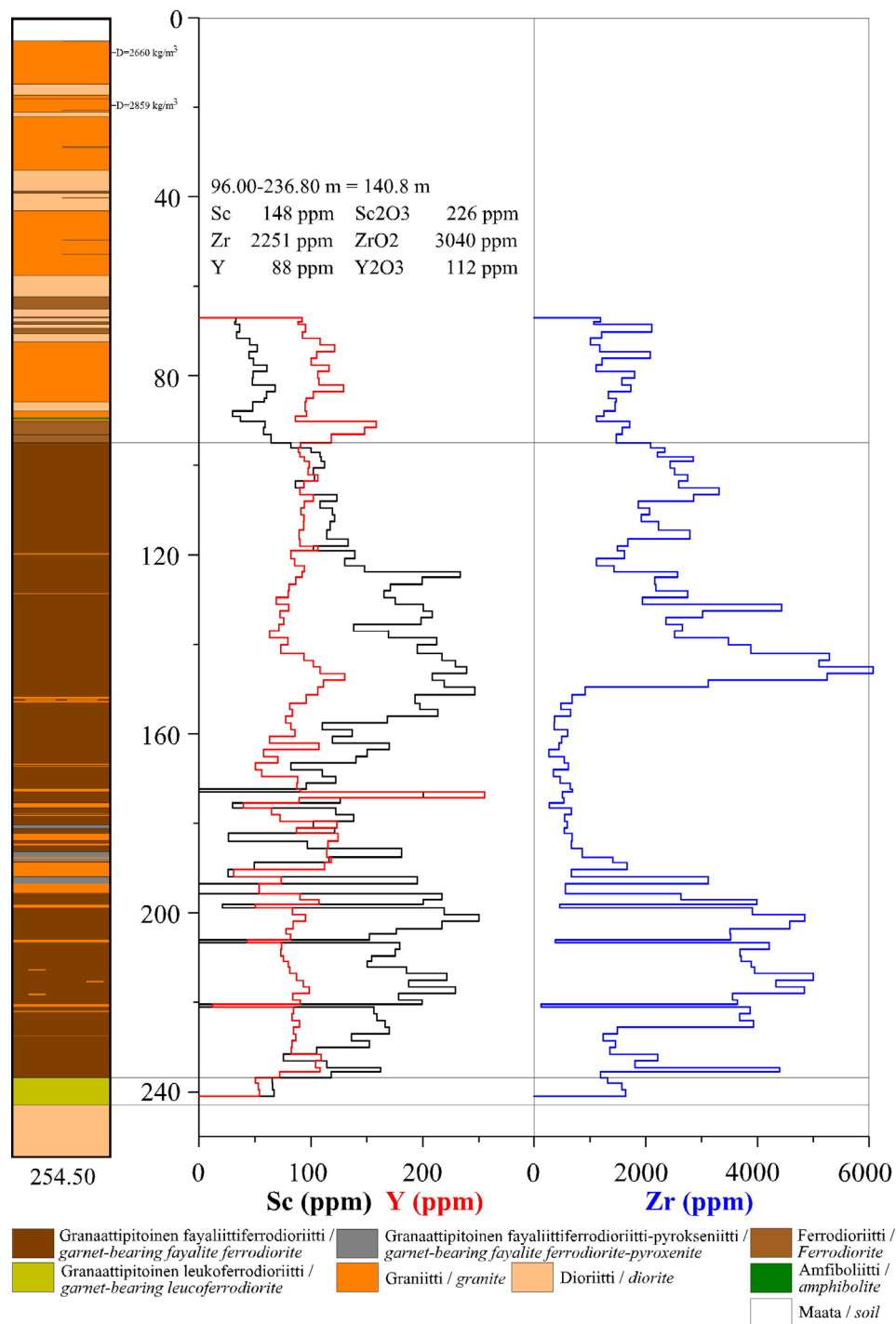
Fig. 13. Rock type column and variations in scandium, yttrium and zirconium concentrations of the diamond drill hole P433/2010/R4 (profile B in Fig. 4).



Kuva 14. Kiviniemen keskimäinen kairausprofiili (profiili B kuvassa 4), jossa reiät 3224/08/R331, 3224/08/R332 ja P433/2010/R4 (kuvat 11-13). Yläosassa on esitetty magneettisen maastomittauksen totaali-intensiteetti.

