

**Suomen geologinen kartta
Geological Map of Finland**

1 : 100 000

**Kallioperäkarttojen selitykset
Explanation to the Maps of
Pre-Quaternary Rocks**

**Lehdet 2631 ja 2633
Sheets 2631 and 2633**

Vesa Perttunen ja Eero Hanski

Törmäsjärven ja Koivun kartta-alueiden kallioperä

Summary: Pre-Quaternary rocks of the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas

Geologian tutkimuskeskus
Geological Survey of Finland
ESPOO 2003



GTK

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

Kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 2631 ja 2633
Explanation to the maps of Pre-Quaternary rocks, sheets 2631 and 2633

Vesa Perttunen ja Eero Hanski

**TÖRMÄSJÄRVEN JA KOIVUN KARTTA-ALUEIDEN
KALLIOPERÄ**

**Summary: Pre-Quaternary rocks of the Törmäsjärvi and Koivu
map-sheet areas**

Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland
Espoo 2003

Perttunen, V. & Hanski, E. 2003. Törmäsjärven ja Koivun kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas. *Geological Map of Finland 1 : 100 000. Explanation to the maps of Pre-Quaternary rocks, Sheets 2631 Törmäsjärvi and 2633 Koivu.* 88 pages, 40 figures, and 15 tables.

The Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas are located in northwestern Finland south of the Arctic Circle. The northwestern corner of the Törmäsjärvi map-sheet area belongs to the Central Lapland Granitoid Complex (CL). The rocks of the Koivu map-sheet area and most of the Törmäsjärvi sheet area belong to the Palaeoproterozoic Peräpohja Schist Belt (PS). The contact between these two units is tectonic, and the sedimentary rocks in the CL are assigned to the lithodemic Mellajoki Suite.

The Mellajoki Suite in the CL includes deformed quartzites and mica schists and mylonitic quartz-feldspar gneisses.

The supracrustal rocks of the PS are divided into the Kivalo and Paakkola Groups. The sedimentary rocks of the Kivalo Group consist of rocks of dolomite-orthoquartzite association. They are intercalated with several volcanic formations. The two lowermost of them – the Runkaus and Jouttiaapa Formations – consist mainly of amygdaloidal tholeiitic basalts but have different trace element geochemistry. The former one displays effects of crustal contamination while the latter is uncontaminated and has an ultradepleted chemical and isotopic signature.

The Tikanmaa, Hirsimaa, and Lamulehto Formations, separated from each other by dolomitic sedimentary formations, are mafic tuffitic rocks with distinct geochemical characteristics varying from depleted tholeiites to OIB-like trachyandesites.

The rocks of the Paakkola Group are divided into the sedimentary Martimo Formation and the predominantly volcanic Väystäjä Formation. The Martimo Formation consists of turbiditic mica schists and phyllites with black schist intercalations. The volcanic rocks of the Väystäjä Formation are pillowed tholeiitic basalts accompanied with minor tuffites and acid volcanic rocks.

There are mafic diabase dikes and sills mainly within the quartzites of the Palokivalo Formation. Most of them belong to the concordant sills of the 2.2 Ga old gabbro-wehrlite association while some dikes give c. 100 Ma younger ages.

The metamorphic grade of the rocks of the PS is low and the deformation weak. Well-preserved primary sedimentary structures, such as graded bedding, ripple-marks, sun-cracks, cross-bedding, and stromatolite structures, are common. Mafic lavas exhibit amygdaloidal and pillow structures, and tuffitic rocks graded bedding. Mica schists contain porphyroblasts of cordierite and biotite, rarely andalusite.

There is an exhausted, vein-type copper deposit at Kivimaa. Some Cu, Mo, and U prospects have been detected. Dolomite and red granite have been utilized as dimension stones, and some diabase quarries produce rock aggregate.

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

Key words (GeoRef Thesaurus, AGI): areal geology, explanatory text, bedrock, Peräpohja Belt, metasedimentary rocks, metavolcanic rocks, geochemistry, stratigraphy, stromatolites, mineral resources, Proterozoic, Paleoproterozoic, Ylitornio, Tornio, Tervola, Rovaniemi, Lapland, Finland

<i>Vesa Perttunen,</i>	<i>Eero Hanski</i>
<i>Geological Survey of Finland,</i>	<i>Geological Survey of Finland,</i>
<i>P.O. Box 77,</i>	<i>P.O. Box 77,</i>
<i>FIN-96101 ROVANIEMI,</i>	<i>FIN-96101 ROVANIEMI,</i>
<i>FINLAND</i>	<i>FINLAND</i>
<i>vesa.perttunen@gsf.fi</i>	<i>eero.hanski@gsf.fi</i>

ISBN 951-690-877-2

Perttunen, V. & Hanski, E. 2003. Törmäsjärven ja Koivun kartta-alueiden kallioperä. *Summary: Pre-Quaternary rocks of the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas.* Suomen geologinen kartta 1:100 000. Kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 2631 Törmäsjärvi ja 2633 Koivu. 88 sivua, 40 kuvaa ja 15 taulukkoa.

Törmäsjärven ja Koivun vierekkäisten karttalehtialueiden kallioperän pääosa koostuu Peräpohjan liuskealueen paleoproterotsooisista sedimenttisyntyisistä ja vulkaanisista kivilajeista. Luoteisosa kuuluu Keski-Lapin granitoidikompleksiin, joka myös lienee paleoproterotsooinen. Näiden yksiköiden kontaktivyöhyke on tektoninen.

Peräpohjan liuskealueen pintasyntyiset kivilajit on jaettu Kivalon ja Paakkolan ryhmiin. Enemmistö Kivalon ryhmän kivilajeista on kvartsiitteja, joista alimpana on pieni-alainen Sompujärven muodostuman kvartsiitti. Laajojen vaara-alueiden kallioperä on Palokivalon ja siihen rinnastetun Kaisavaaran muodostuman kvartsiittia. Osa kvartsiiteista kuuluu Kvartsimaan muodostumaan. Näiden yläpuolella on pääosin dolomiiteista koostuvat Poikkimaan ja Rantamaan muodostumat.

Kivalon ryhmän sedimenttimuodostumien välissä on viisi emäksistä vulkaanista muodostumaa. Palokivalon kvartsiittien alla on Runkauksen muodostuma ja päällä laaja-alainen, mantelirakenteisista laavoista koostuva Jouttiaavan muodostuma. Näiden yläpuolella ovat dolomiittien erottamat Tikanmaan, Hirsimaan ja Lamulehdon tuffiittimuodostumat. Santalammen pyroklastinen, osaksi tyynyarakenteinen vulkaaninen muodostuma on rinnastettu Jouttiaavan muodostumaan.

Paakkolan ryhmään kuuluvat Martimon muodostuman turbidiittirakenteinen, kiisu- ja grafiittipitoisia kerroksia sisältävä kiilleliuske sekä emäksisistä vulkaanisista kivilajeista koostuva Väystäjän muodostuma, jonka sisällä on dolomiitti- ja kiilleliuskekerroksia sekä kaistale hapanta vulkaniittia.

Kivalon ryhmän kivilajeissa on diabaasijuonia, joista pääosa on differentioituneina kerrosjuonina kvartsiiteissa ja osa on leikkaavina juonina.

Peräpohjan liuskealueen kivilajien deformaatio on heikkoa ja metamorfoosiaste alhainen. Kvartsiitit ovat klastisia. Niissä on selviä aallonmerkkejä, ristikerroksia ja kuivumisrakojen sekä dolomiiteissa stromatoliittirakenteita. Vulkaanisissa kivilajeissa on manteli- tai tyynylaavarakennetta ja tuffiiteissa kerrallisuutta. Kiilleliuskeisiin on metamorfoosissa syntynyt kordieriittia ja biotiittia.

Keski-Lapin granitoidikompleksin pintasyntyiset kivilajit ovat kvartsiittia ja kiilleliusketta. Niitä leikkaa karkearakeinen, enimmäkseen silmägneissirakenteinen graniitti. Kvartsi-maasälpägneissinä rajattu alue on tulkittu granitoidikompleksin reunaosan myloniittisiksi graniiteiksi.

Alueella on pieni, louhittu Kivimaan kuparimalmio. Kuparikiisua sisältävä kvartsi-juoni on paikannettu Vinsasta ja molybdeeniesiintymä Kallijärveltä. Uraani-aihetta on kairattu Mustamaalta. Louepalon dolomiittiesiintymää ja silmägneissirakenteisia graniitteja on hyödynnetty rakennuskivenä ja diabaasia on louhittu murskeeksi.

Teksti on suomeksi ja kuva- ja taulukkotekstit sekä yhteenveto myös englannin kielellä.

Asiasanat (Fingeo-sanasto, GTK): aluegeologia, karttaselitykset, kallioperä, Peräpohjan vyöhyke, metasedimentit, metavulkaniitit, geokemia, stratigrafia, stromatoliitit, mineraalivarat, proterotsooinen, paleoproterotsooinen, Ylitornio, Tornio, Tervola, Rovaniemi, Lapin kolmio, Lappi, Suomi

Vesa Perttunen
Geologian tutkimuskeskus
Rovaniemen yksikkö
PL 77
96101 ROVANIEMI
vesa.perttunen@gsf.fi

Eero Hanski
Geologian tutkimuskeskus
Rovaniemen yksikkö
PL 77
96101 ROVANIEMI
eero.hanski@gsf.fi

SISÄLLYSLUETTELO - CONTENTS

Tutkimusalue ja -vaiheet	7
Kallioperän yleispiirteet ja stratigrafia	12
Kivilajit	20
Keski-Lapin granitoidikompleksi	20
Graniitit	20
Diabaasijuonet	21
Mellajoen sviitti	21
Kvartsiitit	21
Kiilleliuskeet	21
Kvartsi-maasälpagneissit	24
Peräpohjan liuskealue	24
Kivalon ryhmän kivilajit	24
Sompujärven muodostuma	24
Runkauksen muodostuma	25
Palokivalon muodostuma	27
Kaisavaaran muodostuma	30
Santalammen muodostuma	30
Jouttiaavan muodostuma	31
Kvartsimaan muodostuma	33
Tikanmaan muodostuma	35
Poikkimaan muodostuma	36
Hirsimaan muodostuma	36
Rantamaan muodostuma	36
Lamulehdon muodostuma	38
Paakkolan ryhmän kivilajit	39
Martimon muodostuma	39
Väystäjän muodostuma	41
Intrusiivikivilajit	42
Diabaasit	42
Happamat juonet	42
Geokemia	43
Mafiset vulkaniitit	45
Mafiset juonikivet	57
Felsiset syvä- ja pintakivet	60
Metasedimentit	63
Kordieriitti-antofylliittikivet	68
Rakenne ja metamorfoosi	69
Isotooppigeologia ja radiometriset iät	70
Geologinen kehitys	71
Taloudelliset aiheet	72
Kiviaines	74
Kivilajien petrofysikaalisia ominaisuuksia	74
Geologisia retkeilykohteita	75
Summary: Pre-quaternary rocks of the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas	77
Introduction	77
Geological outlines	77

Central Lapland Granitoid Complex	78
Peräpohja Schist Belt	78
Supracrustal rocks	78
Sompujärvi Formation	78
Runkaus Formation	79
Palokivalo Formation	79
Kaisavaara Formation	79
Jouttiaapa Formation	80
Santalampi Formation	80
Kvartsimaa Formation	80
Tikanmaa Formation	81
Poikkimaa Formation	81
Hirsimaa Formation	81
Rantamaa Formation	81
Martimo Formation	81
Väystäjä Formation	82
Intrusive rocks	82
Geochemistry	82
Mafic volcanic rocks	82
Mafic dikes	84
Felsic igneous rocks	84
Sedimentary rocks	84
Cordierite-anthophyllite rocks	85
Structure and metamorphism	85
Radiometric ages and isotope geology	85
Economic geology	86

TUTKIMUSALUE JA -VAIHEET

Törmäsjärven (2631) ja Koivun (2633) vierekkäisten kallioperäkarttojen alueet sijaitsevat Peräpohjan liuskealueen pohjoisreunalla Ylitornion ja Rovaniemen välissä lounaisessa Lapin läänissä. Törmäsjärven lehden pohjoispuolisko kuuluu Ylitornion kuntaan, ja eteläosa jakautuu suunnilleen tasan Tervolan ja nykyisen Tornion suuren kunnan (entiset Alatornio, Karunki ja Tornio) kesken. Itäreunaan ulottuu vielä pieni kaistale Rovaniemen maalaiskunnan aluetta. Pääosa Koivun karttalehden alueesta kuuluu Rovaniemen maalaiskuntaan. Lehden kaakkoisosa sijoittuu Tervolaan ja luoteisnurkka Ylitornioon. Kartat on painettu äskettäin (Perttunen 2002 ja 2003). Molempien karttojen selitykset julkaistaan yhdessä, sillä niiden kallioperä on pääosin aivan samanlainen.

Törmäsjärven karttalehden alue on suhteellisen alavaa ja tasaista. Tästä tasaisuudesta erottuvat kvartsiittivaarat, jotka kohoavat satakunta metriä ympäristöstään. Korkeinkin niistä, Valkiavaara (209 m merenpinnan yläpuolella), on mannerjään sulamisen aikana ollut senaikaisen Itämeren vedenpinnan alapuolella. Vaarojen huuhtoutuneet laet ja rinteet ovat parhaiten paljastuneet, ja penkereiset kivikot ovat osoituksena rantavoimien työstä (kuva 1). Soita on runsaasti ja kalliopaljastumia vaarojen ulkopuolella harvassa. Alueen kaakkoisosassa Sihtuunan seudulla (2631 07–10) on laajoja, heikosti paljastuneita, lohkaraisen moreenin peittämiä alueita.

Koivun karttalehti on pinnanmuodoiltaan vaihtelevampi. Vaara-alueiden kallioperä on täälläkin säännönmukaisesti kvartsiittia. Korkeimmat laet, esimerkiksi Vammavaara (2633 07) ja Pisavaaran Liljalaki (2633 05), ovat mannerjään vetäytyttyä olleet saarina, ja nämä muinaisen Itämeren (Ancylusjärven) ympäröimät metsäiset veden koskemattomat alueet erottuvat selvästi kivikkoisesta ja kallioisesta ympäristöstään. Alinta pintaa edustaa tätä nykyä Ossauskosken voimalaitoksen alapuolinen Kemijoki, noin 27 m mpy. Ossaus- ja Petäjäskosken patoamiset ovat häivyttäneet näkyvistä pääosan näiden voimalaitosten yläpuolisista Kemijoen rantakallioista. Toisaalta voimalaitosten suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä suoritettua laajaa kairauksia ovat tuoneet runsaasti kivilajitietoa. Ikävä kyllä, osaa tästä materiaalista ei ole kivilajimielessä raportoitu, ja osa Narkauskosken ja Ossauskosken sekä varsinkin Petäjäskosken alueen kairasydämistä on kokonaan tuhoutunut.

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien alueen kallioperä kartoitettiin satakunta vuotta sitten. Se sisältyy Victor Hackmanin laatimiin Ylitornion (B6) ja Rovaniemen (C6) 1 : 400 000-mittakaavaisiin geologisiin yleiskarttoihin ja niiden yhteiseen selityskirjaan (Hackman 1910a, 1910b ja 1914). Karttalehtiselityksestä on ilmestynyt myös suomenkielinen J. N. Soikeron suomennos (Hackman 1918). Kartta-alueiden kallioperää ovat tutkineet myös Hausen (1936) ja Mikkola (1949). Osa alueen dolo-miittiesiintymistä on kuvattuna Suomen kalkkikivi -teoksessa (Eskola ym. 1919).



Kuva 1. Ancyclusjärven aikaisia rantakivikoita Vammavaaran itäpäässä.

Fig. 1. Raised beaches of the ancient Ancyclus Lake.

Vammavaara, Tervola. 2633 07D. x = 7347,40; y = 2565,10.

Peräpohjan liuskealueelle on tyypillistä dolomiittien sekä emäksisten vulkaniittien runsaus. Tämä heijastuu myös alueen maaperään ja sitä kautta luontoon. Alue on tunnettu Lapin kolmion nimellä vaateliaista kasviyhdyskunnista (Okko 1946). Eksotiset kämmekät neidonkenkä ja tikankontti ovat suorastaan yleisiä, ja esimerkiksi Koivun karttalehdellä on yksi harvoista meikäläisistä siperiankärhön (*Clematis alpina* subsp. *sibirica*, kuva 2) ja talvikkipajun (*Salix pyrolifolia*) esiintymispaikoista (Ryttäri & Kettunen 1997).

1950- ja 1960-luvuilla silloinen Geologinen tutkimuslaitos, nykyinen Geologian tutkimuskeskus (GTK), etsi malmeja Törmäsjärven karttalehden alueelta. Sysäyksen malminetsinnän aloittamiselle antoivat monet mielenkiintoiset malmilohkareet. Töiden tuloksena paikannettiin Kallijärven pieni molybdeeniesiintymä (Yletyinen 1956 ja 1967). Outokumpu Oy louhi 1960-luvun lopussa kupari- ja kultamalmia Kivimaan malmiosta (2631 10D) (Rouhunkoski & Isokangas 1974). Outokumpu Oy on jatkanut sulfidimalmien etsintää viime vuosikymmeniin asti, ja Rautaruukki Oy on tutkinut alueen uraaniaiheita. Näitä töitä on raportoitu muutamissa pro gradu -töissä (Eeronheimo 1979, Korkalo 1971, Yrjölä 1982). Outokumpu Oy ja myöhemmin myös Geologian tutkimuskeskus ovat jatkaneet Kivimaan ympäristön malmiaiheiden tutkimuksia 1980- ja 1990-luvuilla (Rossi 1993; Äyräs 1987). Tutkimukset ovat vuosien aikana siirtyneet itäänpäin Kemijoen itäpuolelle saakka (Rossi 1998). Törmäsjärven karttalehden graniittisten kivien sopivuutta rakennuskivenä on selvitetty viime vuosina (Rask 2003).



Kuva 2. Koivun karttalehden alueella on yksi Suomen kolmesta siperiankärhön (*Clematis alpina* subsp. *sibirica*) esiintymispaikoista.

Fig. 2. The dolomite-bearing soil allows rare plants as Virgin's Bower (*Clematis alpina* subsp. *sibirica*) to flourish in the Peräpohja Schist Belt.

Törmäsjärven ja Koivun lehtien eteläreunaa kartoitettiin jo Karungin (2542 + 2524) (Perttunen 1972) ja Runkauksen (2544) (Perttunen 1971, 1991) karttalehtien kallioperätutkimusten aikana. Maastotyöt Törmäsjärven lehdellä aloitettiin varsinaisesti

vuonna 1972 ja päättyivät vuonna 1979. Koivun lehti kartoitettiin vastaavasti vuosina 1978–1983. Näiden vuosien jälkeen on maastossa käyty tarkistamassa vain joku-
nen yksityiskohta. Nykyinen geologinen karttakuva on pääosin muotoutuneena jo
GTK:n Lapin vulkaniittiprojektin kartassa (Perttunen ym. 1995).

Maastokarttoina käytettiin aluksi Maanmittauslaitoksen 1 : 20 000-mittakaavaisia
ilmakuvakarttoja ja keskeneräisten topografisten karttojen valokopioita. Painetut to-
pografikartat ja osasta aluetta myös peruskartat olivat käytettävissä vasta kartoituk-
sen loppupuolella.

GTK:n geofysikaaliset korkealentokartat kattoivat töiden alkaessa koko alueen. En-
simmäiset matalalentotulokset saatiin käyttöön vuonna 1975. Koivun karttalehden geo-
fysikaaliset matalalennot ovat vuodelta 1990. GTK uusi Törmäsjärven karttalehden ma-
talalennot kesällä 2002, mutta niiden tuloksia ei ehditty käyttää kallioperäkarttoja vii-
meisteltäessä. Varsinkin moninaiset karttatulosteet ovat olleet korvaamattomana apu-
na geologisia rakenteita tulkittaessa ja karttojen kivilajiyksiköitä rajattaessa.

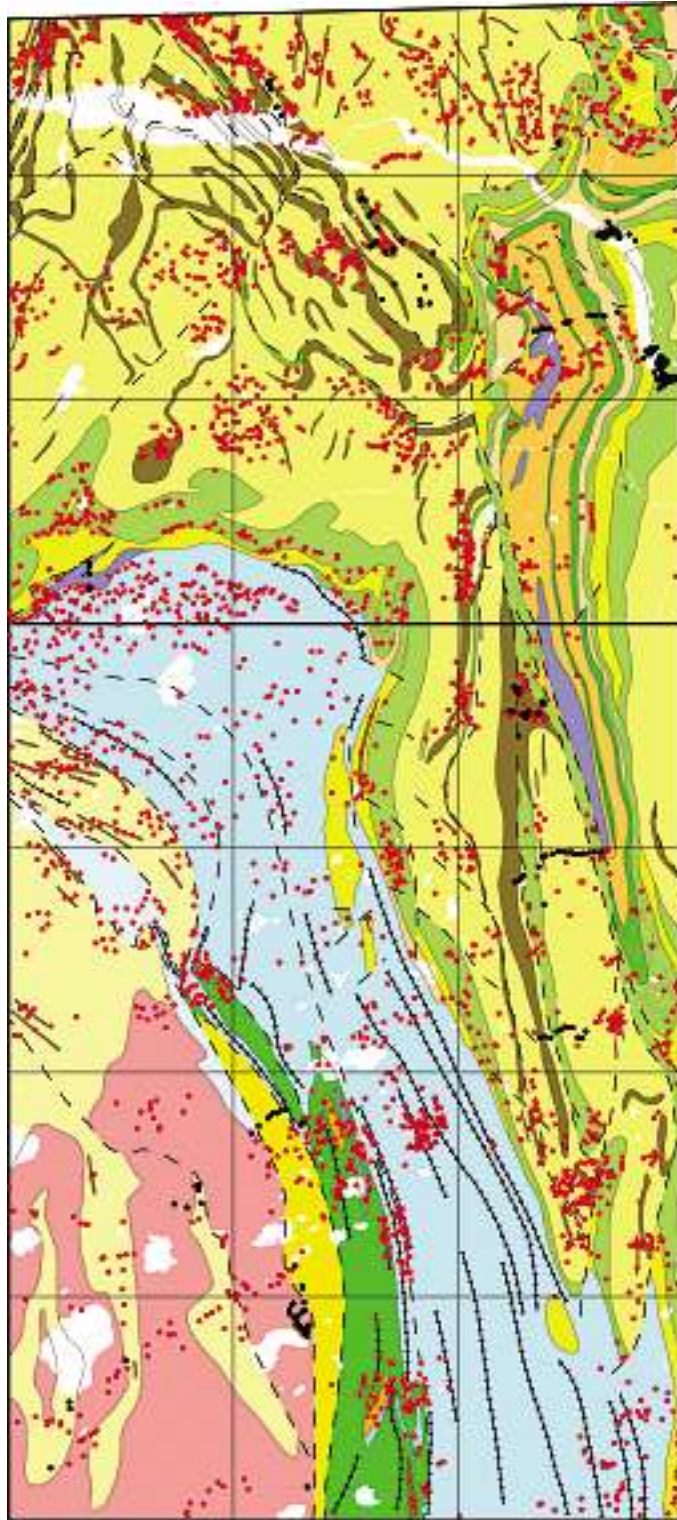
Kartoitusnäytteistä teetettiin silikaatti- ja malmianalyysijä eri laboratorioissa.
GTK:n geokemian osasto otti vuonna 1993 Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien
alueelta 60 litogeokemian kallionäytettä. Näiden kemiallisten analyysien tulokset
eivät karttoja laadittaessa olleet vielä käytettävissä, mutta joitakin niistä on lisätty
tämän selityksen geokemian osan diagrammeihin. Kartoitusnäytteistä mitattiin myös
geofysikaalisia parametrejä GTK:n laboratoriossa.