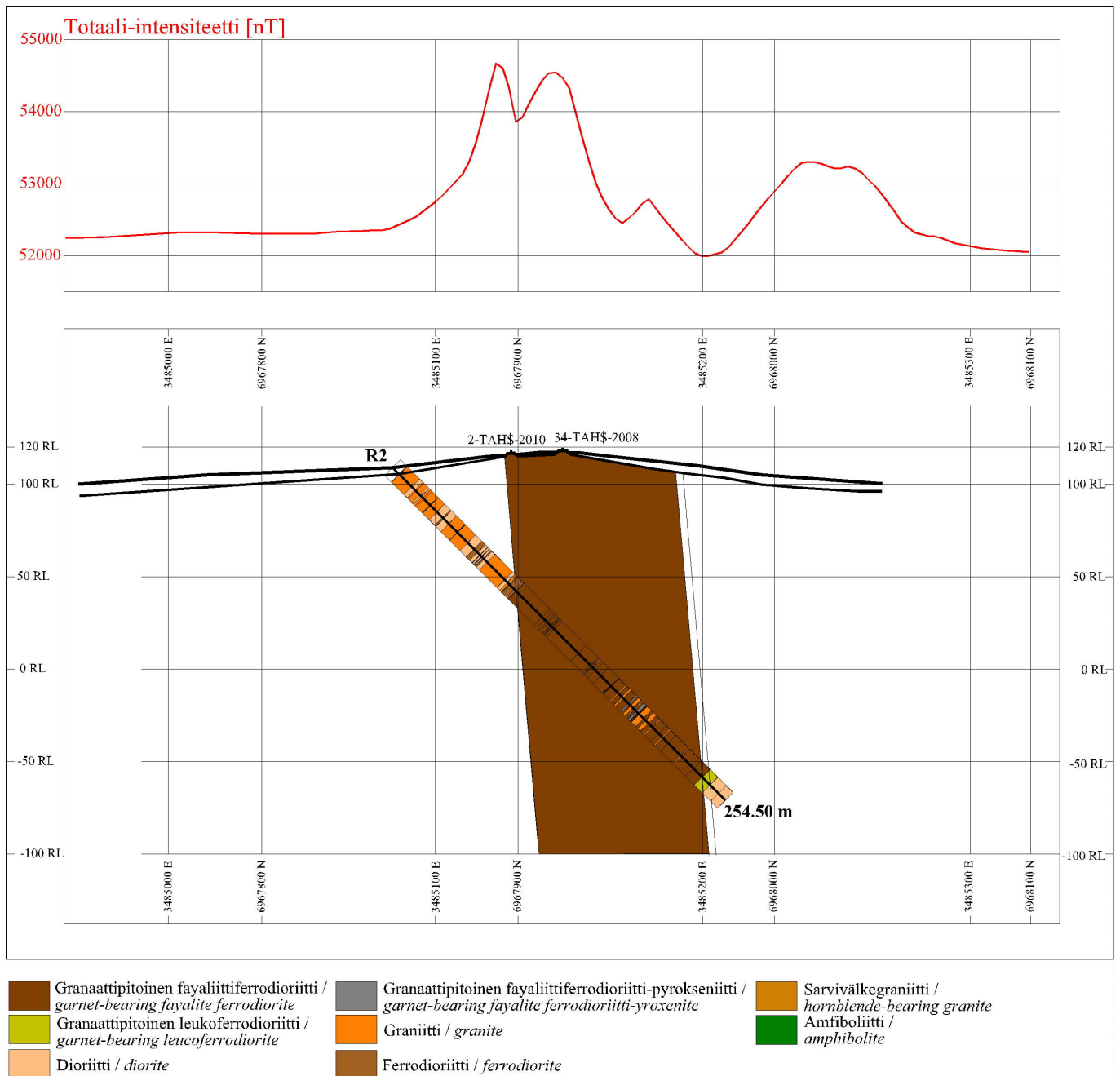
Fig. 14. Middle diamond drill hole cross section profile of Kiviniemi (profile B in Fig. 4), which includes drill holes 3224/08/R331, 3224/08/R332 and P433/2010/R3 (Figs 11-13). In the upper part is shown the total intensity of the ground magnetic survey.





Kuva 15. Kairareiän P433/2010/R2 (profiili C kuvassa 4) kivilajipylväs ja skandiumin, yttriumin sekä zirkoniumin koostumusvaihtelut.