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien kartoituksen yhteydessä valittiin näytteitä
radiometrisiä iänmäärittäjiä varten. GTK:n isotooppilaboratoriossa tehtyjen analy-
ysien tulokset ja niiden perusteella arvioidut iät on julkaistu äskettäin (Perttunen &
Vaasjoki 2001). Alueen karbonaattikivistä on analysoitu myös hiilen isotooppeja (Kar-
hu 1993; Kortelainen 1998). ¹³C-analyysit ovatkin antaneet lisäselvyyttä alueen stra-
tigrafiaa ratkottaessa.

Karttoja laadittaessa hyödynnettiin GTK:ssa kehitetyllä Kalpea-ohjelmalla tallen-
netut ja tietokannoista löytyneet kallioperähavainnot ja kairareiät. Geologinen, geo-
fysikaalinen ja geokemiallinen materiaali yhdistettiin käyttämällä ArcView-ohjelmis-
toa. Koivun lehden alueelta paljastumahavaintoja kertyi kaikkiaan 1872 kappaletta
ja kairareikiä 185. Rei'istä 111 liittyi Kemijoki Oy:n voimalaitostöihin ja 42 mal-
minetsinnän yhteydessä tehtiin kairauksiin. Törmäsjärven lehden alueelta oli vas-
taavasti 1350 paljastumahavaintoa ja 82 raportoitua kairareikää. Tämänhetkinen ha-
vaintojen ja kairareikien tilanne on esitetty kuvassa 3. GTK:n arkistossa ja varastois-
sa säilytetään kallioperäkartoituksen yhteydessä kertynyttä materiaalia, josta saa tie-
toa Geologian tutkimuskeskuksesta.

Maastotöitä on johtanut Vesa Perttunen. Niihin osallistuivat Törmäsjärven kartta-
lehden alueella lisäksi Jukka Ranta (1970, 1972, 1973), Kai Lähteenmäki (1972–
1973), Peter Backlund ja Helmer Södergård (1974), Seppo Aaltonen (1975 ja 1978),
Jorma Seppälä (1975), Berndt Södergård (1976–1978), Jukka Väänänen (1976–1977)
ja Martti Pelkonen (1978). Koivun lehden alueella avustivat Seppo Aaltonen (1978),
Reijo Lampela (1979–1983), Jouni Lahti (1979), Martti Pelkonen (1979–1980), Han-
nu Salmi ja Ralf Inberg (1980–1981) sekä Merja Mäkelä (1983).

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien selitys on kirjoitettu yhteistyönä seuraavas-
ti: Eero Hanski on perehtynyt kemialliseen analyysimateriaaliin ja laatinut geokemiaa



Kuva 3. GTK:n tiedoistoissa olevien kivilajihavaintojen ja kairareikien sijainti Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien alueella.
Vesistöelementti © Maanmittauslaitos lupanro 584/MYY/03.

Fig. 3. Distribution of observation sites and drill holes in the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas.

koskevat osat ja johtopäätökset sekä diagrammit. Kirjoittajista Vesa Perttunen on vassannut maastotöistä, laatinut kallioperäkartat ja ottanut selityksen maastokuvat, ellei erikseen ole muuta mainittu. Reijo Lampela on ottanut digitaaliset mikroskooppikuvat ja prosessoinut valokuvat digitaaliseen muotoon. Soili Ahava on digitoinut ja muokannut kallioperäkarttojen materiaalin ja hoitanut monivaiheiset painatuksiin liittyvät tehtävät.

KALLIOPERÄN YLEISPIIRTEET JA STRATIGRAFIA

Törmäsjärven karttalehtialueen kallioperä on selvästi kaksijakoinen. Luoteisosa koostuu happamista syväkivistä sekä metamorfoituneista ja deformatuneista, usein myös graniittituneista gneisseistä, jotka kuuluvat Keski-Lapin granitoidikompleksiin (Nironen ym. 2002). Etelä- ja itäosaan puolestaan yltävät sedimenttisyntyiset ja vulkaanisperäiset kivilajit sekä niitä leikkaavat juonet, jotka on perinteisesti luettu Peräpohjan liuskealueeseen (vrt. Nironen ym. 2002). Granitoidikompleksin ja liuskeiden vaihtumisvyöhyke on kapea, ja siinä tavataan myloniittisia kivilajeja sekä breksioituneiden kivilajien vyöhykkeitä. Liuskealueen kivilajien metamorfoosiaste on alhainen, ja monet alkuperäiset rakennepiirteet ovat erinomaisesti näkyvissä.




















Koivun karttalehtialueen kallioperän muodostavat yksinomaan Peräpohjan liuskealueen hyvin säilyneet kivilajit; granitoidikompleksin kivilajit eivät sinne ulotu. Kuvissa 4 ja 5 on kummankin karttalehden geologiset kartat, joita voi verrata samalla aukeamalla magneettiseen ja sähköiseen harmaasävykarttaan.

Kaikki Peräpohjan liuskealueen kivilajiyksiköt ovat iältään paleoproterotsooisia, eikä liuskeiden kerrostumisalustaan kuuluvia kivilajeja ole Törmäsjärven kuten ei Koivunkaan karttalehden alueelta tavattu. Alueen Keski-Lapin granitoidikompleksiin kuuluvista kivilajeista ei ole ikätietoa, mutta tämänhetkisen käsityksen mukaan nekin ovat iältään paleoproterotsooisia.

Peräpohjan liuskealueeseen kuuluvat pintasyntyiset kivilajit on kartoilla selitetty ja kuvattu muodostumittain. Alueen stratigrafia on esitetty taulukossa 1. Muodostumat ovat pääosin samat kuin eteläpuolisilla Runkauksen (2544) ja Karungin (2524 + 2542) kallioperälehdillä sekä niiden selityksessä (Perttunen 1971, 1972 & 1991). Pallokivalon, Joutiaavan, Kvartsimaan ja Tikanmaan muodostumien korrelointi on varmalla pohjalla. Törmäsjärven lehden kaakkoisosasta Koivun lehden kautta itään jatkuvassa synkliinissä on Tikanmaan muodostuman yläpuolella dolomiitteja, jotka on perinteisesti luettu Rantamaan muodostumaan. Näiden dolomiittien sisällä on kuitenkin kaksi aeromagneettisilla kartoilla selvästi erottuvaa yksikköä, jotka paljastumien ja kairaustietojen perusteella ovat emäksisiä tuffiitteja. Tämän takia on alueen stratigrafiapylväseen jouduttu lisäämään kaksi uutta vulkaanista muodostumaa, Hirsimaan ja Lamulehdon muodostumat, joita ei ole todettu eteläisemmillä karttalehdillä. Dolomiitit jakautuvat siis kolmeen erilliseen osaan, joista alimpana on Poikkimaan muodostuma. Dolomiittien stratigrafisesti ylemmät osat on vielä pidetty Rantamaan muodostumana, jonka sisällä Lamulehdon vulkaaninen yksikkö on.

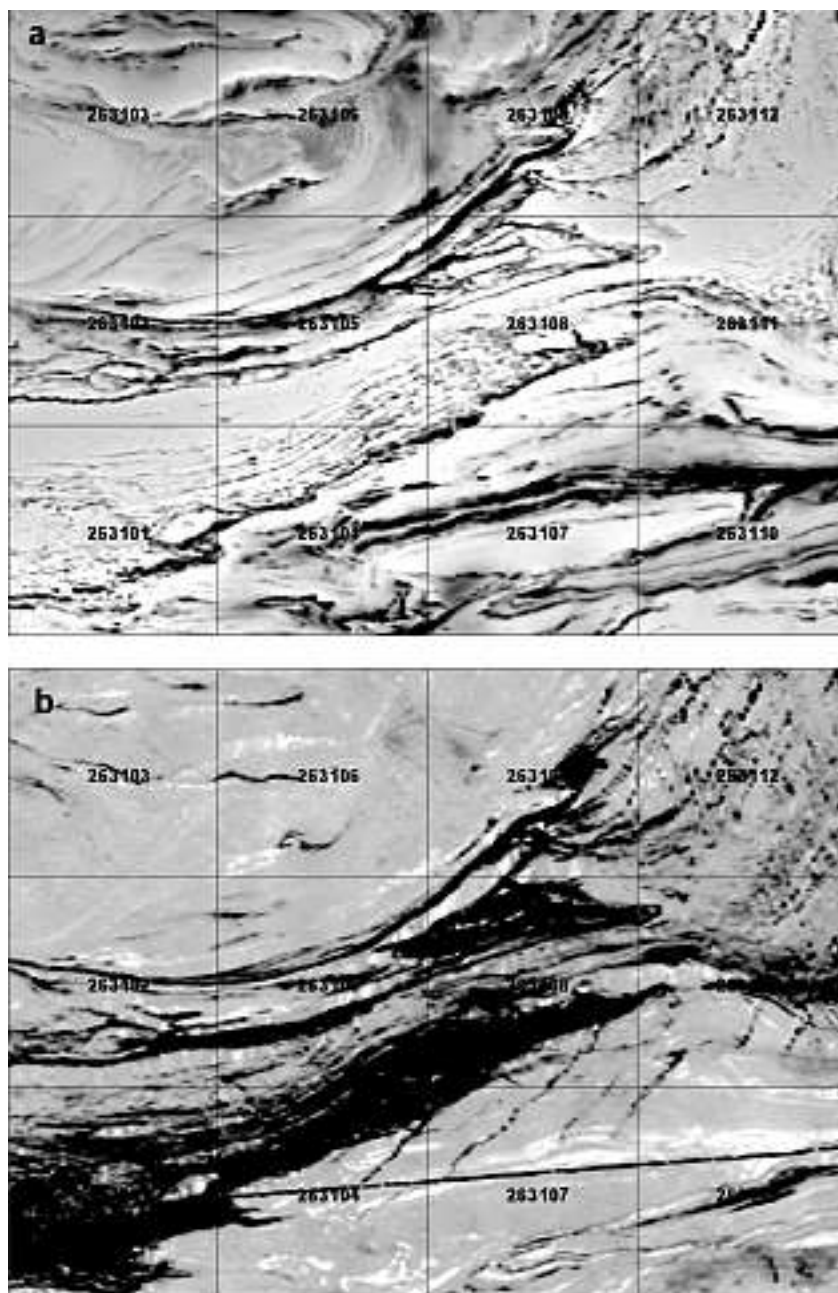
Törmäsjärven karttalehden keskellä Kaisavaaran pohjoispuolella (2631 07) ja siitä itään ja länteen on moreeniharjanteilla runsaasti suuria konglomeraatti- ja tyyny-

Taulukko 1. Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien stratigrafiset yksiköt.
Table 1. Stratigraphic units of the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas.

Keski-Lapin granitoidikompleksi	Central Lapland Granitoid Complex
 Graniittia	Granite
 Mellajoen svitti	Mellajoki Suite
	
	
Peräpohjan liuskealue	Peräpohja Schist Belt
 PAAKKOLAN RYHMÄ	PAAKKOLA GROUP
 Väystäjän muodostuma	Väystäjä Formation
 Martimon muodostuma	Martimo Formation
	
 KIVALON RYHMÄ	KIVALO GROUP
 Lamulehden muodostuma	Lamulehto Formation
 Rantamaan muodostuma	Rantamaa Formation
 Hirsimaan muodostuma	Hirsimaa Formation
 Poikkimaan muodostuma	Poikkimaa Formation
 Tikanmaan muodostuma	Tikanmaa Formation
 Kvartsimaan muodostuma	Kvartsimaa Formation
 Joutilaavan ja Santalammen muodostumat	Joutilaava and Santalampi Formations
 Palokivalon ja Kaisavaaran muodostumat	Palokivalo and Kaisavaara Formations
 Runkauksen muodostuma	Runkaus Formation
 Sompujärven muodostuma	Sompujärvi Formation

laavalohkareita (kuvat 6 ja 7). Näitä hyvin säilyneitä kivilajeja ei ole missään tavattu paljastuneina. Maaperätutkimusten mukaan moreenin pintalohkareisto on hyvin paikallista (Aario ym. 1997). Tyynylaavalohkareet kuuluvat ilmeisimmin Santalammen muodostumaksi nimettyyn vulkaaniseen muodostumaan, jonka paljastuneet osat koostuvat karkeahkoista, agglomeraattisista, pyroklastisista kivilajeista. Myös Kaisavaaran muodostumaksi nimetyn kvartsiittiysikön asema ja korrelaatio muualle on paljastumien niukkuuden ja osaksi myös tektonisten kontaktiensa vuoksi epävarma. Geologisen rakenteen selvittämiseksi on kairattu kaksi lyhyiden, pystyjen kairareikien profiilia ja kolme syväkairausreikää, mutta Kaisavaaran alueen stratigrafisten yksiköiden asema ja korrelointi voivat myöhempien tutkimusten myötä vielä muuttua.

Törmäsjärven karttalehden eteläosan Peräpohjan liuskealueen hyvin säilyneiden liuskeiden ja pohjoisosan syväkivien ja gneissien välillä on 0,5–1 km leveä paljastu-



Kuva 4. a) Törmäsjärven (2631) karttalehden aeromagneettinen harmaasävykartta. Totaali-intensi-
 teetti. Absoluuttiarvo 1965,0.

b) Törmäsjärven (2631) karttalehden harmaasävykartta. Reaalikomponentti.

c) Törmäsjärven (2631) karttalehden kallioperä.

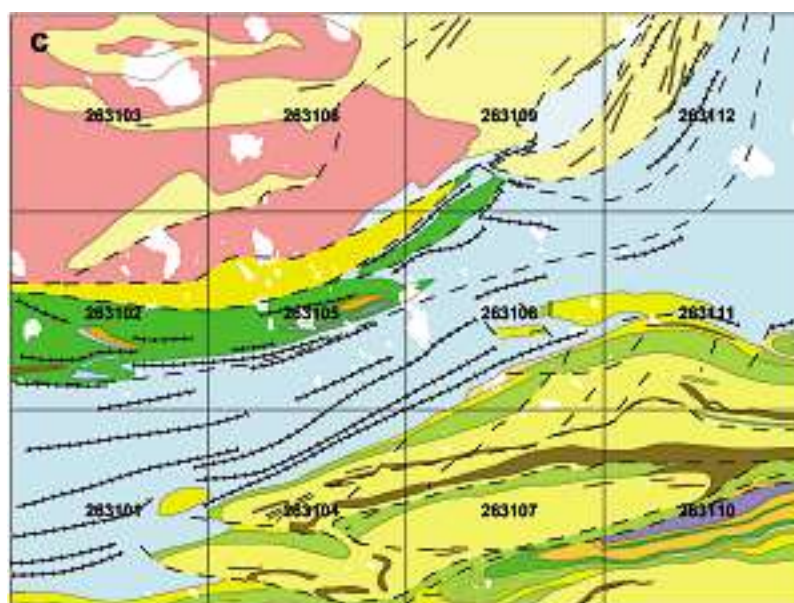
Fig. 4. a) Low-altitude airborne greytone magnetic map of the Törmäsjärvi (2631) map-sheet area.
 (IGRF1965)

b) Low-altitude airborne greytone electromagnetic map of the Törmäsjärvi (2631) map-sheet area.

c) Bedrock of the Törmäsjärvi (2631) map-sheet area

Vesistöelementti © Maanmittauslaitos lupanro 584/MYY/03.

Suomen geologinen kartta, Kallioperäkarttojen selitykset 1 : 100 000, lehdet 2631 ja 2633
Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien kallioperä



Keski-Lapin granitoidikompleksi



Central Lapland Granitoid Complex

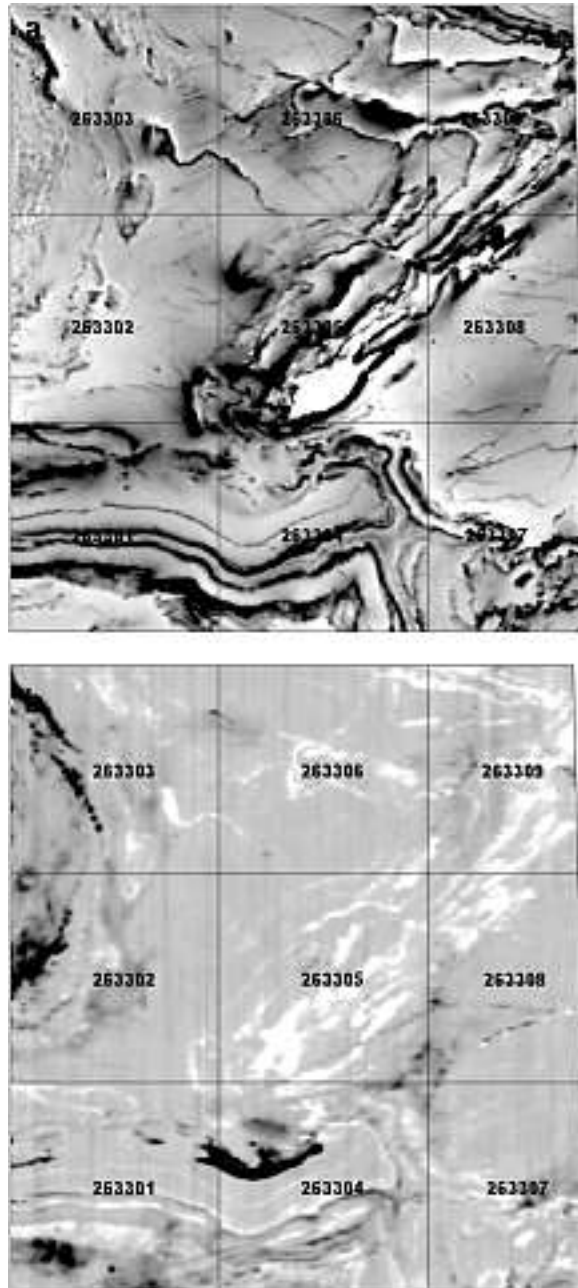
Granite
Meltjoki Suite
Meltjoki Suite

Peräpohjan liuskealue



Peräpohja Schist Belt

Diabase
PAAKKOLA GROUP
Väystäjä Formation
Martimo Formation
KIVALO GROUP
Lamulehto Formation
Rantamaa Formation
Hirsimaa Formation
Pokkimaa Formation
Tikanmaa Formation
Kvartsimaa Formation
Jouttisjärvi and Santalammi Formations
Palokivalo and Kaisavaara Formations
Runkaus Formation
Sompujärvi Formation



Kuva 5. a) Koivun (2633) karttalehden aeromagneettinen harmaasävykartta. Totaali-intensiteetti. Absoluuttiarvo 1965.0.

b) Koivun (2633) karttalehden harmaasävykartta. Reaalikomponentti.

c) Koivun (2633) karttalehden kallioperä.

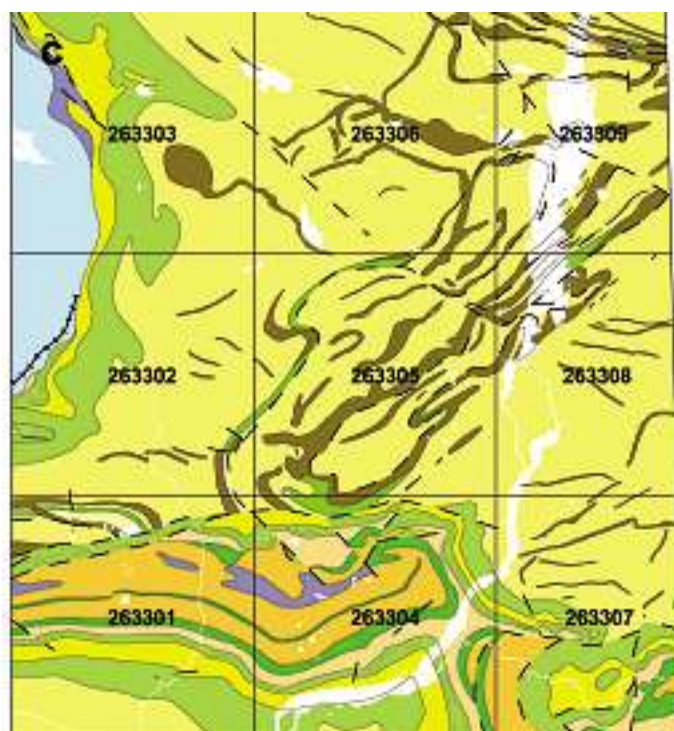
Fig. 5. a) Low-altitude airborne greytone magnetic map of the Koivu (2633) map-sheet area. (IGRF1965.)

b) Low-altitude airborne greytone electromagnetic map of the Koivu (2633) map-sheet area.

c) Bedrock of the Koivu (2633) map-sheet area.

Vesistöelementti © Maanmittauslaitos lupanro 584/MYY/03.

Suomen geologinen kartta, Kallioperäkarttojen selitykset 1 : 100 000, lehdet 2631 ja 2633
Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien kallioperä



Peräpohjan liuskealue

	Diabaasia
	PAAKKOLAN RYHMÄ
	Martimon muodostuma
	KIVALON RYHMÄ
	Lamulehdon muodostuma
	Rantamaan muodostuma
	Hirsimaan muodostuma
	Poikkimaan muodostuma
	Tikanmaan muodostuma
	Kvartsimaan muodostuma
	Joutilaavan muodostuma
	Palokivalon muodostuma
	Runkauksen muodostuma
	Sompujärven muodostuma

Peräpohja Schist Belt

Diabase
PAAKKOLA GROUP
Martimo Formation
KIVALO GROUP
Lamulehto Formation
Rantamaa Formation
Hirsimaa Formation
Poikkimaa Formation
Tikanmaa Formation
Kvartsimaa Formation
Joutilaapa Formation
Palokivalo Formation
Runkaus Formation
Sompujärvi Formation



Kuva 6. Kaisavaaran muodostuman yläosan konglomeraattia lohkareena.
Fig. 6. Conglomerate boulder from the Kaisavaara Formation.
Santalampi, Tervola. 2631 07D. x = 7345,600; y = 2527,600.



Kuva 7. Santalammen muodostuman tyynylaavalohkare.
Fig. 7. Pillow lava boulder from the Santalampi Formation.
Isolehto, Tervola. 2631 10B. x = 7346,340; y = 2530,740.

maton vyöhyke. Jyrkän metamorfoosiasteen muutoksen ja paikallisten hiertyneiden, myloniittisten ja breksioituneiden lohcareiden sekä paljastumien perusteella on pääteltävissä, että näiden yksiköiden välinen kontakti on tektoninen ja niiden tämänhetkinen lähekkäinen asema mahdollisesti pitkienkin ylityöntöjen tulosta. Törmäsjärven lehden luoteisosan kallioperä onkin kartalla ja selityksessä kuvattu Keski-Lapin granitoidikompleksiin kuuluvina litodeemeinä. Siihen kuuluvia kivilajeja, kuten kiilleliuske ja kvartsiitti, ei ole tässä vaiheessa korreloitu varsinaisen Peräpohjan liuskealueen muodostumien kanssa.

Sekä Törmäsjärven että Koivun pintasyntyisten kivilajien joukossa on runsaasti emäksisiä juonia. Petrografisesti on voitu erottaa kolme eri juonityyppiä, jotka ilmeisesti myös iältään eroavat toisistaan. Osa juonista kuuluu laaja-alaiseen, noin 2,2 miljardia vuotta vanhaan differentioituneeseen, lähinnä Palokivalon muodostuman kvartsiitteissa esiintyvään gabro-wehrliittiseen kerrosjuonisarjaan. Samoja kvartsiitteja leikkaavista differentioitumattomista diabaaseista on saatu noin 100 miljoonaa vuotta nuorempia iä. Kvartsimaan ja Tikanmaan muodostumia leikkaavien karkearakeisten, tummien diabaasijuonten ajoitus ei toistaiseksi ole onnistunut (Perttunen & Vaasjoki 2001). Keski-Lapin granitoidikompleksin diabaasijuonia ei ole ajoitettu.

Tässä selityksessä käsitellään ensin Keski-Lapin granitoidikompleksiin luetut kivilajit. Sen jälkeen kuvataan Peräpohjan liuskealueen pintasyntyiset kivilajiyksiköt stratigrafisessa järjestyksessä alhaalta ylöspäin sekä lopuksi niitä leikkaavat juonet.

KIVILAJIT

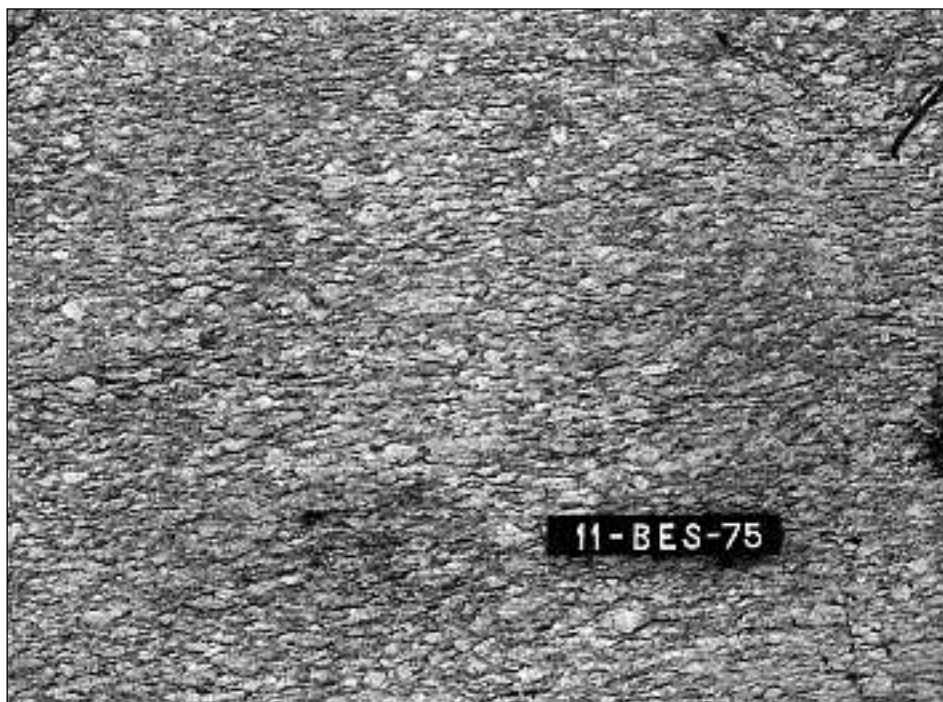
Keski-Lapin granitoidikompleksi

Graniitit

Törmäsjärven karttalehden luoteisosassa on punertavia tai harmaita, deformatuneita karkearakeisia graniitteja. Niiden rakenne on enimmäkseen silmägneissimäistä, jolloin maasälpä esiintyy pyöreäköinä, 0,5–3 cm:n kokoisina silminä (kuva 8). Silmät ovat kalimaasälpää, joka on väriltään useimmiten punaista, harvemmin valkoista. Muut mineraalit ovat kvartsi ja plagioklaasi sekä osittain kloriitiksi muuttunut biotiitti. Hivenmineraaleina on zirkonia ja apatiittia. Nämä deformatuneet graniitit ovat parhaiten paljastuneina karttalehden luoteisosan vaarojen alueella, kuten Kuijasvaarassa (2631 06A), Kierovaarassa (2631 05D) ja Talasmaassa (2631 03C).

Toinen, harvinaisempi karttalehtialueen granitoidityyppi on deformatumaton, punainen, keski- ja tasarakeinen graniitti. Tämä graniitti leikkaa silmägneissisiä ja on siis silmägneissejä nuorempi. Kummastakaan tyypistä ei ole tehty radiometrisiä iänmäärittäyksiä. Lännempänä Ylitornion (2613) ja Karungin (2542) lehdillä esiintyviä harmaita, Haaparannan sarjaan luettuja syväkiviä ei Törmäsjärven lehden alueella ole todettu.

Silmägneissimäisissä graniiteissa on kvartsiitti- ja kiillegneissisulkeumia, jotka esiintyvät Kuijasvaarassa (2631 06C) ovat jopa aarien kokoisia. Näissä sulkeumissa kvartsiitit ovat väriltään enimmäkseen vaaleita, mutta paikoitellen ne ovat selvästi vihreitä.



Kuva 8. Keski-Lapin granitoidikompleksin silmägneissimäistä graniittia.
Fig. 8. Augen gneiss from the Central Lapland Granitoid Complex.
Laatta – Tag – 12 cm.
Kierovaara, Ylitornio. 2631 06D. x = 7358,410; y = 2515,760.

Luoteisosan graniitteihin liittyy juonimaisia pegmatiittiosueita. Niiden väri on punertava, raekoko suuri, 10–20 cm, ja päämineraaleina ovat kirjomaasälpä ja kvartsi. Usein näissä pegmatiittijuonissa on myös mustia turmaliinikiteitä.

Diabaasijuonet

Mellajoen sviitin kvartsiiteissa Törmäsjärven karttalehden pohjoisosassa (2631 09–12) on diabaasijuonia. Ne ovat yleensä liuskeisuuden suunnassa ja niiden vahvuudeksi on arvioitu 20–50 m. Kontaktit sivukiviä vastaan ovat terävät. Juonet ovat enimmäkseen tummia ja pieni- tai keskirakeisia sekä liuskeisia. Niiden mineraalit ovat sarvivälke ja plagioklaasi. Tekstuurissa ei ole jälkeäkään mahdollisesta ofiittisuudesta, vaan juonet ovat täysin uudesti kiteytyneitä amfiboliitteja.

Mellajoen sviitti

Kvartsiitit

Mellajoen sviitin kvartsiitit ovat enimmäkseen vaaleita ja keskirakeisia. Karttalehden luoteisosan graniittiutuneissa lohkarakkeissa ja paljastumissa kvartsiitti on usein vihreää. Liuskeisuus on selvää, mutta kerroksellisuutta on niissä havaittu vain satunnaisesti. Poimutus on usein hyvin intensiivistä (kuva 9). Latvikkomaan – Kuusivaaran vyöhykkeessä (2631 09C–12A) kvartsiittipaljastumissa on lähes 10 kilometrin matkalla breksiarakennetta, jolloin kulmikkaat kvartsiitin kappaleet ovat pakkautuneet tiukasti yhteen (kuva 10).

Mellajoen sviitin kvartsiitin toisena päämineraalina on kvartsin lisäksi pienisuo-
muinen muskoviitti (kuva 11) ja harvemmin vaalea amfiboli. Myös hyvin puhdasta kvartsiittia on havaittu. Kvartsiittien rakenne on granoblastinen, eikä niissä ole merkkiäkään klastisuudesta.

Mellajoen sviitin kvartsiiteissa on välikerroksina kiilleliusketta ja dolomiittia. Kiilleliuskeet ovat pienirakeisia ja selväliuskeisia. Porfyroblasteina on kordieriittia. Vajavaaran ympäristössä (2631 06A) on karkeaa, kordieriittia ja granaattia sisältävää gneissia. Välikerroksissa on paikoin grafiittia ja kiisuja. Tällaista kiisupitoista kiveä on aikoinaan louhittu Merivaarasta (2631 06B) (Mikkola 1945) ja kuljetettu perimätiedon mukaan Kōnkäsen ruukkiin Tornionjokivarteen. Dolomiitit ovat uudesti kiteytyneitä, eikä niissä ole tavattu kerroksellisuutta lukuun ottamatta muita primäärisiä rakenteita. Kvartsiittien karbonaattia sisältävissä välikerroksissa on usein metamorfoosissa syntynyttä vaaleaa tremoliittia tai karkeaa diopsidia, kuten Talasmaassa Törmäsjärven lounaispuolella (2631 03C).

Kiilleliuskeet

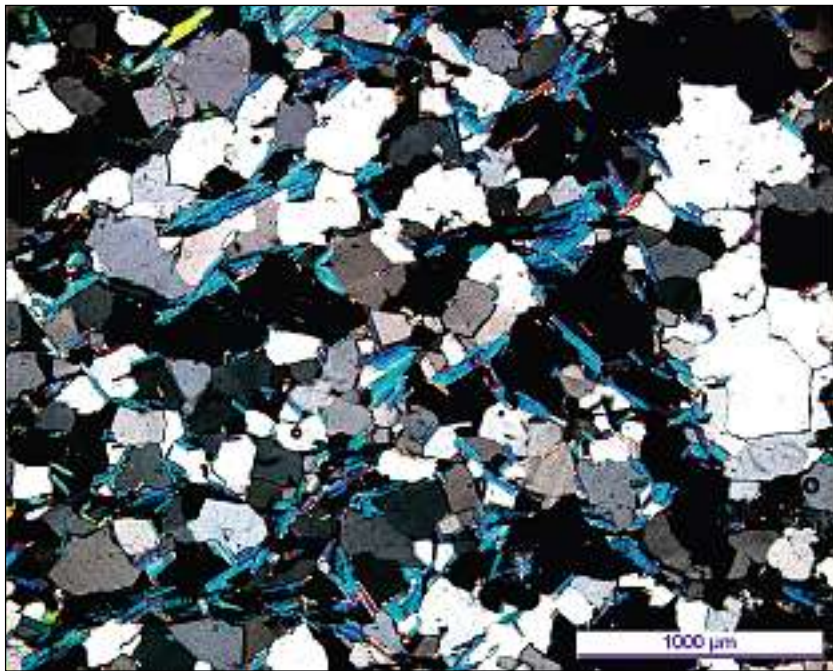
Mellajoen sviitin kiilleliuskeet ovat harmaita ja pieni- tai keskirakeisia. Kerrokset ovat paikoin selvät, ja monin paikoin on näkyvissä turbidiitteihin viittaavia rakennepiirteitä. Liuskeisuus on selvää ja poimutus paikoin intensiivistä. Porfyroblasteina on kordieriittia sekä biotiittia; muutamassa paljastumassa on myös andalusiittia (kuva 12). Ulkonäöltään Mellajoen sviitin kiilleliuskeita ei voi erottaa Martimon muodostuman kiilleliuskeista.



Kuva 9. Voimakkaasti poimuttunutta Mellajoen sviitin kvartsiittia
Fig. 9. Strongly folded quartzite of the Mellajoki Suite.
Kolikko – Coin diameter – 18 mm.
Kotamaa, Ylitornio. 2631 06B. x = 7365,760; y = 2511,750.



Kuva 10. Breksiarakennetta kvartsiitissa Peräpohjan liuskealueen ja Keski-Lapin grani-
toidikompleksin saumavyöhykkeessä.
*Fig. 10. Quartzite breccia in the contact zone between the Central Lapland Granitoid
Complex and the Peräpohja Schist Belt.*
Kuusivaara, Ylitornio. 2631 12A. x = 7362,560; y = 2530,380.



Kuva 11. Mellajoen sviitin vahvasti metamorfoitunutta kvartsiittia. Mineralit kvartsi ja
muskoviitti. Ristinikolit.
*Fig. 11. Photomicrograph of strongly metamorphosed quartzite from the Mellajoki Suite.
Crossed nicols.*
Taka-Koivumaa, Ylitornio. 2631 09A. x = 7369,050; y = 2522,680.



Kuva 12. Kuopalle rapautuneita kordieriittiporfyroblasteja ja koholla olevia, sinertäviä andalusii-
porfyroblasteja Mellajoen sviitin kerroksellisessa kiilleliuskeessa.

*Fig. 12. Cordierite (weathered) and andalusite (bluish) porphyroblasts in a mica schist of the Mel-
lajoki Suite.*

Kolikko – coin – 16 mm.

Laukkutievannaa, Ylitornio. 2631 12B. x = 7367,590; y = 2532,310.

Kvartsi-maasälpägneissit

Törmäsjärven karttalehden länsiosassa on karkeiden, silmägneissimäisten grani-
toidien ja eteläpuolisten liuskealueeseen kuuluvien emäksisten vulkaniittien välissä
vyöhyke, joka koostuu keskirakeisista, liuskeisista ja hiertyneistä gneisseistä. Niissä
ei ole tavattu minkäänlaisia kerrosrakenteita. Gneissien mineraalit ovat plagioklaasi,
kvartsi ja kalimaasälpä sekä biotiitti. Maasälvät ja kvartsi ovat 2–5 mm:n kokoisina
silmäkkeinä. Maasälpien väri on valkoinen tai punertava; kvartsisilmissä on usein sel-
vä sininen vivahde. Nämä gneissit muistuttavat happamia vulkaniitteja, mutta tässä
vaiheessa ne on tulkittu granitoidikompleksin reunavyöhykkeen myloniittisiksi
osiksi.

PERÄPOHJAN LIUSKEALUE

Kivalon ryhmän kivilajit

Sompujärven muodostuma

Peräpohjan liuskealueen kaakkoisreunalla on pitkällä matkalla Palokivalon muo-
dostuman kvartsiittien ja Runkauksen muodostuman vulkaniittien alapuolella arkeei-
sen kallioperän päällä ohut polymiktisistä konglomeraateista, arkooseista ja kvartsiit-

tista koostuva Sompujärven muodostuma (Perttunen 1991). Palokivalon ja Runkauksen muodostuman kivilajit ovat varmuudella havaittavissa vaarajaksossa, joka ulottuu Törmäsjärven lehdeltä Luppovaarasta (2631 11A) Koivun lehden puolelle Kätkävaaraan ja edelleen Pisavaaraan (2633 05). Runkauksen muodostuman vulkaniittien alapuolella on paljastuneena kvartsiittia, joka tässä vaiheessa on korreloitu Sompujärven muodostuman kanssa. Näiden kvartsiittien kontakti yläpuolisiin vulkaniitteihin on vähittäinen. Puolivälinrakalla (2633 05C) on paljastuneena emäksisen tuffiitin alapuolella noin neljä metriä konglomeraattia, jonka pyöristyneet pallot ovat kvartsia ja graniittia. Tämä konglomeraatti ilmeisesti kuuluu Sompujärven muodostumaan, joka on huonosti paljastunut ja varsinkin sen alakontaktin sijainti epävarma. Alakontakti on tulkittu joka kohdassa tektoniseksi, eikä alapuolisista kivilajeista ole mitään tietoa.

Sompujärven muodostuman harvat paljastumat koostuvat vaaleista, pienirakeisista ja selväliuskeisista kvartsiiteista. Kerrokset erottuvat heikosti.

Runkauksen muodostuma

Runkauksen muodostuma sijoittuu Palokivalon kvartsiittimuodostuman alapuolelle. Törmäsjärven karttalehden alueella nämä kvartsiittien alapuoliset vulkaniitit ja niiden kontakti ovat paljastuneena vain Luppovaaran etelärinteessä (2631 10D) ja siitä itään Koivun lehden puolelle Kätkävaarasta Pisavaaraan ulottuvassa vyöhykkeessä.

Nämä vulkaniitit muodostavat ohuita, mantelirakenteisia laavapatjoja sekä pyroklastisia, paikoin agglomeraattimaisia kerroksia. Vulkaniittien joukossa on tavattu myös ohuita kvartsiittikerroksia.

Mantelikivien alkuperäiset mineraalit, pyrokseeni ja plagioklaasi, ovat metamorfoosissa muuttuneet tummanvihreäksi amfiboliksi sekä albiitiksi. Mantelit koostuvat kalsiitista, kvartsista sekä kloriitista.

Puolivälinrakalla (2633 05C) Runkauksen muodostuman vulkaanisia kivilajeja on diabaasijuonen kummallakin puolella. Tällä alueella kivilajit ovat ohutkerroksisia emäksisiä tuhkia. Vulkaniitin eteläkontaktissa on edellä mainittu konglomeraattikerros. Tuhkat ovat monin paikoin muuttuneet pienirakeiseksi, valkeaksi, kvartsirikkaaksi, cherttimäiseksi kiveksi. Paikoin on tuhkien joukossa pienirakeista kiveä, jossa on punertavia ja vihreitä, poimuttuneita kerroksia. Tätä kiveä on Lapin Lumon nimellä käytetty korukivenä (Vartiainen 1994). Myös Pukinaavan–Uusijängän seudun vulkaniittialue (2633 04B) koostuu pääosin samantapaisista puna-viherraitaisista liuskeista.

Pienialaisia Runkauksen muodostumaan luettuja vulkaniitteja on Kemijoen itäpuolella Ropsavaaran seudulla (2633 08B–09A). Laavapatjojen joukossa on myös emäksisiä, homogeenisia kiviä, joista osa saattaa olla kerrosten suuntaisia diabaasi-juonia. Myös Koivun karttalehden koillisnurkassa (2633 09D) on kvartsiitin alla kais-taleet Runkauksen muodostuman mantelikiviä. Tällä alueella on kvartsiittien, diabaasien ja vulkaniittien lähistöllä erikoista, karkearakeista, kloriittia, kordieriittia ja kum-mingtoniitti-antofylliittia sisältävää kivilajia, jonka asema ja alkuperä ovat epäsel-viä. Tähän pehmeään kivilajiin ovat kovertuneet Suomen suurimmat, yli 15 m syvät hiidenkirnut (kuva 13).

Suomen geologinen kartta, Kallioperäkarttojen selitykset 1 : 100 000, lehdet 2631 ja 2633
Vesa Perttunen ja Eero Hanski



Palokivalon muodostuma

Palokivalon kvartsiittimuodostuma ulottuu Törmäsjärven lehdellä lähes yhtenäisenä itä-läntisenä vaarajaksona Luppovaarasta (2631 11C) karttalehden itäreunalta Valkia- ja Sorvasvaaran kautta länteen Korttovaaraan (2631 04A), mistä se jatkuu etelämpänä Karungin (2542) lehden puolella. Palokivalon muodostuman kvartsiitit jatkuvat Luppovaarasta itään Koivun karttalehden puolelle Kätkävaaraan (2633 02A) ja kaartuvat siitä Pisavaaran kautta edelleen luoteeseen Louevaaran Tuohilaelle (2633 06). Laaja kvartsiittialue alkaa uudestaan Kemijoen itäpuolella Petäjävaaran–Vammavaaran seudulla ja jatkuu sieltä edelleen itäänpäin kauas Inginkivalon (3611) karttalehdelle.

Palokivalon kvartsiittien alapuolella on Luppo- ja Kätkävaaran etelärinteessä sekä Pisavaaran kaakkoispuolella emäksisiä vulkaniitteja, jotka on rinnastettu Runkauksen muodostuman vulkaniitteihin. Korttovaarassa (2631 04) kvartsiittien alakontakti on selvästi tektoninen. Palokivalon kvartsiittimuodostuman päälle tulevat joka paikassa Jouttiaavan muodostuman mantelikivilaavat. Näiden muodostumien kontaktivyöhykkeeltä ei ole löydetty paljastumia.

Törmäsjärven lehden kaakkoisosassa Palokivalon muodostuman kvartsiittia on paljastuneena vain Kelontekemän pienen vaaran kohdalla (2631 07C). Siitä itäänpäin on vain paikallisia lohkareikkoja. Koivun lehden lounaisosassa on niukalti paljastumia, ja tätä kvartsiittia on tavattu vain muutamassa Ossauskosken kairanreiässä (2633 04).

Törmäsjärven karttalehden itäosassa Palokivalon kvartsiitti on keskirakeista ja suhteellisen puhdasta, paikoin valkeaa ortokvartsiittia. Kerrokset ovat selvät, ja ristikerroksia esiintyy vahvoissa, jopa lähes kymmenmetrisissä seteissä (kuva 14). Kerrosten kulku on lähellä itä-läntistä, ja kaateet ovat jyrkästi pohjoiseen.

Lännempänä kvartsiittien raekoko on pienempi, väri punertavaa, silttivälikerrokset tavallisia ja ristikerrokset selvästi ohuempia, kymmenen sentin luokkaa. Myös kerrosten kaade on loivempi. Susivaaran (2631 04) kohdalla on kvartsiitissa selvä antikliinipointu, jota rajautuu eteläpuolella siirrokseen.

Kvartsiitit ovat selväkerroksisia, ja myös muut alkuperäiset sedimenttirakenteet kuten aallonmerkit (kuva 15) ja kuivumisraot (kuva 16) ovat monin paikoin hyvin selviä. Törmäsjärven karttalehdellä kvartsiittikerrokset ovat yleensä jyrkässä asennossa; kerroskaade on useimmiten yli 65 astetta. Edellä mainitun Susivaaran antikliinipointun kohdalla kerrosten kaade on pienempi, 35°–50°. Koivun karttalehdellä Palokivalon muodostuman kvartsiittien kerrosten kaade on yleensä kohtalaisen loiva, ja kvartsiittivaarojen alueella esimerkiksi Vammavaarassa (2633 07B) ja Hanhivaarassa (2633 08) on näkyvissä selviä, laajoja, avoimia pointuja.

Palokivalon muodostuman kvartsiitit ovat selvästi klastisia. Kvartsirakeiden koko on 0,2–1 mm. Niiden lisäksi kivessä on hieman maasälpää. Iskos on kvartsia, ja sen

Kuva 13. Sukulanrakan etelärinteen pehmeään kordieriitti-antofylliittikiveen kovertuneita hiidenkirnua, joiden joukossa on syvin tähän mennessä Suomesta löydetty.

Fig. 13. Pot-holes in soft cordierite- and anthophyllite-bearing rock at Sukulanrakka. The deepest pot-holes detected so far in Finland occur in this area.

Valokuva – Photo: Peter Johansson.

Sukulanrakka, Rovaniemen mlk. 2633 09D. x = 7368,370; y = 2555,500.



Kuva 14. Paksu virtakerrossetti Palokivalon muodostuman kvartsiitissa.
Fig. 14. A thick cross-bed set in quartzite, Palokivalo Formation.
Luppovaara, Tervola. 2631 11C. x = 7350,200; y = 2536,400.



Kuva 15. Aallonmerkkejä Palokivalon muodostuman kvartsiitissa.
Fig. 15. Ripple-marks in quartzite, Palokivalo Formation.
Kätkävaara, Tervola. 2633 01B. x = 7349,590; y = 2543,350.
Valokuva – Photo: Pentti Rastas.