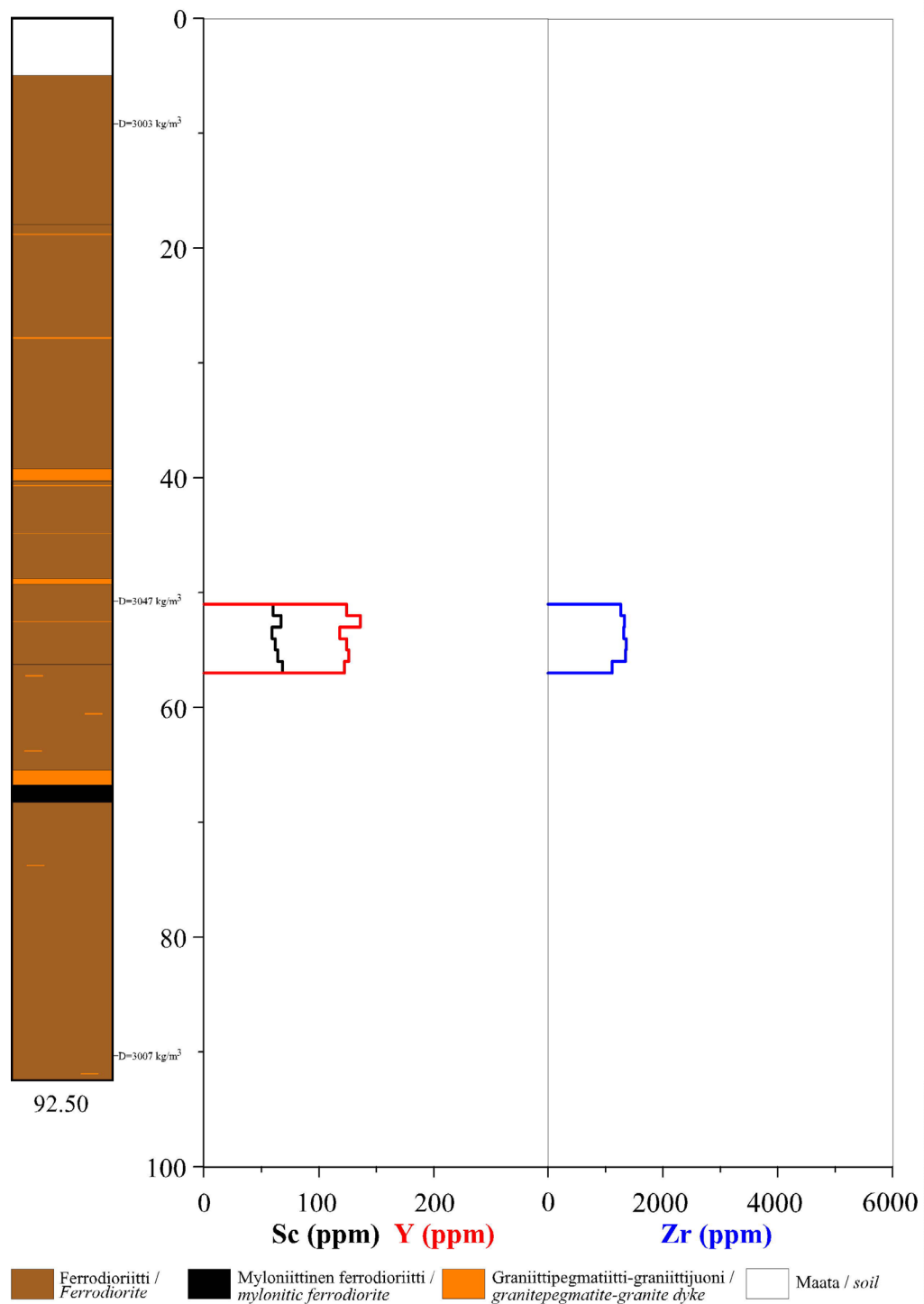
Fig. 15. Rock type column and variations in scandium, yttrium and zirconium concentrations of the diamond drill hole P433/2010/R2 (profile C in Fig. 4).



Kuva 16. Kiviniemen kaakkoinen kairausprofiili (profiili B kuvassa 4), jossa reikä P433/2010/R2 (Kuva 15). Yläosassa on esitetty magneettisen maastomittauksen totaali-intensiteetti.

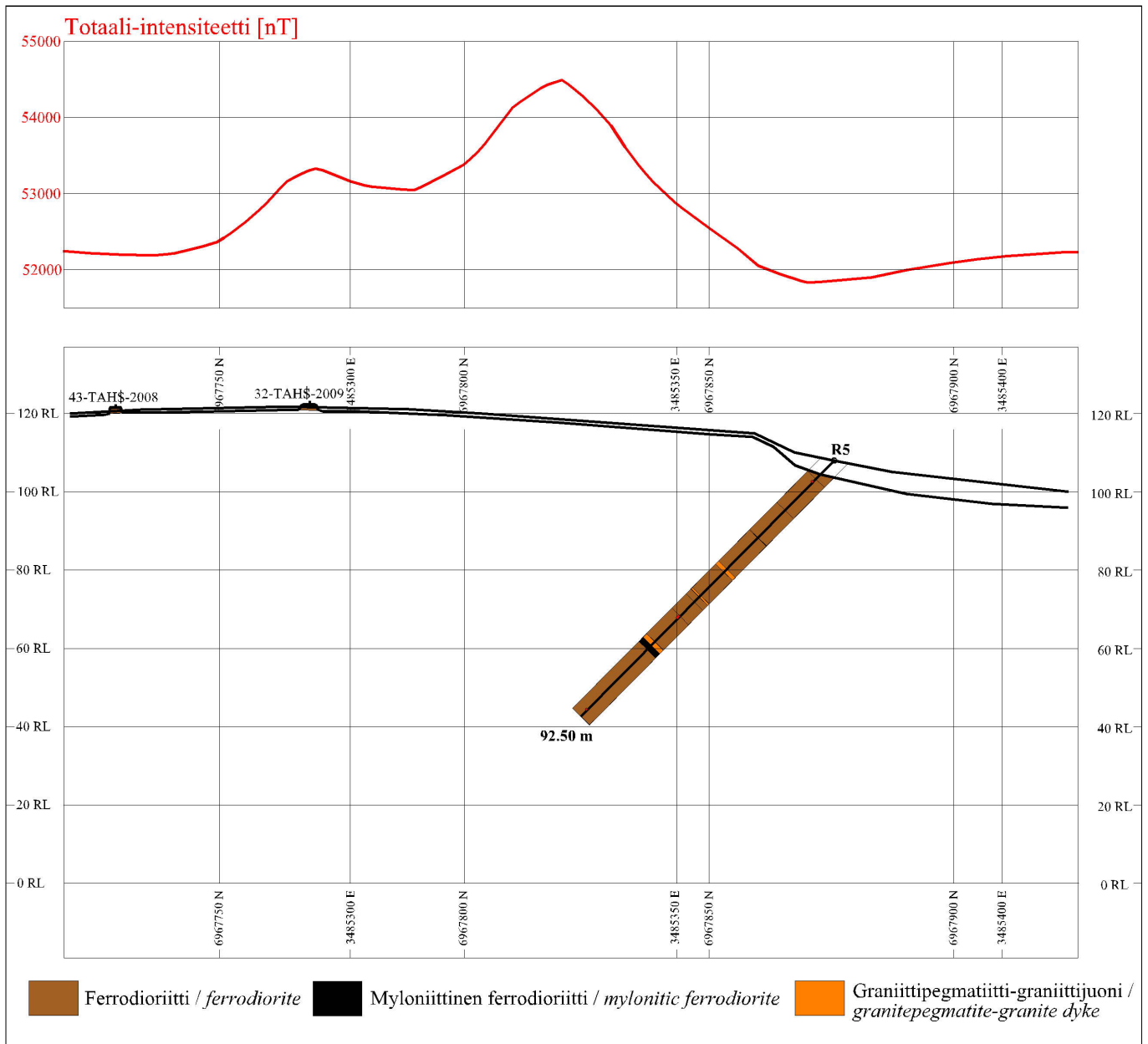
Fig. 16. SE diamond drill hole cross section profile of Kiviniemi (profile C in Fig. 4), which include drill hole P433/2010/R2 (Figs 15). In the upper part is shown the total intensity of the ground magnetic survey.