Kuva 16. Kuivumisrakoja Palokivalon muodostuman kvartsitissa.
Fig. 16. Mud-cracks in quartzite of the Palokivalo Formation.
Laatta – Tag – 6 x 6 cm.
Kätkävaara, Tervola. 2633 01B. x = 7449,570; y = 2542,020.

lisäksi on paikoin serisiittiä tai karbonaattia. Hanhivaaran seudulla (2633 08) kvartsiitissa on muutaman neliökilometrin alueella välikerroksina konglomeraattia, jossa on pyöristyneinä, 1–2 cm:n kokoisina palloina kvartsia ja kalimaasälpää. Tämän-
paista konglomeraattia ei ole aikaisemmin havaittu muualla Peräpohjan liuskealueella.

Sorvasvaaran (2631 07) ja Valkiavaaran (2631 08C) pohjoispuolella Palokivalon muodostuman yläosassa on dolomiittia sisältäviä välikerroksia. Valkiavaaran pohjoispuolella dolomiitti on pienirakeista, selväkerroksista ja kellertävää. Tässä dolomiitissa on myös stromatoliittirakennetta. Sorvasvaarassa dolomiitti on valkeaa ja karkearakeisempaa.

Kaisavaaran muodostuma

Törmäsjärven karttalehden eteläosassa Kaisavaaran alueella (2631 07) on paljastuneena keski-karkearakeista, vaaleaa kvartsiittia. Se on yleensä selvästi liuskeista ja sisältää kvartsin lisäksi serisiittiä. Alkuperäinen klastinen rakenne on paikoin näkyvissä. Tämä yksikkö on erotettu Kaisavaaran muodostumaksi. Kaisavaaran etelärinteessä tämän muodostuman eteläkontakti on selvästi tektoninen. Eteläpuolella on puhkaita, kerroksellisia kvartsiitteja, jotka ulkonäöltään muistuttavat Kvartsimaan muodostuman kvartsiitteja. Kaisavaaran muodostuman pohjoisreunalla on konglomeraattia ja edelleen Santalammen vulkaaninen muodostuma, jotka on tulkittu kerrostuneeksi tämän kvartsiitin päälle. Tulkinnot ovat jossakin määrin epävarmat, sillä paljastumia on niukalti eikä kvartsiitista ole riittävästi varmoja pohjansuuntahavaintoja.

Kaisavaaran pohjoispuolella tavataan kymmenen kilometrin matkalla konglomeraattia lohkareina ja jopa tiheinä lohkareistoina. Tätä kivilajia ei ole tavattu missään paljastuneena, vaan sitä on havaittu lohkareikkojen lisäksi vain yhdessä pokakairaus- ja yhdessä pitkässä syväkairausreiässä. Siinäkään ei tavoitettu ilmeisesti konglomeraatin alapuolelle sijoittuvaa Kaisavaaran kvartsiittia. Konglomeraatti on selvästi polymiittinen. Hyvin pyöristyneet pallot ovat kvartsiittia, kvartsia ja dolomiittia. Pallojen välissä on karkeaa arkoosia, jossa paikoin on runsaasti dolomiittia (kuva 6), jopa selviä dolomiittikerroksia. Konglomeraatin deformaatio on olematonta.

Tämän konglomeraatin ja koko Kaisavaaran muodostuman stratigrafinen asema on epäselvä. Ulkonäöltään ja petrografisesti konglomeraatin vastineena on Runkauksen lehdellä (2544 06) esiintyvä Ukonkönkään konglomeraatti, joka on siellä sisällytetty Kvartsimaan muodostumaan (Perttunen1991). Kvartsiitti ja konglomeraatti on kartalla erotettu omaksi Kaisavaaran muodostumaksi, ja se on tässä vaiheessa rinnastettu Palokivalon kvartsiittimuodostumaan.

Santalammen muodostuma

Santalammen muodostuma koostuu yksinomaan emäksisistä vulkaniiteista. Paljastumissa tavataan agglomeraattimaisia, pyroklastisia kivilajeja, joissa on enimmäkseen pyöristyneitä, 2–20 cm:n kokoisia vulkaniittifragmentteja pienirakeisemmassa välimassassa. Myös kulmikkaat, 1–2 cm kokoiset magnetiittifragmentit ovat yleisiä. Suurina, ilmeisen paikallisina lohkareina on selvää tyynylaavaa (kuva 7), mutta paljastumissa tai kairauksissa ei tyynylaavaa eikä muitakaan laavarakenteita ole havaittu. Santalammen muodostuman pyroklastisten kivien magneettinen susceptiivisuus on

suhteellisen korkea, 80 000 – 250 000 μ SI. Muodostuma erottuu aeromagneettisella kartalla selvänä, positiivisena anomaliana. Magnetoituneen osan vahvuus on noin 500 m, ja anomaliaa voidaan seurata yli 15 kilometrin matkan. Santalammen muodostuman eteläpuolelle tulee konformisti Kaisavaaran muodostuman yläosaan luettu konglomeraatti, kun taas pohjoispuolinen kontakti lienee tektoninen.

Santalammen muodostuman korrelointi muualle Peräpohjan liuskealueelle on ongelmallista. Jos Kaisavaaran muodostuman aseman tulkinta on oikea, Santalammen muodostuma tulisi rinnastaa petrografisesti ja geokemiallisesti täysin erilaiseen Joutiaavan vulkaaniseen muodostumaan.

Joutiaavan muodostuma

Joutiaavan muodostuman laavoja tavataan Törmäsjärven karttalehden kaakkoisreunan synkliinin reunoilla sekä koko matkan Palokivalon kvartsiittivyöhykkeen pohjoispuolella karttalehden keskellä. Nämä vulkaaniset kivilajit jatkuvat Koivun karttalehden länsiosaan Pisavaaran–Louevaaran kvartsiittivaarojen länsipuolelle (2633 02–03). Joutiaavan vulkaniitteja on myös Vammavaaran eteläpuolen synkliinissä (2633 07), ja sieltä itään Inginkivalon karttalehdellä (3611).

Joutiaavan muodostuman kontaktivyöhyke alapuoliseen Palokivalon muodostuman kvartsiittiin on paljastumatonta. Vulkaniittien päälle on kerrostunut puolestaan Kvartsimaan muodostuman ortokvartsiittia tai ohut, karbonaattipitoinen konglomeraatti, jonka tarkka stratigrafinen korrelointi on epävarmaa.

Joutiaavan muodostuma koostuu pelkästään mantelirakenteisista laavoista; selviä tyynylaavarakenteita ei ole havaittu. Pällekkäisiä laavapatjoja on esimerkiksi Jyrönsan alueella (2631 08) noin parikymmentä, mutta tarkkaa lukumäärää on paljastumien niukkuuden vuoksi vaikea arvioida. Laavapatjojen vahvuus vaihtelee puolesta metristä kymmeneen metriin. Patjat ovat suoraan toistensa päällä, eikä patjojen välisiä sedimentti- tai tuhkakerroksia ole alueelta havaittu. Raekoko on patjan pintaosissa pieni ja kasvaa sisäosiin päin. Laavojen mineraalit ovat tyypilliset emäksisille, metamorfoituneille vihreäliuskefasieksen kiville: albiitti, amfiboli, epidootti ja kloriitti. Mineralogisena erikoisuutena ovat Jyrönsan alueella havaitut 10 cm paksumat, leikkaavat, karkearakeiset, punertavat juonet, jotka koostuvat yksinomaan booria sisältävästä silikaatista, aksiniitista (kuva 17).

Joutiaavan muodostuman laavapatjojen asento on useasti voitu määrittää manteleiden muodon ja sijoittumisen perusteella. Patjan alakontaktin lähellä on 10–30 cm vahva osa, jossa mantelit ovat pystyjä, putkimaisia ja usein yläosastaan yhtyviä. Putkimantelit ovat usein taipuneet laavan hitaasti virratessa kiteytymisen aikana. Patjojen sisäosat ovat mantelittomia, ja kiven raekoko on selvästi suurempi, jopa 10 mm. Patjan pintaosassa on taas manteleita, ja niiden määrä kasvaa ylöspäin. Yläosan manteleiden pohja on tasainen ja alkuperäisen kerroksellisuuden suunnassa yläosan pullistellessa kaarimaisesti ylöspäin (kuva 18). Manteleiden mineraalit ovat samat kuin muuallakin Peräpohjan liuskealueella: kvartsi, kalsiitti, kloriitti ja epidootti. Etelämpänä Runkauksen (2544) lehdellä havaittuja zeoliitteja – analsiimia ja laumontiittia (Perttunen 1991) – ei Törmäsjärven eikä Koivunkaan lehden laavojen manteleissa ole tähän mennessä tavattu. Joutiaavan muodostuman mantelien sisällä on usein kupari-kiisurae ja harvemmin kuparihohdetta.



Kuva 17. Karkeaa aksiniittia juonena Jouttiaavan muodostuman vulkaniitissa.
Fig. 17. Coarse-grained axinite vein in a lava flow of the Jouttiaapa Formation.
Kolikko – Coin – 18 mm.
Jyrövinä, Tervola. 2631 08C. x = 7352,730; y = 2529,760.



Kuva 18. Mantelirakennetta laavapatjan yläosassa. Jouttiaavan muodostuma.
Fig. 18. Amygdaloidal texture in a lava flow, Jouttiaapa Formation.
Kolikko – Coin diameter – 18 mm.
Syväkuru, Tervola. 2633 07C. x = 7344,410; y = 2567,080.

Kvartsimaan muodostuma

Tyypillinen Kvartsimaan muodostuman kivilaji on puhdas, väriltään valkea tai lievästi punertava ortokvartsiitti. Rakenne on useasti granoblastinen, jolloin alkuperäisiä kvartsirakeita ei voi erottaa kvartsi-iskoksesta (kuva 19), mutta paikoin on havaittavissa klastista rakennetta (kuva 20). Kerrokset näkyvät ortokvartsiiteissa harvoin, mutta epäpuhtaammissa, karbonaattia tai kiillettä sisältävissä välikerroksissa erottuvat paikoin sekä aallonmerkit että ristikerrokset. Rakenne on tällöin kauniin klastinen. Mikroskoopissa erottuvat selvinä hyvin pyöristyneet kvartsi- ja kalimaasälpäraakeet pienirakeisemmassa kvartsista tai serisiitistä ja karbonaatista muodostuneessa massassa. Hivenmineraaleina on kaikissa tyypeissä pieniä, pyöristyneitä zirkoni- ja turmaliinirakeita. Kvartsimaan muodostuman kvartsiitit ovat paikoin sinertäviä tai selvästi harmaita. Silloin näkyy ohuthieissä kvartsirakeiden ympärillä hienojakoista, tummaa, opaakkia ainesta.

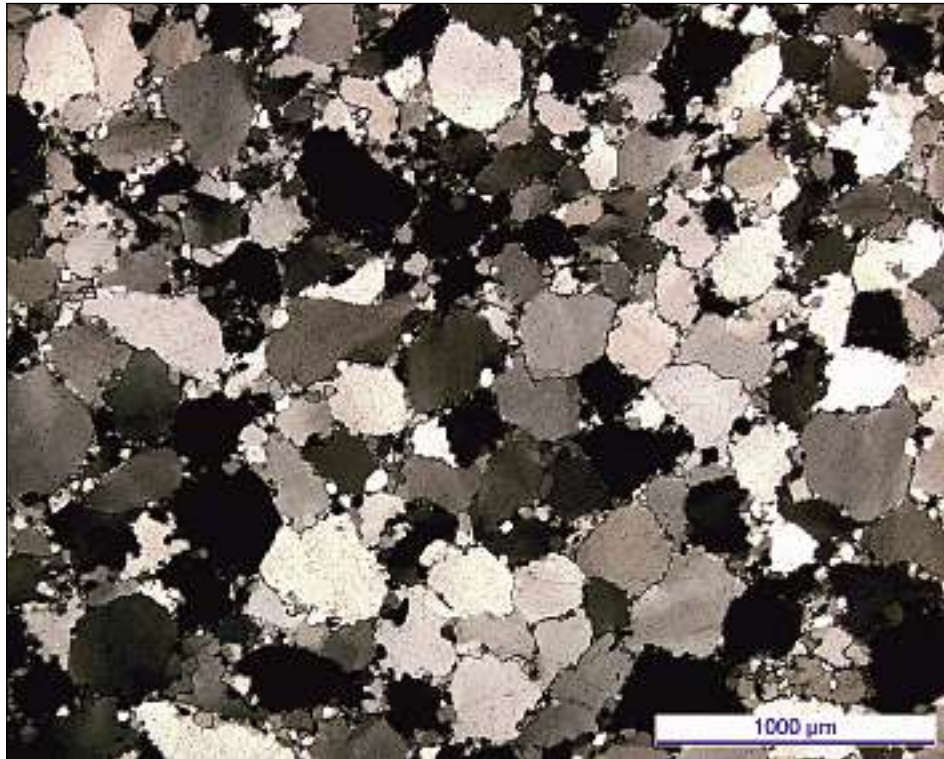
Kvartsimaan muodostuman kivilajien alapuolella ovat Jouttiaavan muodostuman mantelikivilaavat ja päällä on useimmiten Tikanmaan muodostuman tuffiitti. Jouttiaavan muodostumaa vasten on esimerkiksi Aittavaaran pohjoispuolella (2631 07B)



Kuva 19. Granoblastista rakennetta Kvartsimaan muodostuman ortokvartsiitissa. Ristinikolit.

Fig. 19. Granoblastic texture in orthoquartzite, Kvartsima Formation. Photomicrograph, crossed nicols.

Sivakkajärvi, Tervola. 2631 11A. x = 7354,490; y = 2533,340.



Kuva 20. Klastista rakennetta Kvartsimaan muodostuman ortokvartsitissa. Rakeet ja iskos kvartsia. Ristinikolit.

Fig. 20. Clastic texture in orthoquartzite, Kvartsimaa Formation. The clasts and cement consist of quartz. Photomicrograph, crossed nicols.

Pukinselkä, Tervola. 2633 04B. x = 7348,870; y = 2551,320.

ja Isojätkässä (2631 01A) havaittu ohut, konglomeraattia sisältävä jäsen, jossa on pyöristyneinä palloina dolomiittia ja ortokvartsia arkoosisessa välimassassa. Tällaista konglomeraattia on myös paljastuneena karttalehden lounaisosassa Korkearovassa (2631 01C). Sillä kohdalla ei ole tavattu kvartsiittipaljastumia, mutta konglomeraattihavainnon perusteella magneettisella kartalla erottuva epämagneettinen alue on esitetty kartalla Kvartsimaan muodostuman kvartsiittina.

Kaisavaaran eteläpuolinen synkliini jatkuu selvänä itään Koivun lehden puolelle, missä Kvartsimaan muodostuman puhtaita kvartsiitteja on tavoitettu Ossauskosken rakentamisen yhteydessä suoritetuissa kairauksissa. Kaikki karttalehden alueella sijainneet Kemijoen rantapaljastumat ovat peittyneet. Vain jokunen vanha, epätarkka havainto esimerkiksi Kemijoen yli kulkenen Koivun lossirannan kohdalla sekä mainitut kairaushavainnot vahvistavat tämän magneettisella kartalla ”tyhjän” alueen kallioperän olevan juuri Kvartsimaan muodostuman kvartsiittia. Synkliini jatkuu edelleen itään, ja Kvartsimaan muodostumaan kuuluvan kvartsiitin alue alkaa uudestaan Vammavaaran eteläpuolella Myllykönkäänseudulla (2633 07A).

Tikanmaan muodostuma

Törmäsjärven karttalehdellä on Peräpohjan liuskealueen eteläosalle tyypillisiä tummanvihreitä, Tikanmaan muodostumaan kuuluvia tuffiittisia kivilajeja laajalti Kaisavaaran eteläpuolelta itään jatkuvassa synkliinissä. Luppovaaran pohjoispuolella (2631 11) pistää idästä Törmäsjärven lehden puolelle kapea, pari kilometriä pitkä kais-tale Tikanmaan muodostumaan luettua tuffiittia, mutta lännempää ne puuttuvat. Koivun karttalehdellä tuffiittia on edellä mainitun synkliinin jatkeella. Vammavaaran eteläpuolella (2633 07) on Kvartsimaan muodostuman keskellä pieni, erillinen emäksisistä tuffiitista koostuva synkliini, joka erottuu hyvin magneettisella harmaasävykartalla ympäröivästä ortokvartsitista.

Tuffiittien raekoko on pieni, ja kerrallisuutta on havaittavissa miltei jokaisessa paljastumaryhmässä. Kertojen vahvuudet ovat tavallisimmin millimetreistä pariinkym-meneen senttimetriin (kuva 21). Kerrallisuuden lisäksi on havaittu pienimittakaavais-ta ristikerroksisuutta, joka on ilmeisesti syntynyt aaltotoiminnasta. Paikoin on myös vahvempia tuhkakerroksia, jotka ovat homogeenisia, eikä niissä erota sisäistä kerros-rakennetta.

Tuffiittien magneettinen susceptiivisuus on enimmäkseen suhteellisen korkea, yli 100 000 μSI . Sen vuoksi Tikanmaan muodostuma erottuu yleensä selvänä, yhtenäise-nä, positiivisena anomaliana aeromagneettisella kartalla.



Kuva 21. Ohutkerroksista Tikanmaan muodostuman tuffiittia.
Fig. 21. Laminated mafic tuffite of the Tikanmaa Formation.
Kolikko – Coin diameter – 16 mm.
Tervola, Koivu. 2633 04. x = 7342,455; y = 2553,160.

Poikkimaan muodostuma

Poikkimaan muodostuma erottuu epämagneettisena alueena kahden magneettisen anomalian välissä. Törmäsjärven lehden eteläosassa tämä muodostuma ei ole lainkaan paljastunut, vaan se on piirretty pelkästään aeromagneettisen kartan perusteella.

Koivun karttalehden alueella on jonkin verran paljastumia Vähäjoen seudulla, missä kivilaji on harmaata tai kellertävää dolomiittia, jossa on ohuita kvartsijuonia. Paikoin siinä on harmaata fylliittia välikerroksina. Näissä kohdissa on karbonaattipitoiseen fylliittiin syntynyt myös tummaa, säteittäisinä kidekimppuina esiintyvää amfibolia.

Törmäsjärven karttalehden keskiosassa Varejärven seudulla (2631 08A) oleva dolomiittikaistale on luettu Poikkimaan muodostumaan. Tuffiittien puuttuessa sen korrelointi Rantamaan muodostumaan on yhtä mahdollinen. Samaten voi lehden itäreunassa (2631 11C) oleva pieni dolomiittisyngkliini kuulua Rantamaan dolomiitteihin. Se ei ole paljastunut, mutta alueen poikki virtaavan Vaajoen koskipaikoissa on dolomiittilohkareita. Varejärven lounaispuolisen konglomeraatin pallot ovat pyöristyneitä kvartsia ja dolomiittia. Konglomeraatti muistuttaa Kvartsimaan muodostuman konglomeraatteja, joten tämän Poikkimaan muodostumana erotetun kaistaleen korrelointi Kvartsimaan muodostumaan on myös mahdollinen.

Hirsimaan muodostuma

Hirsimaan muodostuma erottuu yhtenäisenä positiivisena magneettisena anomaliana Kaisavaaran eteläpuolisessa syngkliinissä Törmäsjärven karttalehdellä ja siitä edelleen itäänpäin. Anomalian perusteella muodostuman vahvuus on 100–400 m. Paljastumia on niukasti, parhaiten Koivun lehden keskiosassa Hirsikankaan alueella. Tietoa on saatu myös magneettiseen anomaliaan kairatuista rei'istä. Hirsimaan muodostuma koostuu vihreästä, kerrallisesta, emäksisestä tuffiittisesta kivilajista.

Rantamaan muodostuma

Edellä mainitussa Kaisavaaran eteläpuolisessa syngkliinissä on dolomiittia, joka petrografisesti on samanlaista kuin eteläpuolen karttalehtien Rantamaan muodostumassa. Paljastumia on Törmäsjärven lehden puolella vain muutama, mutta dolomiitin esiintyminen kallioperässä voidaan osoittaa paikallisten lohcareiden ja lohcareikkojen perusteella. Dolomiittivyöhyke laajenee itään Koivun karttalehden puolelle, ja siellä paljastumiakin on runsaammin. Dolomiittia ja siinä välikerroksina olevaa puhdasta kvartsiittia on näkyvissä esimerkiksi Louepalon louhimon ympäristössä (2633 01B) sekä Peuranpalon metsäautotien varren paljastumissa (2633 04A).

Rantamaan muodostuman dolomiitti on kellertävää tai harmaata, pienirakeista. Siinä on ohuita, 1–2 mm vahvoja, kvartsia sisältäviä kerroksia, jotka erottuvat rapautumispinnalla selvinä, kohollaan olevina raitoina. Rapautumispinnoilla erottuvat myös Peräpohjan liuskealueen erikoisuudet, stromatoliitit. Ne näkyvät kerrospinnoilla pyöreinä muodostumina, joiden läpimitta on yleisimmin 1–20 cm (kuva 22). Poikkileikkauksessa ne ovat kaaria tai pylväitä. Stromatoliitit ovat syntyneet sinivihreiden levien sitoessa ja kerrostaessa liikkuvaa sedimenttiainesta matalan meren pohjalla (esim. Hoffmann & Davidson 1998).



Kuva 22. Stromatoliittirakennetta Rantamaan muodostuman dolomiitissa.

Fig. 22. Stromatolite structures in dolomite, Rantamaa Formation.

Laatta – Tag – 12 cm.

Peuranpalo, Tervola. 2633 04B. x = 7345,070; y = 2551,030.



Kuva 23. Virtakerroksia Rantamaan muodostuman kvartsiittivälikerroksessa.
Fig. 23. Herring-bone cross-bedding in a quartzite intercalation of the Rantamaa Formation.
Laatta – Tag – 12 cm.
Peuranpalo, Tervola. 2633 04B. x = 7345,300; y = 2551,065.

Dolomiiteissa on välikerroksina 0,5–5 m vahvasti klastista, dolomiittipitoista kvartsiittia ja myös aivan puhdasta, valkeaa ortokvartsiittia. Niissä on monin paikoin selviä ristikerroksia (kuva 23). Dolomiiteissa on myös konglomeraattisia välikerroksia, joissa on kulkikkaita tai pyöristyneitä, puhtaita, punertavia ja pienirakeisia dolomiittikappaleita kvartsiitissa.

Lamulehdon muodostuma

Törmäsjärven lehden kaakkoisosan synkliinissä on selvä, jatkuva, positiivinen, magneettinen anomalia, jonka vahvuus on noin 100 m. Se ei missään ole paljastuneena, eikä lohkaristokaan ole antanut viitettä sen aiheuttajasta. Kairauksissa anomalian kohdalta löytyi selvästi kerroksellinen, vihreä, emäksinen tuffiitti, joka on nimetty Lamulehdon muodostumaksi. Tuffiitti on hyvin pienirakeista, ja sen päämineraalit ovat amfiboli, plagioklaasi, kloriitti ja kvartsi. Ulkonäöltään alueen tuffiittimuodostumat muistuttavat toisiaan, mutta ne erottuvat kuitenkin toisistaan geokemiallisten piirteittensä perusteella (ks. luku Geokemia).