Kuva 17. Kairareiän P433/2010/R5 (linja D kuvassa 4) kivilajipylväs ja skandiumin, yttriumin sekä zirkoniumin koostumusvaihtelut.

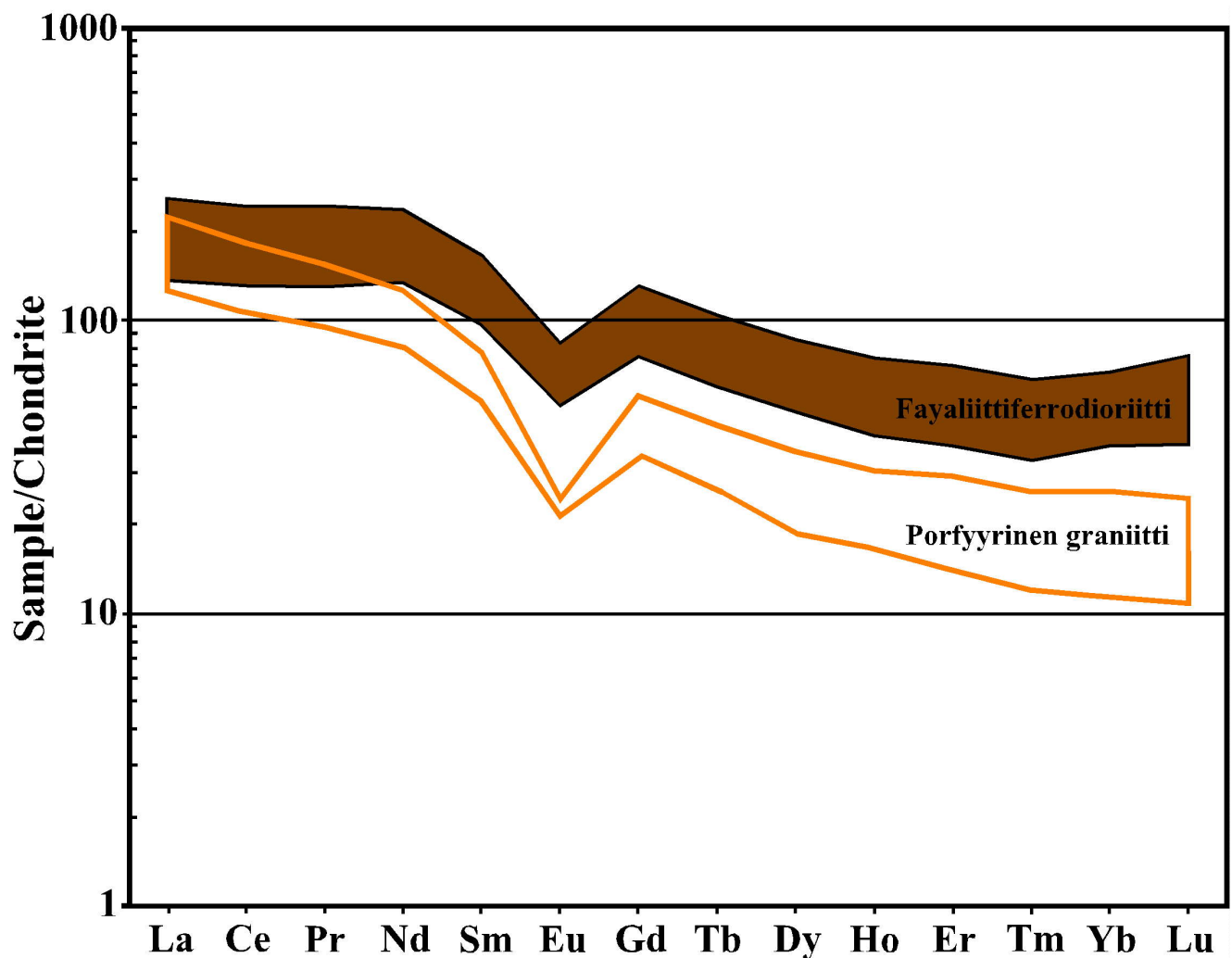
Fig. 17. Rock type column and variations in scandium, yttrium and zirconium concentrations of the diamond drill hole P433/2010/R5 (line D in Fig. 4).