Paakkolan ryhmän kivilajit

Martimon muodostuma

Törmäsjärven karttalehden lounais- ja keskiosassa sekä Koivun karttalehden luoteisosassa on laajalti kiilleliuskeita ja mustaliuskeita, jotka kuuluvat Martimon muodostumaan. Sen alapuolella tavataan Kvartsimaan muodostuman ortokvartsiitteja tai ohut kerros karbonaattia sisältäviä kivilajeja, joiden tarkka stratigrafinen luokittelu on vaikeaa. Karttalehden itäreunassa ja varsinkin siitä itäänpäin Koivun lehden luoteisosassa tavataan kiilleliuskeiden alla myös Tikanmaan muodostuman tuffiittia, joka lännempää puuttuu. Koivun karttalehdellä Martimon muodostuman alapuolella ovat Rantamaan muodostuman dolomiitit. Martimon muodostuman päälle tulee Törmäsjärven lehden alueella vulkaaninen Väystäjän muodostuma, jota ei Koivun lehden alueella tavata.

Martimon muodostuman kiilleliuskeille on tyypillistä turbidiittisten kerrossarjojen esiintyminen. Niiden vahvuus on usein puoli metriä, paikoin metrikin. Vahvemmissa kerroksissa erottuu selvänä kerrallinen, karkeampi pohjaosa. Niissä on usein selviä, 5–20 cm:n kokoisia soikeita konkreetioita (kuva 24). Turbidiittisen kerroksen ylimmät osat ovat hyvin hienojakoisia ja tummia. Niissä on usein myös hieman kii-



Kuva 24. Konkreetioita Martimon muodostuman karkeassa grauvalakerroksessa.
Fig. 24. Concretions in a coarse-grained greywacke bed of the Martimo Formation.
Laatta – Tag – 6 cm.
Kaskimaa, Ylitornio. 2631 05C, x = 7351,199; y = 2516,672.

suja. Martimon muodostuman kivilajit ovat parhaiten paljastuneet Törmäsjärven lehden lounaisosassa Haapakummun–Karhakkamaan alueella (2631 01A) sekä karttalehden keskiosassa Kaskimaanseudulla (2631 05C).

Metamorfoosin vaikutuksesta kiilleliuskeissa on laajoilla alueilla porfyroblasteina kordieriittia ja joissakin kohdissa myös andalusiittia. Kordieriitti on pyöreähköinä, kvartsi- ja kiillesulkeumia täynnä olevina kiteinä, joiden läpimitta on enimmäkseen 1–3 cm. Omamuotoista, rapautumispinnalla sinertävää andalusiittia on tavattu muutamassa paljastumassa. Biotiittia on laajoilla alueilla Törmäsjärven karttalehden itäosassa ja Koivun lehdellä selvinä porfyroblasteina, joiden koko on 0,3–2 mm (kuva 25), tai pienistä suomuista koostuvina 1–2 mm:n kokoisina, tummina läiskinä.

Kiilleliuskeissa on ohuina välikerroksina hiili- ja kiisupitoisia sedimenttejä. Koivun karttalehden länsiosassa (2633 02) ja keskellä (2633 04) on selvät, yhtenäiset elektromagneettiset anomaliat. Näillä kohdilla paljastumia on niukasti, parhaimmillaankin metsänuudistuksen yhteydessä auratuissa vaoissa tavattua rapakalliota. Kai-rauksissa on todettu hiiltä ja usein myös kiisuja sisältäviä liuskeita, joiden kemiallisia analyysejä on taulukoissa 11–14.



Kuva 25. Biotiittia porfyroblasteina Martimon muodostuman kiilleliuskeessa. Ristinikolit.
Fig. 25. Biotite porphyroblasts in the mica-schist of the Martimo Formation. Photomicrograph, crossed nicols.
Pohjasenoja, Ylitornio. 2631 12D. x = 7367,31; y = 2539,75.



Kuva 26. Väystäjän muodostuman tyynylaavaa.

Fig 26. Pillow lava in the Väystäjä Formation.

Laatta – Tag – 12 cm.

Pietinvaara, Ylitornio. 2613 11C. x = 7353,590; y = 2498,410.

Väystäjän muodostuma

Törmäsjärven karttalehden keskivaiheilla (2631 02 ja 05) on itä-läntinen vyöhyke, joka koostuu emäksistä vulkaniiteista ja pienistä mustaliuske- ja dolomiittiosueista. Tämä yksikkö on erotettu Väystäjän muodostumaksi. Vaikka deformaatio on useinkin melkoisen vahvaa, on näissä vulkaniiteista havaittavissa selviä primäärirakenteita. Kun Peräpohjan liuskealueen muiden muodostumien laavasynntyiset kivilajit ovat poikkeuksetta mantelikiviä, ovat tämän vyöhykkeen vulkaniitit usein tyynylaavoja. Tyynylaavarakennetta on varsinaisen Väystäjän alueen lisäksi runsaasti länsipuolisella Ylitornion lehdellä Palovaaran–Pietinvaaran (2613 11) seudulla (kuva 26). Selvä mantelirakenne on Väystäjän muodostuman vulkaniiteissa harvinaista.

Väystäjän muodostuman stratigrafinen asema ei ole täysin kiistaton. Muodostuman pohjoiskontakti on heikosti paljastunut ja ilmeisesti tektoninen. Kontaktivyöhykkeen pohjoispuolella on vahvasti deformatuneita myloniitteja ja gneissejä sekä graniittisia, silmägneissimäisiä syväkiviä. Eteläpuolella on Martimon muodostuman kivilajeja, mutta tästäkään kontaktivyöhykkeestä ei ole löytynyt ratkaisevia paljastumia. Väystäjän muodostuma on ilmeisesti Martimon muodostuman päällä, mutta voi sijaita myös turbidiittisten grauvakkojen sisällä, kuten Pohjois-Pohjanmaan liuskealueella on laita (Honkamo 1989). Vulkaniitit erottuvat positiivisina magneettisina anomaliaina grauvakkavyöhykkeestä, mutta elektromagneettiset anomaliat ovat samantapaisia sekä Martimon että Väystäjän muodostumien mustaliuskeiden alueella.

Väystäjän muodostuman emäksisten vulkaniittien joukossa on noin 200 m leveä ja yli 5 km pitkä, itä-läntinen vyöhyke felsistä, porfyyristä kivilajia. Sen eteläkontakti ei ole paljastunut mutta lieenee tektoninen. Pohjoisreunalla porfyryri vaihettuu hier-tyneeksi konglomeraatiksi, jonka pyöristyneet pallot ovat porfyyrin lisäksi kvartsiittiä ja silttiä. Konglomeraatissa on arkoosivälikerroksia. Porfyyrissä on 2–5 mm:n kokoisia vaaleita hajarakeita, jotka koostuvat alkalimaasälvästä. Tämä porfyryri on ilmeisesti hapanta vulkaniittia. Vastaavaa kivilajia ole tähän mennessä ole tavattu muualta Peräpohjan liuskealueelta. Pari kilometriä pohjoiseen on tosin tätä monessa suhteessa muistuttava kvartsi-maasälpäliuskeena kuvattu kivilajivyöhyke, joka on kuitenkin tässä vaiheessa liitetty Keski-Lapin granitoidikompleksiin.

Väystäjän vulkaniittien joukossa on myös epäpuhdasta dolomiittia välikerroksina ja hieman laajempinakin alueina. Nämä dolomiitit eroavat selvästi hiili-isotooppiensa perusteella Kivalon ryhmään luetuista dolomiiteista. Viiden analysoidun näytteen $\delta^{13}\text{C}$ vaihtelee arvojen $-1,6$ ja $+0,3$ välillä (J. Karhu, henkilökohtainen tiedonanto 1998), ja tämä tukee Väystäjän dolomiittien nuorempaa ikää Kivalon ryhmän dolomiitteihin verrattuna, sillä jälkimmäisten $\delta^{13}\text{C}$ on poikkeuksetta selvästi positiivinen (Karhu 1993).

Intrusiivikivilajit

Diabaasit

Peräpohjan liuskealueen pintasyntyisissä kivilajeissa on emäksisiä juonikiviä, jotka eroavat petrografialtaan ja ilmeisesti myös iältään toisistaan. Pääosa juonista kuuluu differentioituneisiin, karkearakeisiin gabro-wehrliittisarjan kerrosjuoniin, joiden isäntäkivenä on säännöllisesti Palokivalon muodostuman kvartsiitti. Niiden lisäksi on keski- tai pienirakeisia diabaaseja, joissa differentioituminen ei ole ilmeinen piirre. Ne esiintyvät leikkaavina juonina samaisissa kvartsiiteissa. Diabaasijuonten susceptiivisuus on suuri, joten ne erottuvat selvästi kvartsiittiympäristöstä. Joissakin tapauksissa diabaaseja on kvartsiittialueilla rajattu yksinomaan geofysikaalisten karttojen perusteella.

Diabaasijuonten alkuperäiset mineraalit ovat metamorfoosissa muuttuneet. Plagioklaasi on albiittia, ja pyrokseeni on muuttunut amfiboliksi. Näiden lisäksi on epidootia, kloriittia, magnetiittia ja joskus myös kvartsia. Alkuperäinen poikiliittinen tai hypidiomorfinen rakenne on usein aavistettavissa (kuva 27). Tummissa muunnoksissa on serpentiiniä, talkkia, kloriittia ja amfibolia, jotka ovat oliviinin ja pyrokseenin muuttumistuloksia.

Kvartsimaan ja Tikanmaan muodostumissa emäksiset juonet ovat keski- tai karkearakeisia ja sisältävät runsaammin tummia mineraaleja kuin kvartsiittien juonet. Nämä juonet ovat vahvimmillaankin vain parikymmenmetrisiä.

Happamat juonet

Törmäsjärven karttalehden lounaisosassa (2631 01) ja sen länsipuolella Ylitornion lehdellä on Martimon muodostuman fylliiteissä ja grauvaloissa pienirakeisia, harmaita juonia, joiden vahvuus on 1–3 m. Juonet ovat pystyasentoisia, niiden kulku on

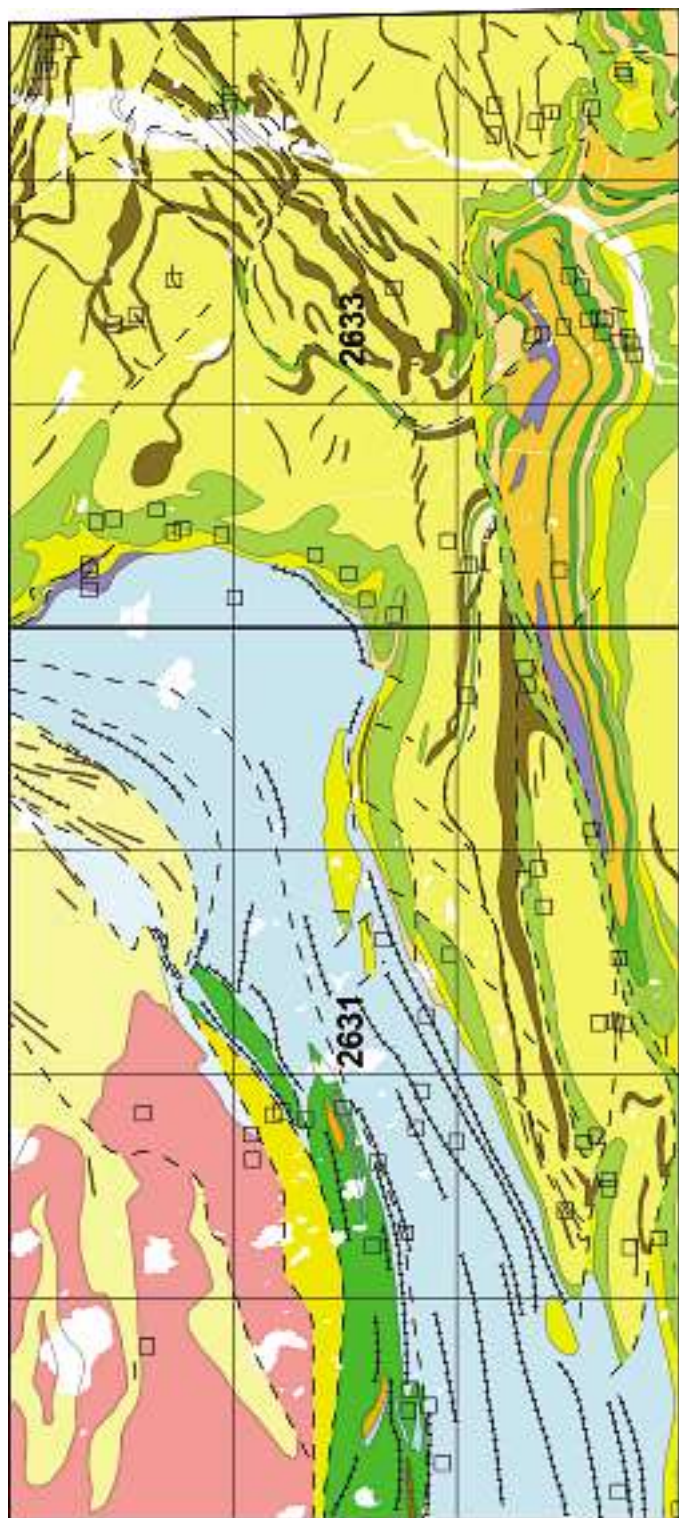


Kuva 27. Karkearakeista diabaasia. Mineraalit albiitti, amfiboli, epidootti ja magnetiitti. Ristinikolit.
Fig. 27. Photomicrograph of coarse-grained diabase. Minerals are albite, amphibole, epidote, and magnetite. Crossed nicols.
Itäinen Pesämaa, Ylitornio. 2631 04D. x = 7346,150; y = 2516,500.

lähellä itä-läntistä ja kontaktit ovat terävät. Joissakin paljastumissa on havaittu useampikin samansuuntainen juoni. Ne on kartalla esitetty happaman juonen symboleilla.

GEOKEMIA

Kartoitusnäytteiden pääkomponentteja ja joitakin hivenalkuaineita on analysoitu XRF-menetelmällä Rautaruukki Oy:n sekä GTK:n laboratorioissa. Hivenalkuaineita on analysoitu VTT:ssä sekä GTK:ssa INAA- ja ICP-MS-menetelmillä. Analyysien paikkoja on esitetty kuvassa 28 ja esimerkkejä analyysituloksista taulukoissa 2–15. Pääosa näytteistä on vulkaniiteista ja juonista; sedimenttikivistä on vain jokunen analyysi. Peräpohjan liuskealueen vulkaniittien geokemiaa on aiemmin käsitelty GTK:n vulkaniittiprojektin raportissa (Perttunen 1989). Tämän selityksen diagrammeissa on mukana myös jokunen GTK:n litogeokemian projektin analyysi.



Kuva 28. Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien kemiallisia analysipisteitä. Vesistöelementti © Maanmittauslaitos lupanro 584/MYY/03.
 Fig. 28. Locations of chemical analyses in the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas.

Mafiset vulkaniitit

Karttalehtien **Runkauksen muodostumaan** kuuluvista vulkaniiteista on muutama analyysi (taulukko 2). Kemiallisesti vulkaniitit ovat tholeiittisia basaltteja. Kuvassa 29 on Jensenin kationidiagrammeja, joissa on vertailtu keskenään Peräpohjan liuskealueen mafisia vulkaniittimuodostumia. Diagrammeissa esitetty analyysiaineisto on koottu paitsi tähän työhön liittyviltä karttalehdiltä myös aikaisemmin kartoiteltuilta karttalehdiltä (Perttunen 1991). Runkauksen ja Jouttiaavan muodostumien pääalkuaineiden pisteet menevät osaksi päällekkäin, mutta osa Runkauksen analyysipisteistä muodostaa kuitenkin oman ryppäänsä Jouttiaavan muodostuman ulkopuolella. Runkauksen laavat ovat rikastuneet keveistä lantanideista raskaisiin verrattuna (La_N/Sm_N 1,5–4,0; alaviite N tarkoittaa normalisointia kondriittien pitoisuuksiin verrattuna), ja tämä erottaa ne selvästi Jouttiaavan laavoista. Aikaisemman, Runkauksen karttalehdeltä saadun kairaus- ja paljastumatiedon perusteella Runkauksen muodostuma jakaantuu stratigrafisesti kahteen osaan, joista ylempi on rikastunut tarttumattomista (incompatible) hivenalkuaineista alempaan verrattuna. Tämä näkyy esimerkiksi TiO_2 :n ja Th:n kahtena pitoisuustasona kuvissa 30 ja 31. Toriumin runsaus on yksi Runkauksen muodostuman tunnusomaisista piirteistä. Se yhdessä korkeiden LREE-pitoisuuksien ja matalien Ta/Th-suhteiden kanssa osoittaa selvää sialisen kuoren aiheuttamaa kontaminaatiota. Tämä on sopusoinnussa muodostuman kivistä saatujen isotooppitusten kanssa (Huhma ym. 1990).

Jouttiaavan muodostuman vulkaniiteissa on selvät kemialliset ominaispiirteet. Ne ovat yleensä tholeiittisia basaltteja, harvoin basalttisia andesiitteja. Kemiallisen analyysin on esitetty taulukossa 3. Koostumuspisteet jakautuvat Jensenin kationidiagrammilla sekä Mg- että Fe-tholeiittien kenttiin (kuva 29). Tarttumattomien hivenalkuaineiden pitoisuudet vaihtelevat suhteellisesti enemmän, vaikkakin niiden taso on kaiken aikaa alhainen (kuvat 30 ja 31). Kuten kuva 30 osoittaa, voidaan Jouttiaavan laavat jakaa titaanin perusteella karkeasti kahteen ryhmään, joiden TiO_2 -pitoisuudet ovat n. 0,6 % ja yli 1,0 %. Osalla alhaisen titaanin laavoilla on suuri Cr-pitoisuus, joka ylittää jopa 500 ppm:ään.

Jouttiaavan muodostuman päällekkäisten laavapatjojen koostumuksissa on mielenkiintoisia eroja. Jyrövinsan alueella (2631 08C) on hyvin paljastuneen vyöhykkeen poikki otettu 43 näytettä noin 600 m:n matkalta (taulukko 4). Suurin osa Jyrövinsan kivistä on titaaniköyhä: niiden TiO_2 on n. 0,5 % (kuva 32). Leikkauksen alaosassa on laavapatja, jossa TiO_2 on n. 1,5 %, ja mentäessä keskiosasta ylöspäin TiO_2 kasvaa lähelle 1,0 %:a. Samanlainen vaihtelu on myös muiden hivenalkuaineiden (esim. Zr, P, REE) käyttäytymisessä.

Jouttiaavan muodostuma on aikaisemmin lävistetty kahdella kairanreiällä lähes kokonaan Runkauksen karttalehden alueella (2544 05) (Perttunen 1989). Nämä reiät osoittavat, että muodostuman sisällä on selviä kemiallisia eroja: alaosa on pääosin titaaniköyhää ja yläosa titaanirikkaampaa (kuva 32). Osa variaatiosta johtuu ilmeisesti mantelien määrän ja mineraalikoostumuksen vaihtelusta, mutta se ei kokonaisuudessaan paljasta muuta. Korrelaatio edellä mainittuun Jyrövinsan paljastumaleikkaukseen ei ole täydellinen, sillä Jyrövinsasta näyttävät ylimmät titaanirikkaimmat laavat puuttuvat ja Ti-köyhä sarja näyttää olevan Jyrövinsassa paksumpi. Suhteellisen Ti-rikkai-

Taulukko 2. Runkauksen muodostuman vulkaniittien kemiallisia analyysejä. XRF-analyysit GTK.
Table 2. Chemical compositions of the rocks of the Runkaus Formation. XRF analyses by GTK.

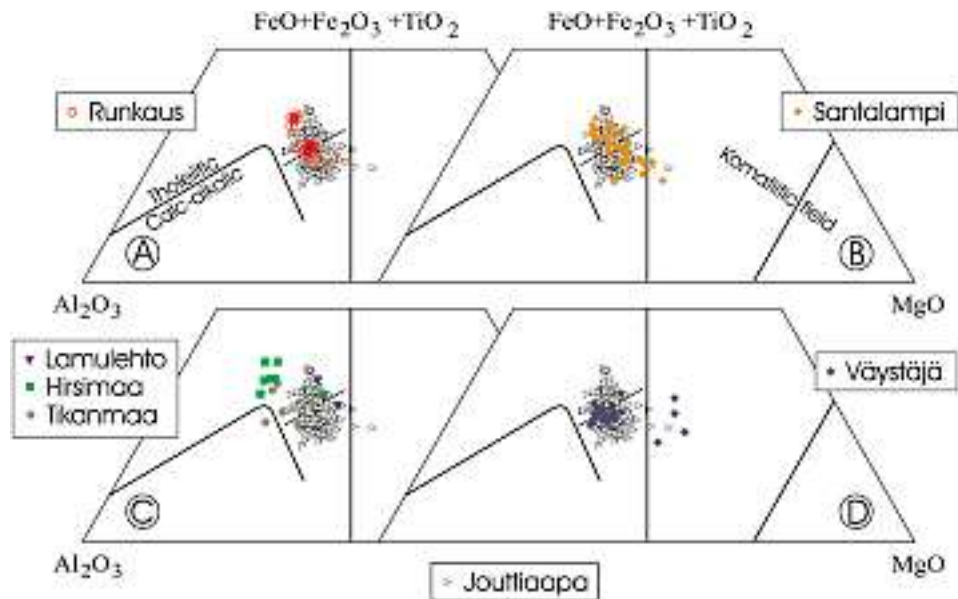
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂ %	48,5	50,2	56,0	49,9	46,4	47,9	45,5
TiO ₂	1,69	2,30	1,23	1,60	1,54	1,55	1,54
Al ₂ O ₃	14,7	13,0	13,3	13,6	13,7	14,7	14,0
Fe ₂ O ₃	13,9	12,7	11,7	14,8	11,5	13,8	11,9
MnO	0,11	0,24	0,13	0,21	0,16	0,26	0,22
MgO	10,9	9,04	5,80	5,62	8,74	8,27	8,63
CaO	3,05	6,82	5,68	7,25	6,30	4,72	6,32
Na ₂ O	2,85	3,74	5,67	1,99	3,16	3,63	3,76
K ₂ O	0,24	0,27	0,15	1,59	1,23	0,70	0,45
P ₂ O ₅	0,23	0,19	0,13	0,22	0,15	0,16	0,15
Summa - Sum	96,2	98,4	99,8	96,8	92,9	95,7	92,5
S ppm	560	60!	740	540	260	160	140
Cl	43	46	106	166	48	51	42
Sc	26!	40	41	22!	35	36	37
V	273	359	325	289	311	319	330
Cr	166	61	43	151	226	263	230
Ni	107	94	42	98	108	126	116
Cu	278	35	22	116	346	214	124
Zn	153	74	49	65	108	182	79
Ga	27	27	25	23	24	27	24
As	1!	2!	1!	0!	1!	1!	0!
Rb	6!	7!	3!	36	34	17	11
Sr	67	127	106	271	91	160	65
Y	31	39	28	35	29	29	31
Zr	202	144	114	184	115	122	113
Nb	8!	8!	0!	9!	5!	7!	4!
Mo	1!	0!	0!	2!	0!	0!	0!
Sn	0!	2!	3!	0!	4!	0!	5!
Sb	0!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
Ba	99	66	73	457	126	82	58
Pb	15!	13!	9!	13!	17!	16!	16!
Bi	4!	2!	6!	8!	9!	4!	3!
Th	3!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
U	0!	0!	0!	1!	0!	0!	0!