Kuva 18. Kiviniemen kaakkoisin kairausprofiili (profiili D kuvassa 4), jossa reikä P433/2010/R5 (Kuva 17). Yläosassa on esitetty magneettisen maastomittauksen totaali-intensiteetti.

Fig. 18. SE diamond drill hole cross section of Kiviniemi (profile D in Fig. 4), which include drill hole P433/2010/R5 (Figs 17). In the upper part is shown the total intensity of the ground magnetic survey.

Vaikka Kiviniemen karkearakeinen granaattipitoinen fayaliittiferrodioriitti on rikastunut skandiumista, zirkoniumista ja yttriumista sen harvinaisten maametallien pitoisuudet ovat yllättävän alhaiset (kuva 19). Harvinaisista maametalleista kaikkein rikkain granaattipitoinen fayaliitti ferrodioriittinäyte (P433_2010_R1_33.00-34.00) sisältää harvinaisia maametalleja seuraavasti: La 80,7 g/t, Ce 199 g/t, Pr 30,1 g/t, Nd 145 g/t, Sm 32,9 g/t, Eu 6,23 g/t, Cd 34 g/t, Tb 4,94 g/t, Dy 27,7 g/t, Ho 5,33 g/t, Er 14,8 g/t, Tm 2,05 g/t, Yb 13,4 g/t ja Lu 2,14 g/t. Saman näytteen uraani- (0,31 g/t) ja thoriumpitoisuudet (1,29 g/t) ovat hämmästyttävän alhaiset. Myös ympärillä olevan porfyyrinisen graniitin harvinaisten maametallien pitoisuudet eivät ole poikkeavia (kuva 19).



Kuva 19. Kiviniemen alueen kivilajien REE-pitoisuuksia normalisoituna keskimääräisellä kondriitin pitoisuudella. Keskimääräisen kondriitin arvot Boynton (1984).

Fig. 19. Average chondrite-normalized REE patterns of the rocks types of the Kiviniemi area. Chondrite values are from Boynton (1984).

5 RIKASTUSKOKEET

Vuosien 2009 ja 2010 aikana Rautalammin Kiviniemen näytteellä tehtiin laboratoriomittakaavan rikastutkimuksia Geologian tutkimuskeskuksen Mineraalitekniikan laboratoriossa Outokummussa. Näistä tutkimuksista on tehty yksityiskohtainen raportti (Korhonen et al. 2010), josta tähän on koostettu vain tärkeimmät johtopäätökset. Kokeen tarkoitus oli selvittää skandiumin rikastusmahdollisuuksista kivistä, joka ei sisällä omia skandiummineraaleja vaan skandium on sitoutuneena, kuten Kiviniemen ferrodioriitin tapauksessa, tummien rautamagnesiumsilikaattien kidehilaan (ferroamfibolit ja ferrohedenbergiittinen klinopyrokseeni).

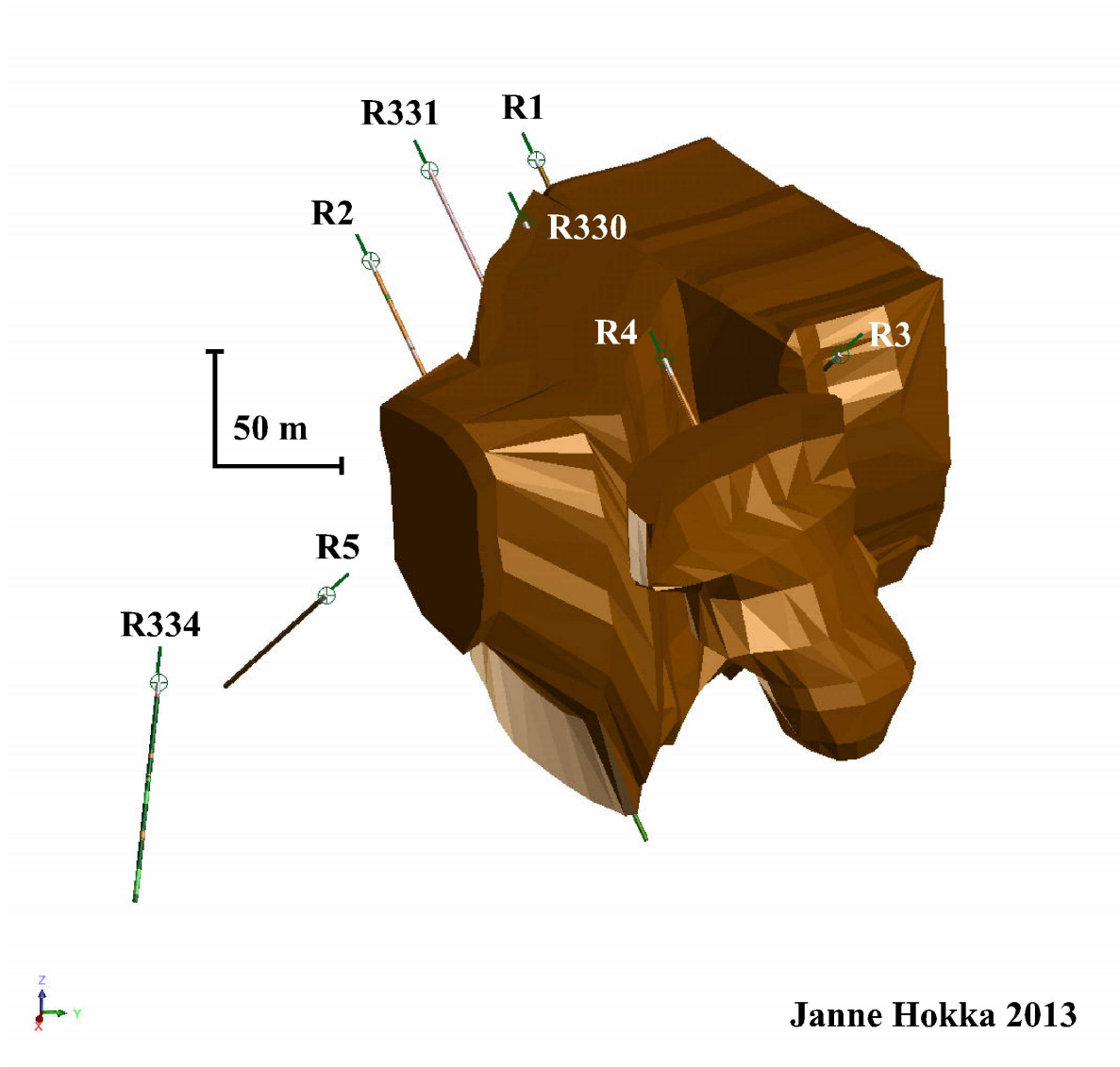
Rikastuskokeissa Mineraalitekniikan laboratoriossa kokeiltiin useita menetelmiä: ominaispainoerotusta, vaahdotusta, magneettierotusta ja liuotusta. Kiviniemen syötteen skandiumpitoisuus oli noin 200 g/t. Parhaiten toimi magneettierotusmenetelmä, sillä saatiin skandiumia rikasteeseen 72 %, pitoisuuden ollessa 346 g/t ja rikastuskertoimen noin 1,5. Teoreettisesti, jos vaahdottamalla saataisiin pelkästään ferroamfiboleja ja klinopyrokseenia sisältävä rikaste, olisi rikasteen skandiumpitoisuus 1215 g/t (syöte 200 g/t). Suurin osa skandiumista saatiin liukoiseen muotoon vetyfluoridin ja suolahapon yhdistelmällä. Ongelmaksi muodostuivat kiintoaineeseen nähden erittäin suuri happomäärä (100-kertainen) ja se, että rautaa liukee, suhteessa skandiumiin, lähes tuhatkertaisesti. Esiintymän massasta joudutaan liuottamaan noin 43 % ja skandiumin saanti olisi 72 %. Haasteellisen esiintymän hyödyntämisestä tekee rikastuksen jatkojalostuksessa käsiteltävät suuret massat ja happoliuosmäärät. Skandiumin talteenottamista happoliuoksissa ei tutkittu Mineraalitekniikan laboratoriossa.

Suosittelavia jatkotutkimuskohteita: 1) vaahdotustutkimuksia rapautumattomalla näytteellä, sillä vaahdotusrikasteen teoreettinen maksimipitoisuus on 1212 g/t rikastuskertoimella 6. 2) Muiden arvokomponenttien rikastamiseksi (mm. zirkonium ja yttrium) eri yksikköprosessien kombinaatioiden jatkokehittelyä. 3) Selvittää skandiumin jakautuminen mineraalien kesken koko esiintymän alueella.

Itä-Suomen yliopistossa (katso Alanne 2014) on tutkittu skandiumin talteenottamista happoliuoksista difosfaattien avulla. Alustavat tulokset ovat olleet lupaavia.