! - arvo alle määrittäysrajan, ! - value below detection limit.

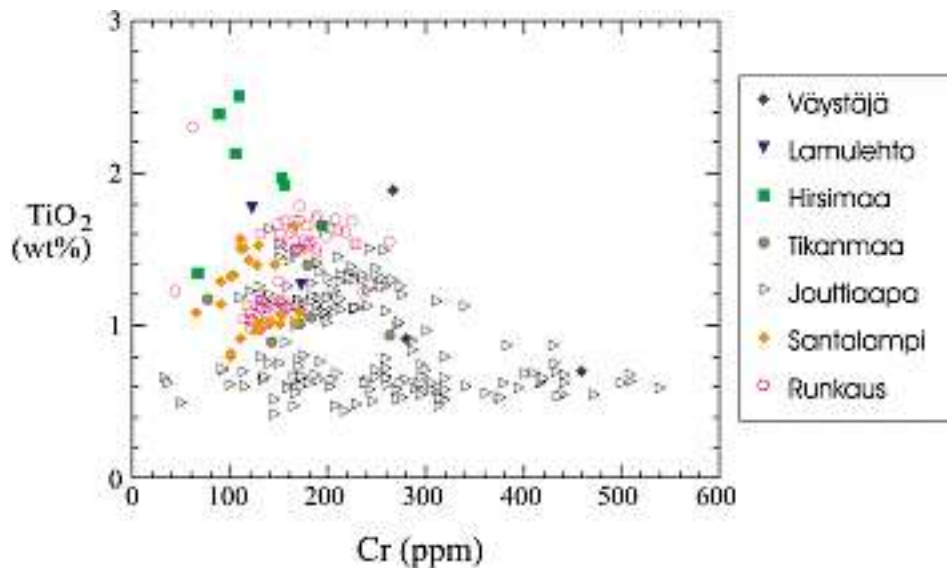
Näytteet ja niiden sijainti - Samples and their location:

- 1) 31.1-MOM-83, Ropsavaara, map sheet 2633 09A, x = 7360,670, y = 2563,050
- 2) 48.1-ROL-83, Sukulanrakka, map sheet 2633 09D, x = 7368,380, y = 2566,120
- 3) 74.1-ROL-83, Varesoja, map sheet 2633 09A, x = 7360,110, y = 2563,880
- 4) 75.1-ROL-83, Varesoja, map sheet 2633 09A, x = 7360,150, y = 2563,500
- 5) 33.2-MOP-79, Kätkävaara, map sheet 2633 01B, x = 7349,450, y = 2542,780
- 6) 33.3-MOP-79, Kätkävaara, map sheet 2633 01B, x = 7349,460, y = 2542,780
- 7) 33.4-MOP-79, Kätkävaara, map sheet 2633 01B, x = 7349,470, y = 2542,780

Suomen geologinen kartta, Kallioperäkarttojen selitykset 1 : 100 000, lehdet 2631 ja 2633
Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien kallioperä



Kuva 29. Peräpohjan liuskejakson mafisia vulkaniitteja Jensenin kationidiagrammilla (Jensen 1976). Analyysiaineisto karttalehdiltä 2544, 2631, 2633 ja 3611.
Fig. 29. Mafic volcanic rocks from the Peräpohja Schist Belt plotted on Jensen cation plots (Jensen 1976). Data from map sheets 2544, 2631, 2633, and 3611.



Kuva 30. Peräpohjan liuskealueen mafisten vulkaniittien TiO₂-Cr-diagrammi. Analyysiaineisto karttalehdiltä 2544, 2631, 2633 ja 3611.
Fig. 30. TiO₂ vs. Cr diagram for mafic volcanic rocks from the Peräpohja Schist Belt. Data from map sheets 2544, 2631, 2633, and 3611.

Taulukko 3. Jouttiaavan muodostuman vulkaniittien kemiallisia koostumuksia. XRF-analyysit Rautaruukki Oy (*) ja INAA-analyysit VTT.

Table 3. Chemical compositions of the volcanic rocks of the Jouttiaapa Formation. XRF analyses Rautaruukki Co (*), INAA analyses Technical Research Centre of Finland (VTT).

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ % *	51,1	51,3	50,4	47,3	49,4	46,4	46,5	46,1
TiO ₂	1,003	1,127	0,616	1,025	0,845	1,12	0,47	1,275
Al ₂ O ₃	11,8	12,3	13,2	13,8	14,4	14,0	15,4	12,9
Fe ₂ O _{3tot}	13,02	13,17	12,94	14,44	11,18	15,01	11,54	12,31
MnO	0,188	0,247	0,203	0,236	0,165	0,233	0,18	0,255
MgO	6,83	7,00	7,70	7,25	7,51	7,65	9,05	5,90
CaO	8,01	6,81	5,65	5,30	6,10	6,72	8,16	10,9
Na ₂ O	2,51	3,19	4,76	3,73	4,35	3,16	3,06	3,63
K ₂ O	0,047	0,05	0,082	0,095	0,215	0,101	0,123	0,161
P ₂ O ₅	0,091	0,098	0,052	0,089	0,066	0,091	0,038	0,109
C				0,18	0,17			0,73
Summa - Sum	95,2	95,5	95,8	93,6	94,6	94,7	94,8	94,4
Cu * ppm	140	150	440	80	120	370	50	180
S *	9660	100	330	100	80	530	590	120
Sr *	30	30	20	30	30	20	30	40
V *	300	300	270	320	270	320	240	300
Zr *	70	70	40	70	60	70	30	80
As	0,977	0,732	0,868	0,808	0,792	0,836	0,744	0,747
Sb	0,117	0,0584	0,0688	0,065	0,0621	0,0653	0,0607	0,0602
Zn	85,5	82,7	99,6	89,2	88,4	89,5	88,7	84
W	2,4	2,33	2,69	2,62	2,52	2,65	2,38	2,4
Mo	0,189	1,05	1,21	1,14	1,12	1,18	0,301	1,09
Au	0,00928	0,00844	0,0227	0,00503	0,00932	0,0063	0,00466	0,00463
La	2,78	3,21	1,62	3,13	2,09	2,65	0,524	2,27
Sm	2,17	2,37	1,05	2,34	1,72	2,52	0,843	2,54
Lu	0,476	0,397	0,374	0,351	0,383	0,366	0,311	0,321
Cr	167	208	99,7	199	287	189	314	184
Ni	76,8	68,6	78,6	105	110	114	210	76,2
Co	86,5	51,2	57,9	54,8	49,2	53,1	57	50,4
Sc	58	56	57,3	67,5	56,8	66,2	49	56,7
Ba	48,3	46,9	55,2	76,3	50,5	53,1	48,7	49,2
Cs	0,693	0,663	0,777	0,729	0,727	0,747	0,659	0,689
Rb	8,92	8,62	10,2	9,11	7,11	9,2	9,08	8,89
Ta	0,185	0,207	0,186	0,203	0,222	0,331	0,154	0,354
U	0,512	0,142	0,229	0,214	0,211	0,22	0,202	0,425
Th	0,377	0,319	0,28	0,26	0,255	0,324	0,247	0,252

Näyte, karttalehti, koordinaatit - Sample, map sheet, coordinates

- 1) 106.1-VP-64, 2631 07A, x = 7342,770, y = 2525,200
- 2) 20.1-JR-70, 2631 10A, x = 7344,020, y = 2530,930
- 3) 77.1-VP-72, 2631 10A x = 7346,920, y = 2538,150
- 4) 35.1-VAP-73, 2631 11A, x = 7353,860, y = 2532,550
- 5) 24.1-PHB-74, 2631 08A, x = 7350,360, y = 2525,380
- 6) 111.1-ROL-80, 2633 03A, x = 7360,500, y = 2544,110
- 7) 158.1-ROL-80, 2633 03A, x = 7362,240, y = 2544,400
- 8) 160.1-ROL-80, 633 03A, x = 7362,660, y = 2544,280

ta laavoja on kuitenkin todettu muodostumasta Koivun karttalehden puolelta. On siten mahdollista, että Jyrövinassa laavoilla on tektoninen kontakti yläpuolella oleviin Kvartsimaan muodostuman kvartsiitteihin nähden.

Taulukko 3. Jatkoa.
Table 3. Continued...

	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂ % *	49	50,2	50,9	48,7	49	49,9	48,9	51,2	49,9
TiO ₂	1,125	0,641	0,491	0,487	0,512	0,666	1,15	1,262	1,052
Al ₂ O ₃	13,3	13,7	14,3	14,2	14,7	13,7	12,1	14,3	12,6
Fe ₂ O ₃ tot	13,34	13,74	9,83	11,99	11,55	12,78	12,22	13,51	13,49
MnO	0,211	0,267	0,198	0,212	0,192	0,245	0,242	0,121	0,238
MgO	8,32	6,66	7,3	8,38	7,3	6,56	4,88	6,94	6,18
CaO	6,1	9,46	8,55	7,89	8,67	8,92	9,73	5,57	8,01
Na ₂ O	3,44	2,3	4,08	3,77	3,56	3,1	3,28	5,14	2,96
K ₂ O	0,089	0,119	0,222	0,18	0,154	0,127	0,112	0,121	0,076
P ₂ O ₅	0,089	0,052	0,045	0,036	0,041	0,055	0,096	0,103	0,112
C							0,81		
Summa - Sum	95,3	97,3	96,2	96	95,9	96,3	93,8	98,5	94,8
As ppm	0,77	0,735	0,739	0,771	0,674	0,748	0,687	0,833	0,715
Sb	0,0617	0,0578	0,0679	0,062	0,067	0,0605	0,0553	0,0671	0,0565
Zn	86,1	76,4	85,8	84,8	75,8	84	53,2	90	77,7
W	2,49	2,37	2,39	2,43	2,18	2,43	2,23	2,67	2,3
Mo	1,1	1,02	1,07	1,1	0,765	1,07	0,995	1,23	1,01
Au	0,0278	0,0046	0,0111	0,00478	0,00588	0,00487	0,0044	0,0441	0,00445
La	1,97	1,53	0,614	1,79	0,487	1,41	2,32	2,92	3,55
Sm	2,33	1,16	0,707	1,03	0,838	1,22	2,4	2,34	2,2
Lu	0,342	0,318	0,332	0,337	0,428	0,37	0,339	0,378	0,467
Cr	242	134	50,8	230	272	136	204	275	198
Ni	102	89,1	83,6	137	115	82,3	72	101	83,5
Co	54,5	52	47,4	20,8	50	52,8	40,2	37,6	50,2
Sc	59,8	61,9	53,3	54,5	52,9	55,7	51,8	59,9	59,5
Ba	49,1	46,1	82,7	49,7	43	48,8	44,9	53,7	45,3
Cs	0,694	0,666	0,674	0,691	0,617	0,682	0,623	0,741	0,642
Rb	8,93	8,26	8,77	8,7	7,77	8,29	7,75	9,67	7,96
Ta	0,306	0,141	0,154	0,149	0,134	0,144	0,275	0,185	0,255
U	0,207	0,191	0,2	0,206	0,18	0,203	0,193	0,228	0,188
Th	0,308	0,233	0,196	0,255	0,216	0,252	0,405	0,283	0,303
Cu *	440	70	130	40	50	220	210	250	140
S *	220	50	1680	140	80	310	750	610	130
Sr *	30	40	40	40	60	50	20	20	30
V *	300	320	270	270	250	320	290	320	330
Zr *	70	50	40	40	40	50	70	80	70

Näyte, karttalehti, koordinaatit - Sample, map sheet, coordinates

- 9) 124.1-HTS-80, 2633 03B, 7366,100, y = 2544,720
- 10) 131.1-HTS-80, 2633 03B x = 7365,310, y = 2544,870
- 11) 82.1-ROL-82, 2633 07A, x = 7340,030, y = 2562,350
- 12) 117.1-ROL-82, 2633 07A, x = 7343,940, y = 2563,030
- 13) 135.1-ROL-82, 263307C, x = 7344,400, y = 2567,080
- 14) 83.1-ROL-83, 2633 03C, x = 7363,410, y = 2545,280
- 15) 3.1-VAP-78, 2633 02A, x = 7354,830, y = 2542,400
- 16) 115.1-SKA-78, 2633 04A, x = 7346,300, y = 2559,680
- 17) 139.1-SKA-78, 2633 02B, x = 7356,330, y = 2543,220

Kuvassa 33 on esitetty lantanidianalyysijä Jyrövinan paljastumaleikkauksesta kolmelta eri stratigrafiselta tasolta. Samassa kuvassa on myös tyypilliset resenttien valtamerten keskilähteiden basalttien (N-MORB:n ja E-MORB:n) analyysit (Sun ja McDonough 1989). Kaikkein köyhtyneimmät Jouttiaavan laavat, joita on ainakin puolet leikkauksesta, ovat selvästi valtameren selänteiden basalttia köyhtyneempiä kaikista lantanideista, ja niiden La_N/Sm_N-suhdekin on pienempi kuin resenteillä N-MORB-tyypin laavoilla. Mustalla symbolilla on kuvassa 33 esitetty yksi analyysi Koivun karttalehden kaakkoiskulmasta Louhikosken seudulta (2633 07A). Se kuuluu voimak-

Taulukko 4. Jouttiaavan muodostuman vulkaniittien kemiallisia koostumuksia Jyrövinan (2631 08C) alueelta. XRF- ja ICP-MS-analyysit GTK.

Table 4. Chemical compositions of the volcanic rocks of the Jouttiaapa Formation from the Jyrövinan (2631 08C) area. XRF and ICP-MS analyses by GTK.

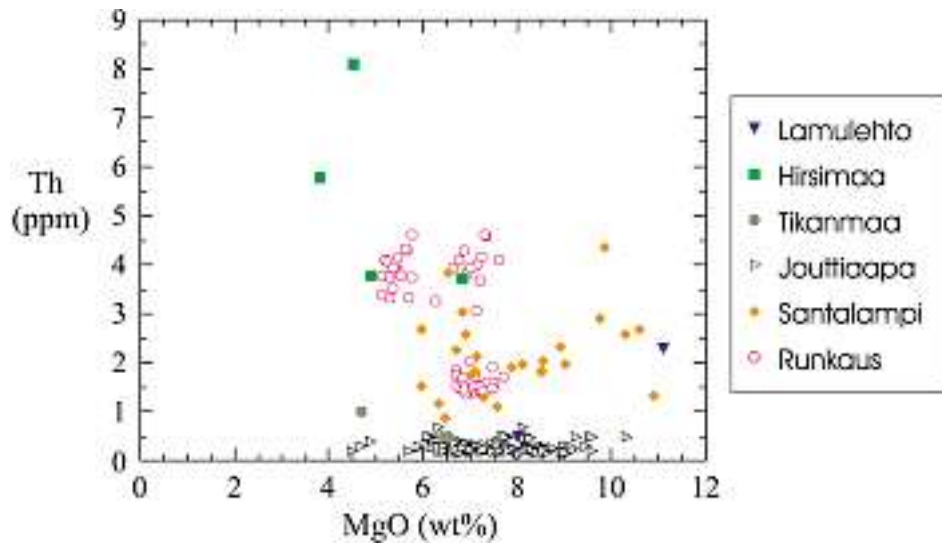
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂ %	48,92	49,75	48,89	45,99	54,13	51,57	48,58	48,76	48,65
TiO ₂	1,51	1,45	0,52	0,44	0,47	0,42	0,47	0,81	0,89
Al ₂ O ₃	14,41	13,61	14,39	15,52	12,53	11,69	15,22	14,47	14,70
Fe ₂ O ₃	12,45	12,58	12,10	12,52	9,86	12,00	11,94	12,32	12,18
MnO	0,18	0,19	0,20	0,16	0,14	0,16	0,15	0,19	0,19
MgO	6,15	6,11	7,80	10,32	7,69	9,59	9,24	8,25	7,74
CaO	7,78	6,11	7,06	5,52	6,36	7,08	6,86	7,61	7,16
Na ₂ O	3,73	3,79	3,4	3,11	3,85	3,04	3,09	2,95	3,22
K ₂ O	0,10	0,21	0,15	0,04	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00
P ₂ O ₅	0,17	0,14	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08
Summa - Sum	95,4	93,94	94,57	93,66	95,17	95,63	95,59	95,42	94,81
La ppm	4,49	4,84	0,66	0,37	0,32	0,38	0,37	1,52	1,75
Ce	12	13,3	1,49	0,9	0,88	0,95	1,18	4,54	4,66
Pr	1,9	2,09	0,26	0,16	0,16	0,16	0,21	0,82	0,82
Nd	10,4	10,4	1,54	1,04	0,97	1,2	1,46	4,11	4,21
Sm	3,22	3,43	0,84	0,56	0,64	0,62	0,8	1,66	1,55
Eu	1,31	1,18	0,4	0,27	0,26	0,23	0,4	0,65	0,59
Gd	4,53	4,07	1,98	1,27	1,18	1,19	1,76	2,45	2,44
Tb	0,75	0,68	0,36	0,28	0,28	0,25	0,32	0,42	0,43
Dy	4,65	4,49	2,46	1,93	1,86	1,83	2,28	2,87	2,74
Ho	0,93	0,87	0,58	0,46	0,42	0,45	0,5	0,64	0,58
Er	2,6	2,4	1,69	1,33	1,34	1,34	1,48	1,83	1,77
Tm	0,37	0,34	0,24	0,2	0,18	0,2	0,21	0,26	0,27
Yb	2,31	2,19	1,55	1,3	1,17	1,48	1,36	1,82	1,82
Lu	0,33	0,32	0,23	0,19	0,17	0,21	0,2	0,26	0,27

Näyte, koordinaatit - Sample, coordinates

- 1), 1-VAP-80, x = 7352,570, y = 2529,850
- 2) 2-VAP-80, y = 7352,581, y = 2529,843
- 3) 12-VAP-80, x = 7352,695, y = 2529,777
- 4) 17-VAP-80, x = 7352,752, y = 2529,744
- 5) 20-VAP-80, x = 7352,787, y = 2529,725
- 6) 21-VAP-80, x = 7352,798, y = 2529,717
- 7) 22-VAP-80, x = 7352,809, y = 2529,711
- 8) 38-VAP-80, x = 7352,992, y = 2529,606
- 9) 40-VAP-80, x = 7353,015, y = 2529,589

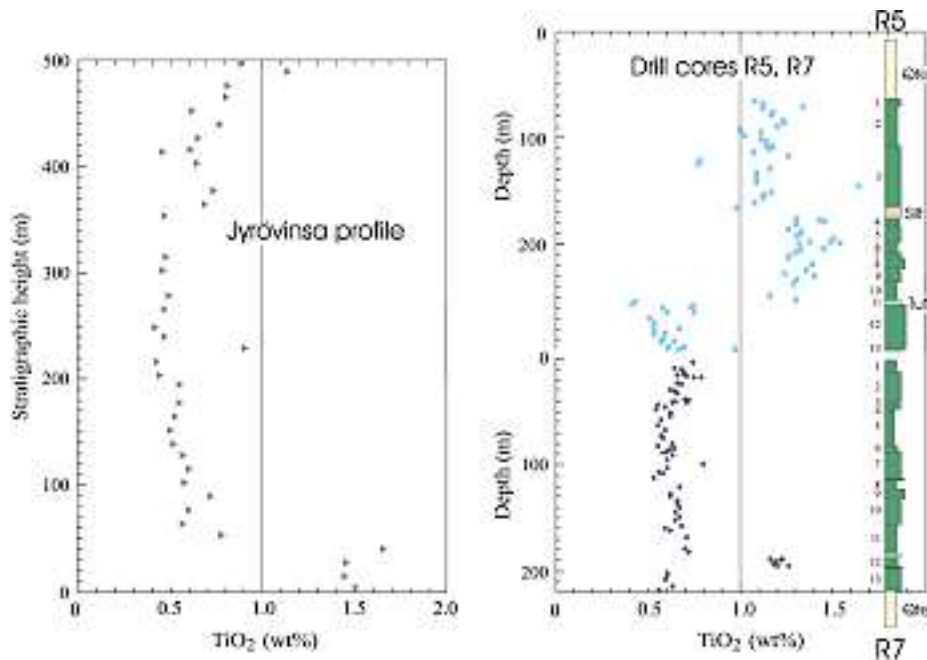
kaasti keveistä lantanideista köyhtyneiden vulkaniittien joukkoon. REE-rikkaimmilla Jouttiaavan laavoilla on REE-taso MORB:iän luokkaa, mutta niiden Gd_N/Yb_N-suhde on hiukan suurempi (> 1) kuin selänteiden basalteilla, joiden kondriittinormalisoidulla REE-diagrammeilla HREE-jakauma on tyypillisesti tasainen.

Huhma ym. (1990) käyttivät Jyrövinan paljastumanäytteitä tutkiessaan Jouttiaavan muodostuman Sm-Nd-isotooppikoostumusta. Riippumatta stratigrafisesta asemasta ja LREE/HREE-suhteesta he mittasivat kaikille näytteille positiivisia ε_{Nd}(2090 Ma)-arvoja välillä 3,2–5,3, mikä osoittaa Jouttiaavan muodostuman olevan lähes tai täysin vapaa kuorellisesta kontaminaatiosta. Analyysitulosten regressio antoi iäksi 2090 ± 70 Ma ja initiaalisuhteen arvoksi + 4,2 ± 0,5, mikä on lähellä köyhtyneen mallivai-



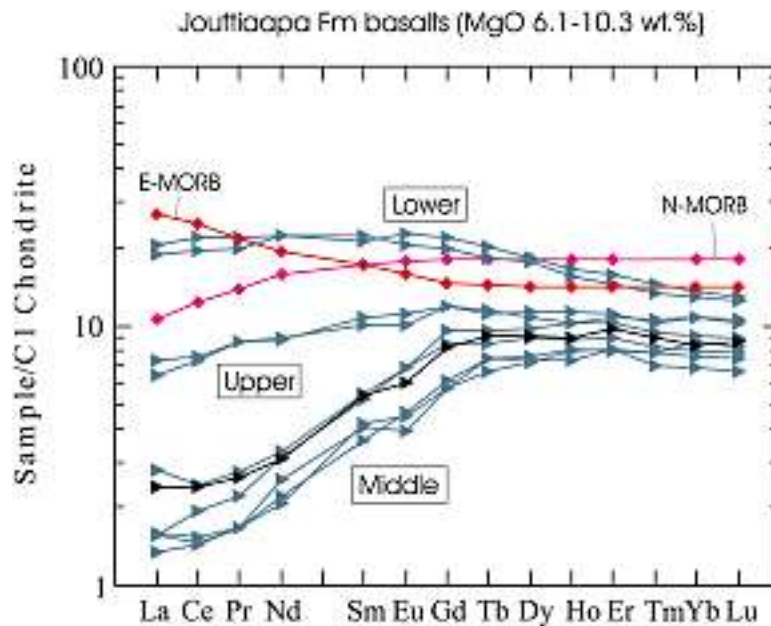
Kuva 31. Peräpohjan mafisten vulkaniittien Th-MgO-diagrammi. Analyysiaineisto karttalehdiltä 2544, 2631, 2633 ja 3611.

Fig. 31. Th vs. MgO diagram for mafic volcanic rocks from the Peräpohja Schist Belt. Data from map sheets 2544, 2631, 2633, and 3611.



Kuva 32. Titaanioksidin vaihtelu stratigrafisen korkeuden funktiona Jouttiaavan muodostumassa kairansyvämissä R5 ja R7 Jouttiaavan alueella (Runkaus 2544) ja Jyväskylän paljastumaprofiililla (Törmäsjärvi 2631). Numerot stratigrafisten pylväiden vierellä viittaavat tunnistettuihin laavapatjoihin. Qte = kvartsiitti.

Fig. 32. Variation of TiO_2 in the Jouttiaapa Formation as a function of stratigraphic height. Drill core sections R5 and R7 from the Jouttiaapa area (Runkaus map sheet 2544) and outcrop profile from Jyväskylä (Törmäsjärvi map sheet 2631). Numbers beside the stratigraphic columns denote identified lava flows. Qte = quartzite.



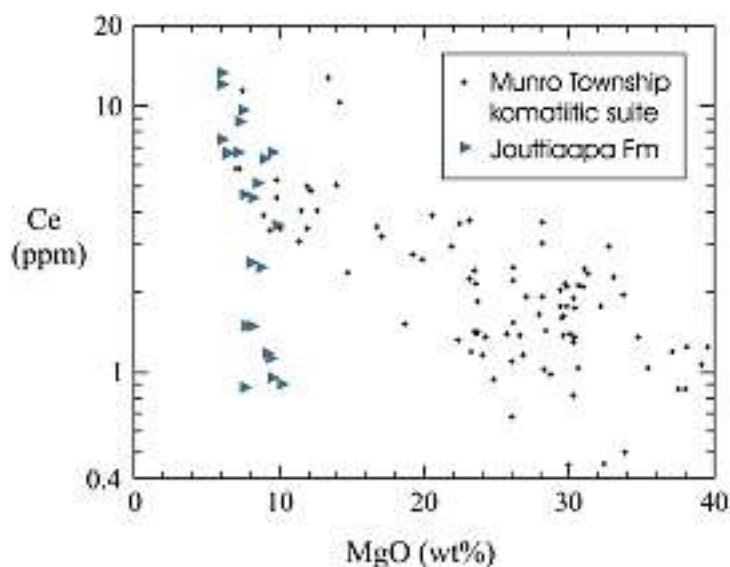
Kuva 33. Jouttiaavan muodostuman laavojen kondriittinormalisoituja REE-jakaumia Jyrövinan alueelta (2631); ne edustavat laavamuodostuman stratigrafisen leikkauksen ala-, keski- ja yläosaa. Kuvassa on esitetty mustalla värillä REE-analyysi Koivun karttalehden (2633 07) kaakkoisosasta sekä punaisella värillä valtameren selänteiden basalttien tyyppianalyysijä (N-MORB- ja E-MORB-tyypin basaltin keskiarvoanalyysit, Sun ja McDonough 1989).

Fig. 33. Chondrite-normalized REE patterns for a stratigraphic section of the Jouttiaapa Formation in the Jyrövinan area (map sheet 2631), and one pattern from the south-eastern corner of the Koivu map-sheet (2633 07). Also shown are the average N-MORB and E-MORB analyses taken from Sun and McDonough (1989).

pan arvoa tuohon aikaan (DePaolo 1981). Lisäanalyysit ovat tarkentaneet ikätulokseksi 2103 ± 50 Ma (Hölttä ym. 2003).

Jouttiaavan muodostuma on ainutlaatuinen Fennoskandian kilvellä ja myös maailmanlaajuisesti, sillä mantereisessa ympäristössä on hyvin harvoin tavattu MORB-tyyppisiä vulkaniitteja, jotka eivät ole kärsineet kuoren kontaminaatiosta (ks. Thompson ym. 1983). Toinen erikoinen piirre on tarttumattomien hivenalkuaineiden äärimäinen köyhtyminen. Tämä tulee hyvin esille kuvasta 34, jossa Jouttiaavan muodostuman MgO- ja Ce-pitoisuuksia on verrattu Munro Townshipin (Kanada) komatiittisarjan analyysihin. Jouttiaavan muodostuman köyhtyneimmillä laavoilla on niin alhainen Ce-taso, että tällainen tavataan vasta 20–30 % MgO:ta sisältävillä komatiiteilla.

Santalammen muodostumasta on analysoitu vain tuhkia sekä niissä heitteleinä olevia vulkaniittifragmentteja. Kemiallisesti näytteet ovat tholeiittisia basaltteja ja basalttisia andesiitteja (taulukko 5). Vaikka pääkomponenttien analyysipisteet ovat osittain päällekkäin stratigrafisesti mahdollisesti samalla tasolla olevan Jouttiaavan muodostuman vulkaniittien kanssa (kuva 29), Santalammen muodostuman vulkaniittit muistuttavat hivenalkuaineiltaan enemmän Runkauksen muodostuman vulkaniit-



Kuva 34. Jouttiaavan muodostuman basalttien ja Munro Townshipin alueen (Kanada) komatiittisen sarjan Ce- ja MgO-pitoisuuksia.

Fig. 34. *MgO vs. Ce plot for Jouttiaapa Formation basalts and for an Archean komatiitic suite from Munro Township, Canada (data from literature).*

teja (kuvat 30 ja 31). Pyroklastisten kivien kevyet lantanidit ovat rikastuneet raskaisiin verrattuna (La_N/Sm_N keskim. 1,9). Selvin ero Runkauksen muodostumaan verrattuna on suhteellisen pienet Ba- ja Rb-pitoisuudet (yleensä < 200 ja < 40 ppm, vastaavasti), sillä Runkauksen laavoissa nämä komponentit voivat nousta yli 1000 ja 100 ppm:n.

Tikanmaan muodostuman vulkaniitit muistuttavat geokemiallisesti Jouttiaavan muodostuman vulkaniitteja, vaikka vulkanologiset erot ovat selvät: kun Jouttiaavan muodostuma koostuu yksinomaan mantelirakenteisista laavoista, Tikanmaan muodostuman kivilajit ovat kaikki kerrosrakenteisia tuhkia. Tosin pieniä kemiallisia eroja on havaittavissa. Jouttiaavan laavoihin verrattuna Tikanmaan vulkaniiteilla on kehittyneempi luonne, sillä ne ovat basalttien sijaan enimmäkseen basalttisia andesiitteja (taulukko 6:1–4). Alkaliin kokonaismäärä on myös huomattavasti suurempi, ja vaihtelee 5 ja 8 painoprosentin välillä, kun Jouttiaavan muodostuman laavoissa se on yleensä 2–5 %. Koska pysyvien hivenalkuaineiden pitoisuustaso on suhteellisen alhainen, ovat alkalit ilmeisesti sekundäärisesti rikastuneet. Tikanmaan muodostumassa lantanidien kondriittinormalisoitu jakauma on suhteellisen tasainen ja osoittaa vain vähäistä raskaan ja kevyen päään laskua verrattuna keskiraskaisiin lantanideihin, joten ne muistuttavat Jouttiaavan muodostuman hivenalkuaineista rikastuneimpaa tyyppiä (kuva 35). Pitoisuustaso on noin 10-kertainen kondriitteihin nähden. Sama piirre on myös liuskealueen eteläosan analysoiduissa Tikanmaan muodostuman tuffiiteissa (Perttunen 1989).

Taulukko 5. Santalammen muodostuman vulkaniittien kemiallisia koostumuksia. Reikä K2631/83/R1. XRF-analyysit Rautaruukki Oy (*), INAA-analyysit VTT.

Table 5. Chemical compositions of the volcanic rocks of the Santalampi Formation. Drill hole K2631/83/R1. XRF analyses by Rautaruukki Co (*), INAA analyses by VTT.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂ % *	50,9	50,3	49,0	50,4	51,0	53,0	50,8	52,0	53,2
TiO ₂	1,51	1,66	1,02	0,97	1,02	0,97	1,03	1,09	1,40
Al ₂ O ₃	13,8	14,7	13,8	13,3	13,8	13,4	13,7	14,0	13,3
Fe ₂ O ₃ tot	14,44	14,59	15,73	12,41	13,74	13,43	13,29	12,51	13,10
MnO	0,07	0,07	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12
MgO	6,85	6,53	8,93	8,54	10,3	9,77	10,6	9,01	8,51
CaO	2,35	3,32	2,68	4,91	3,36	2,33	2,74	3,91	4,25
Na ₂ O	3,59	5,14	3,17	3,94	4,18	3,59	3,7	5,3	5,21
K ₂ O	4,17	1,20	1,18	0,69	0,60	0,90	0,96	0,88	0,44
P ₂ O ₅	0,21	0,22	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,17
Summa - Sum	97,89	97,73	95,74	95,41	98,26	97,63	97,06	98,93	99,69
Cu * ppm	80	20	290	120	60	230	60	240	590
S *	120	2190	660	630	1250	2060	930	370	1220
V *	330	350	340	290	320	310	310	300	360
Zr *	170	190	90	80	80	90	90	80	120
Sr *	30	40	20	40	30	30	20	30	30
As	0,486	2,19	0,492	0,498	0,499	0,487	0,483	0,527	0,503
Sb	0,26	0,25	0,08	0,1	0,1	0,2	0,13	0,12	0,18
Zn	129	156	123	131	128	124	125	133	126
Sn	115	131	110	109	111	105	105	115	107
Au	0,0032	0,0036	0,003	0,003	0,003	0,0031	0,0029	0,0033	0,0032
La	13,9	22	9,23	11,1	10,4	14,7	9,77	5,87	6,31
Sm	5,22	5,34	3,61	3,68	3	3,72	2,9	2,72	2,91
Lu	0,578	0,84	0,204	0,314	0,428	0,652	0,024	0,531	0,309
Cr	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Ni	49,4	54,3	46,5	46,5	47,3	44,9	64,1	47,5	44,7
Co	49,4	98	50,4	42,9	42,5	61,3	45,4	27,6	24,4
Sc	45,4	49,6	44,9	46,7	47,8	41,8	45,4	52	47,5
Ba	451	70,3	78,4	45,9	47	139	144	96,6	39,4
Rb	101	28,5	37,8	12,4	12,1	12,2	11,9	13	12
Ta	0,305	0,398	0,301	0,333	0,32	0,3	0,298	0,338	0,421
U	1,45	0,7	0,647	0,651	0,791	0,778	0,616	0,48	0,47
Th	3,02	3,83	2,33	2,05	2,59	2,9	2,68	1,98	1,84
Cs	4,01	0,98	1,85	0,826	0,815	0,813	0,797	0,861	0,776
Syvyys m - Depth m	24,5	27,7	52,0	67,4	88,4	137,2	143,6	159,6	168,1

Myös **Hirsimaan muodostuma** koostuu yksinomaan tuhista. Kemiallisesti ne ovat yleensä trakyandesiitteja (taulukko 6:5-8). Niiden rautapitoisuus (FeO_{tot} keskim. n. 15 %) on korkea, ja niiden hivenainekoostumus poikkeaa selvästi alueen muiden vulkaanisten kivien koostumuksista. Alkalisuus näkyy esimerkiksi korkeina niobin (> 10 ppm), zirkoniumin (> 120 ppm) ja toriumin (> 3 ppm) (kuva 31) pitoisuuksina sekä korkeana Nb/Y-suhteena (> 1). Kevyet lantanidit ovat selvästi rikastuneet raskaisiin verrattuna: lantaanin taso nousee 70–250 kertaa kondriittien tasoa suuremmaksi (kuva 35). Myös mobiileina pidettyjen rubidiumin ja bariumin pitoisuudet ovat korkeita ja todennäköisesti edustavat suurin piirtein kiven alkuperäisiä koostumuksia, sillä ne korreloivat hyvin immobiilien alkuaineiden kuten Nb:n ja Zr:n kanssa. Hirsimaan muodostumaa vastaavia kemiallisia koostumuksia ei ole toistaiseksi analysoitu muualta Peräpohjan liuskealueella.

Taulukko 5. Jatkoa.
Table 5. Continued...

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂ % *	53,6	52,7	51,6	50,6	52,3	50,7	50,9	51,0	53,0
TiO ₂	1,43	1,14	1,29	1,32	1,33	1,40	1,57	1,53	1,50
Al ₂ O ₃	13,4	11,7	13,5	13,1	13,2	12,5	13,8	13	12,6
Fe ₂ O ₃ tot	11,37	14,59	16,30	12,04	13,10	14,87	16,30	14,59	13,90
MnO	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	0,14	0,15	0,12
MgO	8,1	7,12	6,92	8,52	7,89	6,69	5,95	7,15	6,99
CaO	4,7	6,23	3,32	5,84	4,76	5,97	4,75	4,71	4,78
Na ₂ O	5,62	5,79	5,48	5,04	5,3	4,63	5,32	4,12	4,79
K ₂ O	0,97	0,15	0,90	1,09	0,80	0,73	0,79	1,90	0,83
P ₂ O ₅	0,17	0,12	0,14	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,14
Summa - Sum	99,47	99,64	99,54	97,80	98,91	97,76	99,68	98,31	98,66
Cu * ppm	720	20	20	150	290	170	80	20	60
S *	3970	2830	3380	760	430	440	1540	60	420
V *	320	360	360	340	390	340	390	360	370
Zr *	120	100	120	110	70	130	140	130	120
Sr *	20	40	20	40	40	40	90	70	40
As	2,95	0,503	1,73	0,459	0,47	0,482	0,51	0,431	0,448
Sb	0,19	0,25	0,21	0,11	0,23	0,31	0,19	0,12	0,22
Zn	128	123	119	115	114	108	115	102	106
Sn	111	104	103	98	99,5	99,2	102	93,1	93,6
Au	0,0155	0,003	0,0029	0,0029	0,0029	0,0035	0,0029	0,0026	0,0158
La	7,08	15,7	9,91	6,92	17,4	7,48	25,9	16,7	10,4
Sm	3,12	4,58	3,9	3,02	4,73	4,29	6,34	4,69	3,11
Lu	0,108	0,299	0,57	0,364	0,189	0,459	0,265	0,218	0,109
Cr	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Ni	45	43	42,2	41,1	41,3	41,4	66,4	38,9	50,6
Co	59,9	57,4	67,3	40,1	25,8	30,7	54,6	45,3	37,8
Sc	47,1	37,8	47,2	45,3	45,9	42,6	52,9	46,6	47,1
Ba	136	42,6	44,2	116	148	125	157	290	163
Rb	12,4	11,7	11,7	11,4	11,5	10,8	11,3	13,6	10,5
Ta	0,329	0,308	0,306	0,296	0,302	0,277	0,305	0,257	0,276
U	0,803	0,482	1,66	0,354	0,397	1,04	0,509	0,54	0,316
Th	1,97	1,81	2,59	1,82	1,92	2,27	2,69	2,13	1,75
Cs	0,812	0,763	0,754	0,739	0,725	0,731	0,745	1,32	0,706
Syvyys m - Depth m	183,2	196,5	211,6	212,7	216,7	220,0	236,3	239,0	245,9

Kolmannesta tuffimuodostumasta, **Lamulehdon muodostumasta**, on vain kaksi kairaamalla saatua näytettä, ja näistä vain toisesta on analysoitu tärkeit, mielenkiintoiset hivenaineet. Tämä muodostuma on kolmesta tuffimuodostumasta primitiivisin: MgO-taso on lähellä 10 %:a. FeOt-pitoisuus on vieläkin korkeampi kuin Hirsimaan muodostumassa. Lantanidien kondriittinormalisoitu jakauma on loivasti laskeva ja sijoittuu diagrammissa Tikanmaan ja Hirsimaan muodostumien väliin (kuva 35).

Yhteenvetona tuffimuodostumista voidaan todeta, että kullakin on ominaiset kemialliset piirteensä. Mentäessä alimmasta ylimpään niiden koostumus muuttuu tholeiittisesta basalttisesta andesiitista hivenalkuaineista rikastuneen trakyandesiiitin kautta tholeiittiseksi basaltiksi, jolla on vielä jonkin verran rikastunut luonne. Analyysit osoittavat, että detritaalisin aineksen osuus ja kuorellinen kontaminaatio on kaikissa tuffimuodostumissa olematonta. Samanlaisen magman fraktioiva kiteytymi-

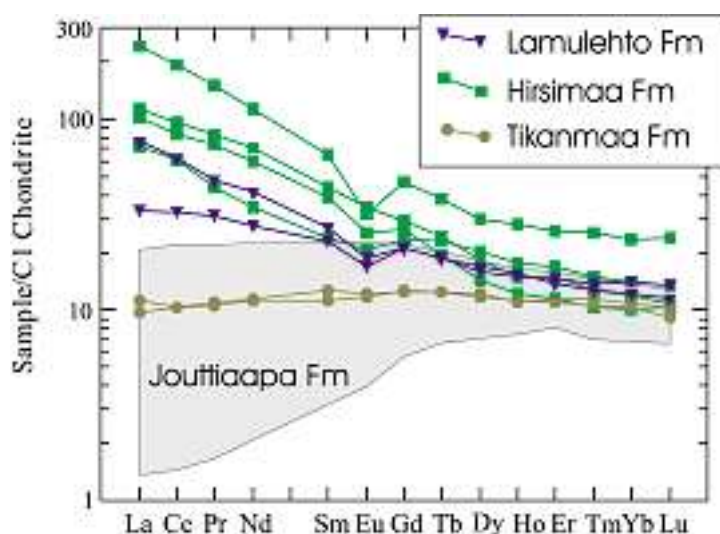
Taulukko 6. Tikanmaan (1–4), Hirsimaan (5–8) ja Lamulehdon (9) muodostuman vulkaniittien kemiallisia koostumuksia. XRF- ja ICP-MS-analyysit GTK.

Table 6. Chemical compositions of the volcanic rocks of the Tikanmaa (1–4), the Hirsimaa (5–8), and the Lamulehto (9) Formations. XRF and ICP-MS analyses by GTK.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂ %	48,4	52,7	55,1	48,0	62,5	53,0	55,5	49,1	53,6
TiO ₂	1,27	1,05	0,94	1,10	1,66	2,50	1,35	1,93	1,97
Al ₂ O ₃	14,5	12,2	13,8	13,6	13,7	15,1	11,5	16,6	14,6
Fe ₂ O ₃ tot	19,2	12,4	10,6	11,7	11,7	15,3	13,4	16,6	18,0
MnO	0,038	0,226	0,175	0,156	0,062	0,093	0,094	0,078	0,121
MgO	8,00	6,54	6,43	9,57	3,81	4,88	6,83	4,51	4,55
CaO	3,37	8,06	6,33	5,60	0,968	1,93	3,40	0,650	1,34
Na ₂ O	4,44	4,65	5,99	3,05	2,38	2,46	3,18	2,74	3,74
K ₂ O	0,456	0,276	0,186	1,37	2,68	2,30	0,338	4,04	1,62
P ₂ O ₅	0,103	0,073	0,065	0,073	0,204	0,238	0,245	0,151	0,122
Summa - Sum	99,76	98,24	99,67	94,2	99,66	97,86	95,90	96,49	99,71
S ppm	0	788	1137	92	0	0	0	1528	0
Cl	34	30	11	34	0	22	39	34	22
Sc	32	35	28	44	16	21	17	26	32
V	217	294	278	308	190	287	174	226	330
Cr	173	183	263	259	194	108	66	156	152
Ni	120	116	94	118	61	76	54	51	88
Cu	10	314	218	103	9	5	41	72	109
Zn	176	87	85	105	95	146	151	222	178
Ga	24	23	17	22	29	31	18	41	29
As	2	3	2	5	2	2	0	2	2
Rb	14	5	3	26	104	66	11	178	66
Sr	23	60	128	55	44	75	67	42	60
Y	11	19	18	18	27	27	22	42	20
Zr	71	59	47	62	275	252	249	531	162
Nb	5	4	5	2	44	31	21	92	13
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Sn	0	2	0	0	0	0	0	2	3
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	160	46	38	330	330	221	82	662	184
La	8	14	6	1	19	22	31	55	6
Ce	0	0	0	0	19	25	23	76	5
Pb	14	11	16	15	11	19	10	25	15
Bi	0	0	0	3	0	2	0	0	0
Th	1	0	1	0	5	2	3	8	0
U	0	3	1	1	0	1	2	2	0
La	4,96	2,67	2,30	2,49	16,9	26,8	23,9	56,7	7,86
Ce	11,8	6,36	6,33	6,74	37,3	58,4	51,1	116	19,9
Pr	1,86	1,05	1,00	1,10	4,15	7,92	6,93	14,1	2,95
Nd	8,79	5,38	5,19	5,58	16,2	32,9	27,8	52,2	12,8
Sm	2,49	1,92	1,70	2,40	3,67	6,77	5,93	9,97	3,51
Eu	0,92	0,71	0,67	0,94	1,20	1,98	1,48	1,85	0,98
Gd	3,15	2,55	2,60	3,52	4,80	6,01	5,38	9,68	4,29
Tb	0,50	0,46	0,46	0,61	0,85	0,90	0,73	1,43	0,70
Dy	2,81	3,09	2,93	3,73	5,17	4,67	3,60	7,50	3,98
Ho	0,55	0,62	0,63	0,75	0,99	0,85	0,68	1,57	0,84
Er	1,50	1,87	1,83	2,27	2,80	2,47	1,88	4,23	2,40
Tm	0,21	0,29	0,27	0,29	0,38	0,32	0,26	0,65	0,35
Yb	1,26	1,81	1,74	2,07	2,36	2,00	1,73	4,00	2,38
Lu	0,20	0,26	0,23	0,31	0,34	0,27	0,26	0,60	0,34

Näyte, karttalehti, sijainti, koordinaatit - Sample, map sheet, location, coordinates

- 1) 74.1-ROL-80, 2633 04A, Peura, 7342,760, 2552,770
- 2) 75.2-ROL-80, 2633 04A, Peura, 7342,375, 2552,950
- 3) 102.1-ROL-82, 2633 07A, Jäkäläkangas, x = 7342,620, y = 2564,720
- 4) 152.1-SKA-78, 2633 02A, Kallioaavankankaat, x = 7354,025, y = 2541,240
- 5) 92.1-ROL-80, 2633 04C, Rantaselkä, 7344,420, y = 2555,200
- 6) K2633/98/R14/7.30, 2633 04A, Hirsikangas, 7344,100, y = 2553,780
- 7) K2633/98/R15/10.10, 2633 04A, Hirsikangas, 7344,030, y = 2553,780
- 8) K2633/98/R17/13.80, 2633 04A, Hirsikangas, 7343,540, y = 2553,460
- 9) K2633/98/R10/15.60, 2633 04B, Lamulehto, 7345,120, 2553,460



Kuva 35. Tuffiittimuodostumien kondriittinormalisoituja REE-jakaumia. Vertailun vuoksi on esitetty myös Jouttiaavan muodostuman laavojen kenttä, joka pohjautuu kuvaan 33.
Fig. 35. Chondrite-normalized REE patterns for three tuffite formations (the Tikanmaa, Hirsimaa, and Lamulehto Fms). For comparison, a field of the Jouttiaapa Formation lavas is also shown (adapted from Fig. 33).

nen ei selitä muodostumien kemiallista luonnetta, vaan se vaatii erilaisia kantamagmoja, jotka vaihtelivat E-MORB-tyypistä OIB:hen.