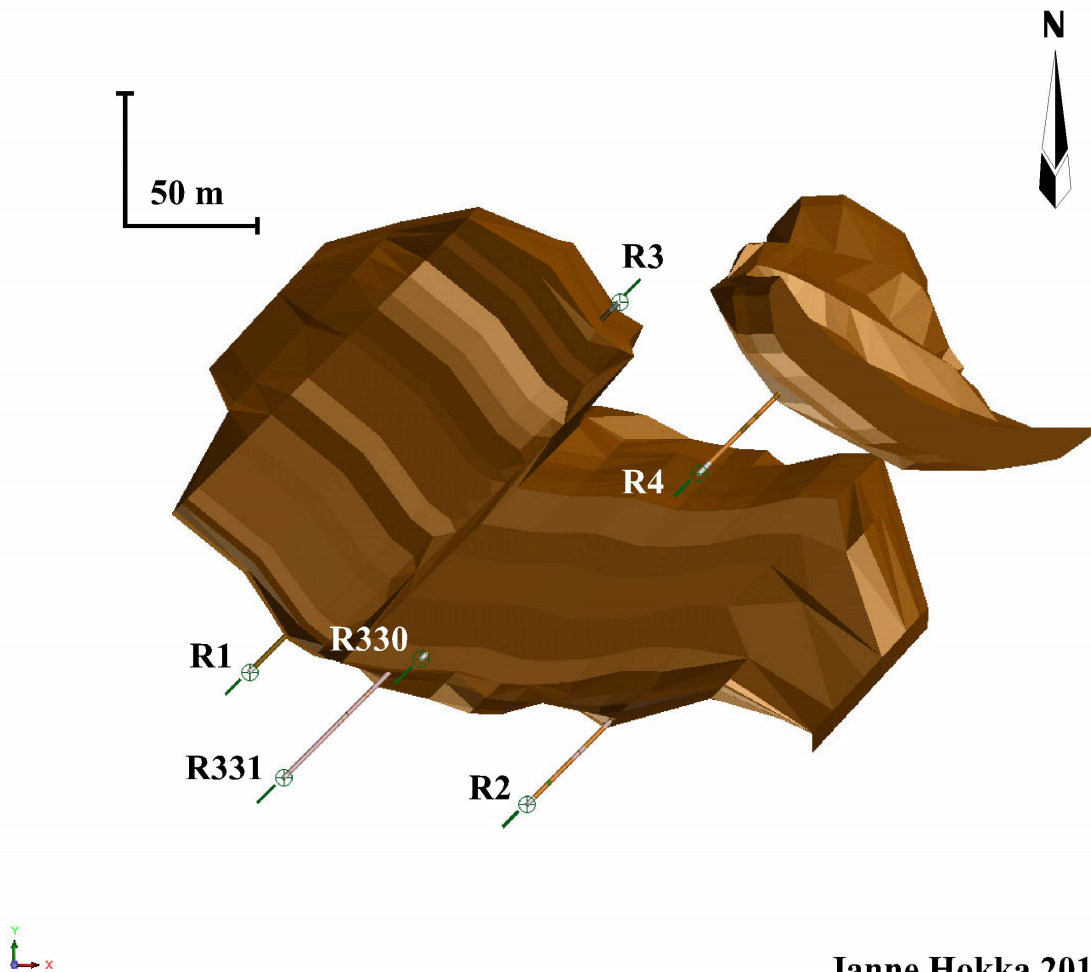
6 MINERAALIVARANTOARVIO

Käytettävissä olevan tietojen vähäisyys heikentää arvion luotettavuutta. Pääesiintymän homogeenisuus ja säännöllinen muoto (kuvat 20 ja 21) kuitenkin auttavat arvion tekemisessä. Lisäksi merkittävä pudotus malmitonneissa tapahtuu vasta välillä 100-150 g/t Sc. Alustavan arvion mukaan Kiviniemen intrusio sisältää 13,4 miljoonaa tonnia kiveä, jonka keskipitoisuus on 163 g/t skandiumia, 1726 g/t zirkoniumia ja 81 g/t yttriumia (Hokka & Halkoaho 2014). Edellä mainittujen lisäksi esiintymä sisältää muita hyötyaineita seuraavasti: P₂O₅ 0,6-0,8 paino-% (noin 1,4-2,0 % apatiittia), TiO₂ 1,6-1,8 paino-% (noin 3,0-3,4 % ilmeniittä), almandiinigranaattia noin 6,9 % ja fayaliittia noin 5,8 % (mm. Korhonen et al. 2010). Alustavaa arviota (Hokka ja Halkoaho 2014) täydennetään yksityiskohtaisemmalla mineraalivarantoarvioraportilla (Hokka 2015).



Kuva 20. Kiviniemen intruusion skandium-zirkonium-yttriumesiintymä katsottuna idästä päin lintuperspektiivistä (Hokka & Halkoaho 2014).

Fig. 20. Scandium-zirconium-yttrium deposit of the Kiviniemi intrusion, bird's-eye view from east (Hokka & Halkoaho 2014).



Janne Hokka 2013

Kuva 21. Kiviniemen intruusion skandium-zirkonium-yttriumesiintymä vaakaprojektiona katsottuna kohtisuoraan alaspäin (Hokka & Halkoaho 2014).

Fig. 21. Scandium-zirconium-yttrium deposit of the Kiviniemi intrusion, view vertically downwards (Hokka & Halkoaho 2014).

7 TUTKIMUSAINIESTON TALLENTAMINEN

Aineisto on tallennettu käyttäen ohjelmia Microsoft Word (tekstit), Microsoft Excel (analyysit), Kapalo (paljastumahavainnot) ja Kaira-Loggeri (kairausraportit). Maastogeofysiikka on tallennettu Geosoft:lla ASCII-muotoisena. Numeerinen aineisto ja näytemateriaalit on sijoitettu GTK:n arkistointi-ohjeen mukaisesti GTK:n tietokantoihin ja varastoihin.

8 SUOSITUKSET JATKOTOIMENPITEIKSI

Seuraavia jatkotutkimuksia Kiviniemen Sc-Zr-Y-esiintymän tiimoilta suositellaan suoritettavaksi:

- 1) Suurella todennäköisyydellä Kiviniemen Sc-Zr-Y-esiintymä ei ole ainoa laatuaan, eikä edes edusta rikkainta kyseisen tyyppin esiintymää. Suositellaan kattavaa Kiviniemen intruusiotyypin esiintymisen kartoitusta Suonenjoen ja Paltamon välisellä alueella.
- 2) Rikastuspuolella jatkotutkimuskohteita: 1) vaahdotustutkimuksia rapautumattomalla näytteellä, 2) muiden arvokomponenttien rikastamiseksi (mm. zirkonium ja yttrium) eri yksikköprosessien kombinaatioiden jatkokehittelyä, 3) tutkia skandiumin jakautuminen mineraalien kesken koko esiintymän alueella ja 4) rikastus-/liuotusmenetelmien kehittämistä kiven kokonaisvaltaisessa hyödyntämisessä (Sc, Zr, Y, Hf, zirkoni, apatiitti, ilmeniitti, almandiinigranaatti ja fayaliitti).

9 KIRJALLISUUSLUETTELO

- Ahven, M. (2012)** Rautalammin Kiviniemen granaattipitoinen fayliittiferrogabro. Pro gradu -tutkielma. Geotieteiden ja maantieteen laitos, Helsingin yliopisto, 62 p.
- Ahven, M. & Halkoaho, T. (2015)** Mineralogy, geochemistry and geochronology of the Paleoproterozoic Kiviniemi ferromonzodiorite intrusion in Rautalampi, eastern Finland – a new type of Sc-Zr-Y occurrence. In: Kultti, S., Rämö, O.T., Koivisto, E. & Luoto, M. (eds) 2nd Finnish national Colloquium of geosciences 3.-5.3.2015, program and Abstracts, 12 p.
- Ahven, M, Halkoaho, T., Rämö, O.T. & Huhma, H. (submitted)** Petrography, geochemistry, and geochronology of the Kiviniemi ferrodiorite intrusion in the Paleoproterozoic of the Fennoscandian Shield: A new type of mafic igneous host for Sc. *Lithos*.
- Alanne, A-L. (2014)** Novel applications related to bisphosphorus compounds. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Health Sciences 212, 68 p. (PhD thesis)
- Boynton, W.V. (1984)** Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (ed.) *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam: 63-114.
- Halkoaho, T., Johanson, B. & Niskanen, M. (2013a)** A new type of Sc-Zr occurrence located in the Kiviniemi area, Rautalampi, central Finland. In: Hölttä, P. (ed.) *Current Research: GTK Mineral Potential Workshop*, Kuopio, May 2012. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 198: 34–36.



- Halkoaho, R., Ahven, M. & Rämö, O.T. (2013b)** A new type of Sc-Zr occurrence located in the Kiviniemi area, Rautalampi, Central Finland. Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting, 12–15 August 2013, Uppsala, Sweden: 1717–1718.
- Hokka, J. (2015)** Mineral resource assessment and 3D modelling of the Kiviniemi Scandium deposit, Eastern Finland. Geological Survey of Finland, Archive report 65/2015. ?? p., ? app.
- Hokka, J. & Halkoaho, T. (2014)** Mineral resource estimation for the Kiviniemi Sc-Zr-Y-deposit. In: Lauri, L. S., Heilimo, E., Leväniemi, H., Tuusjärvi, M., Lahtinen, R. & Hölttä, P. (eds) Current Research: 2nd GTK Mineral Potential Workshop, Kuopio, Finland, 6–7 May 2014. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 207: 39–41.
- Korhonen, T., Neitola, R., Mörsky, P. & Laukkanen, J. (2010)** Alustavia skandiumin rikastustutkimuksia Rautalammin Kiviniemen näytteellä Geological Survey of Finland, Archive report C/MT/2010/56, 27 p., 5 app. (in Finnish).
- Makkonen, H., & Forss, H. (2000)** Tutkimustyöselostus Rautalammin kunnassa valtausalueilla Kerkonkoski 1 ja 2 (kaivosrekisterinrot 6590/1 ja 6590/2) suoritetuista nikkelimalmitutkimuksista vuosina 1996-1998. Geological Survey of Finland, Archive report M06/3224/2000/1/10, 10 p., 4 app. (in Finnish)
- Nironen, M. (2003)** Keski-Suomen granitoidikompleksi, karttaselitys. Summary: Central Finland granitoid complex – explanation to a map. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 157, 45 p.
- Pääjärvi, A. (1991)** Karttula. Suomen geologinen kartta 1:100 000, Geological Map of Finland. Kallioperäkartta - Pre-Quaternary rocks, lehti - sheet 3224. Geologian tutkimuskeskus - Geological Survey of Finland.
- Pääjärvi, A. (2000)** Rautalammin ja Karttulan kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautalampi and Karttula map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 3223 ja 3224. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 81 p.
- Wilkman, W.W. (1938)** Suomen geologinen yleiskartta, Lehti C3, Kuopio. Kivilajikartan selitys. Suomen Geologinen Toimikunta, 171 p.
- Wilkman, W.W. (1935)** Kivilajikartta, Lehti C3, Kuopio. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000.