Törmäsjärven karttalehden luoteisosaan sijoittuvan **Väystäjän muodostuman** vulkaniitit ovat osaksi tuhkia mutta pääosin tyynyarakenteisia laavoja. Niistä on runsaasti pääalkuaineanalyysyjä (taulukko 7), mutta hivenalkuaineiden pitoisuuksista tietoa on vielä melko vajavaista. Muutaman näytteen MgO-pitoisuus on suhteellisen korkea (10,6–11,3 %), ja siksi ne sijoittuvat Jensenin diagrammilla komatiittisten basalttien kenttään (kuva 29). Yleensä laavat ovat tholeiittisia basaltteja (Mg-tholeiitteja). Kondriittinormalisoitu lantanidijakauma on suhteellisen tasainen tai rikastunut heikosti keveistä lantanideista (kuva 36). Yksi analyysi edustaa keveistä lantanideista rikastunutta tyyppiä, jolla on OIB-tyyppinen kemiallinen karakteristiikka.

Mafiset juonikivet

Karttalehdiltä analysoidut diabaasit ovat koostumukseltaan vaihtelevia (taulukko 8). Esimerkiksi niiden MgO pitoisuus vaihtelee 2,8 %:sta 15,4 %:iin. Eniten magnesiumia sisältävä näyte on pyrokseenikumulaatti; muut ovat gabroja tai leukogabroja. Pää- ja hivenalkuaineiden perusteella voidaan erottaa kaksi päätyyppiä. Niistä ensimmäinen tyyppi on kevyistä lantanideista rikastunut (kuva 37B). Se edustaa laajaa differentiaatiosarjaa ja sijoittuu Al_2O_3/TiO_2 vs. MgO -diagrammilla (kuva 37A) gabbro-wehrliittisarjan (Hanski 1987) koostumuskenttään. Näiden diabaasien ikä on to-

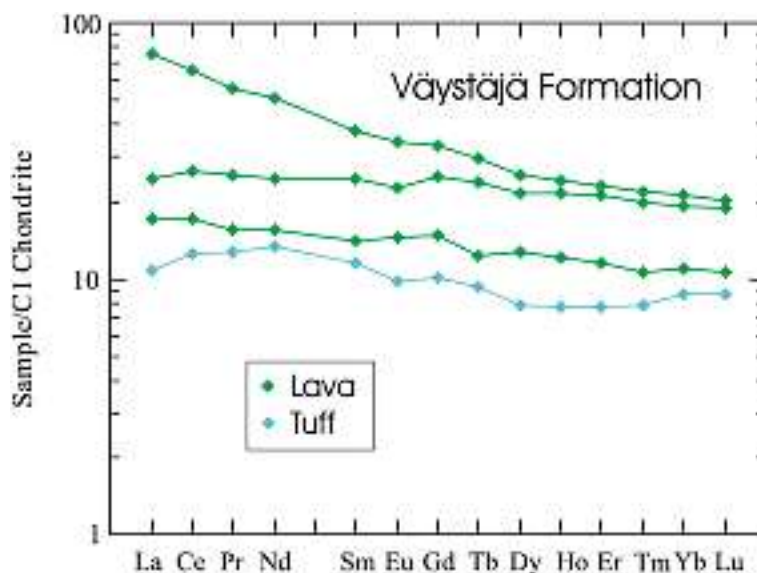
Taulukko 7. Väystäjän muodostuman vulkaniittien kemiallisia koostumuksia Vähä-Väystäjän alueella. Karttalehti 2631 02C. XRF-analyysit GTK.

Table 7. Chemical compositions of volcanic rocks of the Väystäjä Formation. Map sheet 2631 02C. XRF analyses by GTK.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂ %	50,74	48,91	48,19	50,36	46,00	52,09	48,15	51,60	59,25	50,44	48,90
TiO ₂	1,14	1,11	1,00	1,13	1,28	1,00	1,15	0,94	1,16	1,05	1,32
Al ₂ O ₃	13,68	10,02	13,23	10,27	16,31	13,64	14,83	15,36	12,95	13,11	13,06
Fe ₂ O ₃	12,65	15,11	12,34	12,88	14,80	11,90	14,50	12,18	12,09	11,97	15,37
MnO	0,27	0,28	0,24	0,30	0,27	0,27	0,24	0,18	0,15	0,20	0,27
MgO	7,60	10,62	7,37	10,78	7,62	7,05	8,01	6,91	5,81	7,25	7,73
CaO	9,94	8,67	12,33	10,28	8,81	8,67	8,34	7,58	4,36	11,01	8,96
Na ₂ O	2,71	1,71	1,65	1,90	2,94	3,87	2,88	3,56	1,77	1,71	2,48
K ₂ O	0,10	0,06	0,10	0,06	0,11	0,08	0,13	0,53	0,00	0,16	0,08
P ₂ O ₅	0,09	0,07	0,07	0,09	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07
Summa - Sum	98,91	96,56	96,51	98,04	98,24	98,63	98,30	98,91	97,60	96,99	98,24

Näyte, koordinaatit - Sample, coordinates

- 1) 30.1-BES-77, y = 7352,130, y = 2504,900
- 2) 31.1-BES-77, y = 7352,100, y = 2504,800
- 3) 32.1-BES-77, y = 7352,050, y = 2504,900
- 4) 33.1-BES-77, y = 7352,020, y = 2504,970
- 5) 35.1-BES-77, y = 7352,150, y = 2504,960
- 6) 36.1-BES-77, y = 7352,220, y = 2504,900
- 7) 45.1-BES-77, y = 7352,030, y = 2505,010
- 8) 72.1-BES-77, y = 7352,330, y = 2505,060
- 9) 73.1-BES-77, y = 7352,150, y = 2505,050
- 10) 74.2-BES-77, y = 7352,130, y = 2505,060
- 11) 46.1-BES-77, y = 7352,100, y = 2505,000



Kuva 36. Väystäjän muodostuman mafisten vulkaniittien kondriittinormalisoituja REE-jakaumia.
Fig. 36. Chondrite-normalized rare earth element patterns for volcanic rocks from the Väystäjä Formation, Törmäsjärvi map sheet.

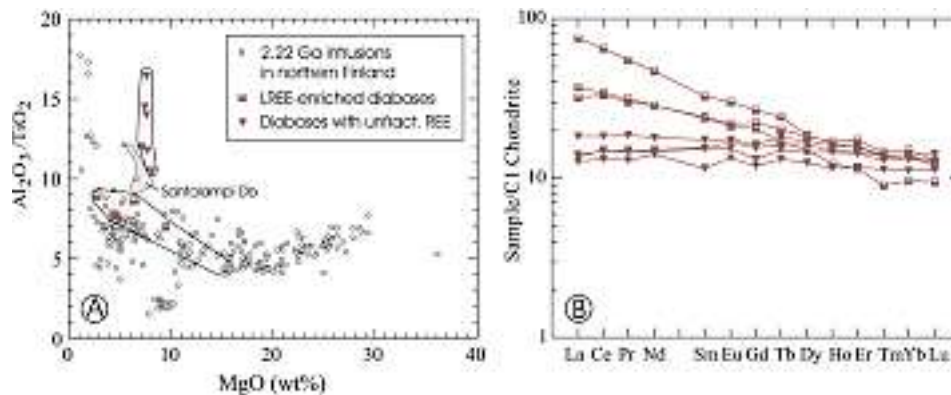
Taulukko 8. Diabaasien kemiallisia koostumuksia. XRF- ja ICP-MS-analyysit GTK.
Table 8. Chemical compositions of diabases. XRF and ICP-MS analyses by GTK.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂ %	47,9	48,9	47,2	48,6	51,0	53,4	48,6
TiO ₂	1,27	1,15	0,945	1,6	1,35	1,85	1,1
Al ₂ O ₃	14,9	13,8	15,5	13,8	9,36	14,4	15,4
Fe ₂ O ₃ tot	14,5	14,4	13,1	16,0	12,6	14,0	14,5
MnO	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,11	0,20
MgO	7,73	7,18	7,63	6,32	9,52	4,29	7,55
CaO	8,71	7,8	11,1	9,69	10,8	3,79	7,92
Na ₂ O	2,58	2,66	2,36	2,24	2,83	4,9	2,91
K ₂ O	1,49	1,37	0,416	0,387	0,617	2,78	0,898
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,07	0,15	0,10	0,20	0,09
Summa - Sum	99,4	97,6	98,5	99,0	98,4	99,7	99,2
S ppm	1720	860	600	40	310	490	10!
Cl	110	70	140	690	170	350	270
Sc	46	45	48	40	30	8!	40
V	370	355	293	374	278	306	339
Cr	230	251	388	111	258	9!	238
Ni	106	85	117	97	157	8!	134
Cu	156	177	112	154	104	461	55
Zn	108	106	84	124	69	43	96
Ga	25	22	17!	23	25	31	21
As	2!	4!	2!	0!	0!	4!	6!
Rb	55	40	13	8	14	52	28
Sr	172	75	118	170	286	81	103
Zr	75	71	53	112	114	176	63
Mo	0!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
Sn	0!	0!	0!	0!	1!	0!	0!
Sb	0!	0!	0!	0!	0!	0!	0!
Ba	168	139	43	21	241	700	87
Pb	26!	13!	17!	15!	21!	13!	18!
Bi	3!	0!	1!	0!	0!	2!	1!
La	4,34	3,24	3,00	7,62	8,74	17,9	3,32
Ce	11,1	9,18	8,06	20,2	21,0	40	9,09
Pr	1,75	1,38	1,22	2,86	3,01	5,25	1,42
Nd	8,43	6,85	6,53	13,3	13,3	21,8	7,02
Sm	2,67	2,34	1,76	3,68	3,63	4,98	2,36
Eu	1,01	0,97	0,78	1,28	1,23	1,73	0,89
Gd	3,37	3,17	2,44	4,57	4,18	5,53	2,69
Tb	0,67	0,61	0,49	0,76	0,63	0,90	0,56
Dy	4,31	4,11	3,15	4,67	3,78	4,73	3,68
Ho	0,90	0,84	0,65	0,95	0,7	0,94	0,82
Er	2,61	2,41	1,94	2,89	1,89	2,55	2,36
Tm	0,36	0,35	0,29	0,37	0,23	0,35	0,33
Yb	2,35	2,25	1,89	2,55	1,62	2,37	2,27
Lu	0,36	0,32	0,29	0,33	0,24	0,30	0,33

! = pitoisuus alle määrittäysrajan ! = value below detection limit

Näyte, karttalehti, koordinaatit - Sample, map sheet, coordinates

- 1) 26-ROL-82, 2633 07B, x = 7346,440, y = 2562,450
- 2) 31-ROL-82, 2633 07B, x = 7346,320, y = 2561,870
- 3) 34-ROL-82, 2633 07B, x = 7346,620, y = 2563,120
- 4) 16-JOL-79, 2633 06C, x = 7363,660, y = 2555,500
- 5) 36-JOL-79, 2633 06A, x = 7364,350, y = 2553,980
- 6) 38-JOL-79, 2633 06B, x = 7365,300, y = 2553,550
- 7) 145.1-MOP-78, 2633 07B, x = 7345,790, y = 2563,070



Kuva 37. (A) Lantanidijakaumiltaan erilaisten diabaasien vertailu gabro-wehrliittisarjan kumulaatteihin Al_2O_3/TiO_2 vs. MgO -diagrammilla. (B) Diabaasien kondriittinormalisoituja lantanidijakaumia. Fig. 37. (A) Analyses of two types of diabases having flat or LREE-enriched REE-patterns compared with analyses of cumulates from the 2.2 Ga gabbro-wehrlite association from northern Finland on an Al_2O_3/TiO_2 vs. MgO diagram. (B) Chondrite-normalized rare earth element patterns for diabases from the Törmäsjärvi and Koivu map sheets.

dennäköisesti n. 2,2 miljardia vuotta. Toinen tyyppi on homogeenisempi: MgO rajoittuu hyvin suppealle alueelle ja Al_2O_3/TiO_2 -suhde on korkeampi kuin gabro-wehrliittisarjalla (kuva 37A). Lisäksi niillä on tasainen kondriittinormalisoitu REE-jakauma (kuva 37B). Todennäköisesti nämä diabaasit edustavat nuorempaa ikäryhmää.

Kaisavaaran muodostuman kvartsiittien kairauksissa lävistettiin Santalammen alueella näitä kvartsiitteja leikkaava, n. 100 m paksu diabaasijuoni (taulukko 9). Se ei homogeenisuudestaan huolimatta näytä kuuluvan edellä kuvattuun nuorempaan ikäryhmään, sillä näytteillä on korkeampi La_N/Sm_N (n. 1,5) kuin kyseisellä juonityypillä. Toisaalta Al_2O_3/TiO_2 vs. MgO -diagrammilla analyysipisteet sijoittuvat kahden päätyypin väliin (kuva 37A), joten tämän Santalammen diabaasin ikäluokittelu on vielä epäselvä.

Felsiset syvä- ja pintakivet

Felsisten kivien analyysijä on esitetty taulukossa 10. Neljästä analysoidusta Törmäsjärven lehden pohjoisosan deformatiivisesta, silmägneissimäisestä granitoidinäytteestä kolme vastaa kemialliselta koostumukseltaan graniittia ja yksi granodioriittia. Ylitornion lehden alueelle (2613) sijoittuvasta deformatiivisesta Aavasaksan graniitista on olemassa muutama analyysi, ja niitä voi vertailla silmägneisseihin. Kaikki analysoidut granitoidit, sekä deformatiiviset että deformatiivittomat, ovat S-tyypisiä ja peralumiinisia: A/CNK-indeksi vaihtelee välillä 1,0–1,1 (katso Chappel ja White 2001). Myös lantanidien (kuva 38A) ja muiden hivenalkuaineiden suhteen (kuva 38B) Aavasaksan graniitit ja Törmäsjärven silmägneissit ovat samanlaisia.

Kuvassa 38A on esitetty tutkimusalueen felsisten magmakivien kondriittinormalisoituja lantanidijakaumia, jotka voidaan jakaa kolmeen toisistaan poikkeavaan ryh-

Taulukko 9. Kaisavaaran diabaasin kemiallisia koostumuksia. Reikä K2631/83/R2. XRF-analyysit Rautaruukki Oy (*), INAA-analyysit VTT. x = 7346,380; y = 2529,180.

Table 9. Chemical compositions of the diabase in Kaisavaara. Drill hole K2631/83/R2. XRF analyses by Rautaruukki Co (*), INAA Analyses by VTT. x = 7346.380; y = 2529.180.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ % *	48,10	47,70	50,80	49,00	50,30	50,40	50,50	49,00	50,90	49,80	48,80	51,30
TiO ₂	1,31	1,31	1,39	1,32	1,33	1,35	1,34	1,31	1,39	1,27	1,14	1,23
Al ₂ O ₃	12,80	12,70	12,90	12,70	12,70	13,00	12,80	13,00	13,10	13,90	13,60	13,10
Fe ₂ O ₃ tot	12,37	14,17	14,09	12,67	13,11	13,40	13,90	13,17	13,67	12,70	11,08	13,54
MnO	0,14	0,09	0,19	0,19	0,20	0,19	0,21	0,21	0,18	0,17	0,15	0,19
MgO	6,63	7,83	6,47	6,50	6,64	6,54	6,58	6,79	6,76	6,96	5,90	7,06
CaO	6,35	4,24	9,50	9,78	10,10	9,68	10,10	9,60	8,99	8,88	6,20	9,93
Na ₂ O	4,14	3,94	1,92	2,76	1,52	2,13	1,47	2,57	2,58	2,80	4,83	1,71
K ₂ O	1,87	2,21	0,17	0,25	0,31	0,36	0,31	0,60	0,56	0,45	2,09	0,09
P ₂ O ₅	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,12	0,11	0,14
Summa - Sum	95,4	95,3	97,8	95,6	96,6	97,4	97,5	96,6	98,6	97,3	95,3	98,6
Cu * ppm	230	190	240	100	200	170	170	160	210	100	120	180
S *	1500	90	940	1390	780	760	700	820	1680	90	50	760
V *	380	360	400	380	380	380	390	390	400	370	340	370
Zr *	80	90	90	80	80	80	80	80	90	70	60	70
Sr *	30	40	210	170	220	200	210	180	220	280	80	280
As	3,78	0,49	3,06	1,27	1,58	1,42	1,41	1,28	1,63	0,874	0,463	0,806
Sb	0,08	0,11	0,53	0,43	0,64	0,58	0,61	0,66	0,67	0,55	0,1	0,56
Zn	106	106	76,7	87,7	72,8	80,1	68,1	86,9	73,9	81,5	98,9	67,5
Sn	96	96,2	76	83,5	76,5	79,6	71,2	82,7	74,4	78,4	88,2	68,3
Au	0,0182	0,0174	0,0207	0,0064	0,01	0,014	0,0105	0,0066	0,0088	0,0085	0,0051	0,003
La	7,64	7,66	7,99	7,92	6,92	8,27	7,33	8,23	8,16	7,33	6,92	8,19
Sm	3,83	2,58	3,62	3,15	3,23	3,24	3,67	3,48	3,34	3,69	2,72	3,61
Lu	0,232	0,419	0,338	0,241	0,224	0,226	0,344	0,239	0,476	0,21	0,071	0,45
Cr	108	92,8	119	121	115	118	135	108	118	124	111	113
Ni	40,9	39,9	52,1	34,9	34,9	34,3	78,9	44,1	43,7	46,6	44,8	29,6
Co	58,5	45,7	52,3	37,4	49,5	42,9	49,2	49,4	52,9	43,8	27,4	51,1
Sc	49,8	46,9	50,6	49,3	51,4	50,3	49,2	51,9	51,1	52,3	49	54,1
Ba	145	209	31,7	33,9	31,7	33,7	30,2	102	79,6	327	597	41,6
Rb	66,6	120	7,39	8,44	16	15,1	6,58	16,5	14,1	7,17	71,3	6,19
Ta	0,343	0,553	0,36	0,345	0,409	0,308	0,148	0,274	0,194	0,324	0,255	0,387
U	0,656	0,551	0,184	0,11	0,101	0,167	0,094	0,188	0,25	0,263	0,798	0,091
Th	0,52	0,36	0,61	0,84	0,49	0,52	0,53	0,55	0,56	0,32	0,32	0,57
Cs	3,75	8,09	0,559	0,616	0,56	0,585	0,514	0,722	0,547	0,641	3,55	0,496
Syvyys m - Depth	80,25	90,50	92,60	98,50	104,30	109,90	120,30	139,00	151,20	166,30	169,50	173,00

mään. Keskimmäiseen ryhmään kuuluvat Aavasaksan graniitit ja Törmäsjärven silmäneissit, joilla on korkeat LREE-pitoisuudet ja selvä negatiivinen Eu-anomalia.

Martimon muodostumaa leikkaavista ohuista juonista on kaksi analyysiä, jotka vastaavat TAS-luokittelun mukaan dasiittia ja ryoliittia. REE-diagrammilla nämä juonet muodostavat alimman tason (kuva 38A). Niiden REE-jakauma on kevyistä lantanideista rikastunut raskaan pään ollessa tasainen tai jopa osittain nouseva. Europiumanomalia on hyvin pieni tai olematon.

Väystäjän muodostuman felsiset vulkaniitit ovat kemiallisesti ryoliitteja. Niiden REE-pitoisuudet ovat hyvin korkeita ja nousevat kondriitteihin verrattuna 300–400-kertaisiksi. Niiden koostumus vastaa Mellajoen sviitin kvartsi-maasälpagneissien koostumusta. Graniittien tavoin näissä kivissä on selvä negatiivinen Eu-anomalia. Vertailun vuoksi on kuvassa 38A vielä eräitä arkoosisia metasedimenttejä Köyryn lito-

Taulukko 10. Törmäjärven ja Koivun karttalehtien felsisten kivilajien kemiallisia koostumuksia. XRF- ja ICP-MS-analysit (REE) GTK.

Table 10. Chemical analyses of felsic rocks from the Törmäjärvi and Koivu map sheets. XRF and ICP-MS (REE) analyses by GTK.

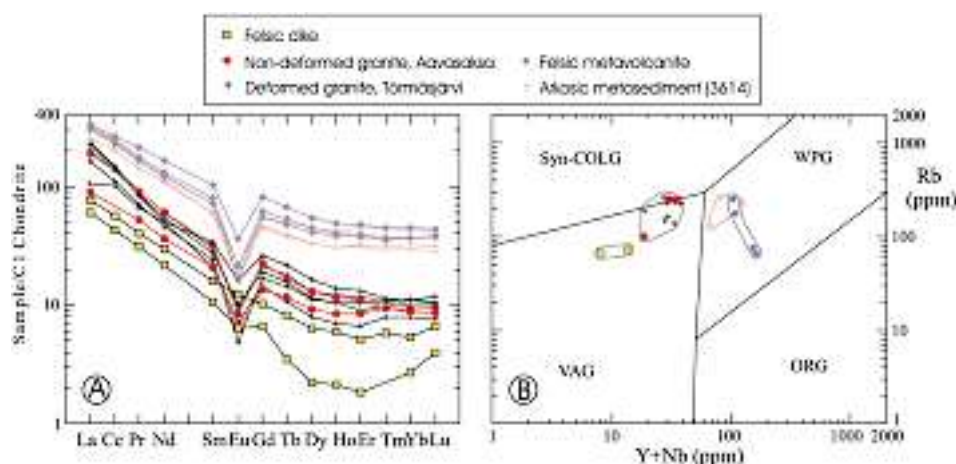
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12
SiO ₂ %	76,00	77,00	61,30	71,00	74,60	74,90	71,10	75,10	74,60	64,9	73,2
TiO ₂	0,16	0,14	0,44	0,38	0,12	0,22	0,35	0,26	0,27	0,39	0,17
Al ₂ O ₃	12,70	12,00	18,00	14,10	13,50	12,80	13,80	11,90	12,20	17,2	15,8
Fe ₂ O ₃ tot	1,37	1,20	3,84	2,65	1,23	1,70	3,28	1,80	2,01	4,73	0,89
MnO	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,127	0,016
MgO	0,17	0,19	0,88	0,91	0,18	0,39	0,58	0,60	0,43	1,47	0,34
CaO	0,49	0,13	0,23	0,91	0,85	0,73	0,99	0,68	0,39	5,94	0,54
Na ₂ O	3,25	2,36	3,91	5,12	3,42	3,50	3,14	1,81	2,78	2,48	5,67
K ₂ O	5,48	6,26	8,95	3,03	5,70	5,18	6,21	6,71	6,31	1,66	2,01
P ₂ O ₅	0,03	0,01	0,09	0,07	0,02	0,05	0,08	0,03	0,03	0,178	0,072
Summa - Sum	99,66	99,30	97,66	98,21	99,65	99,50	99,56	98,93	99,03	99,05	98,75
S ppm	0	0	0	10	0	0	0	20	7110	5077	696
Cl	80	70	50	50	80	60	80	50	30	42	36
V	11	7	35	46	12	19	48	23	14	65	20
Cr	1	0	25	36	2	9	38	13	4	55	10
Ni	3	6	9	6	7	8	11	2	2	8	2
Cu	6	12	7	7	4	3	14	14	4	20	3
Zn	18	9	22	42	22	15	26	41	45	73	8
Ga	20	20	17	25	25	20	21	24	25	23	21
As	2	1	2	0	0	0	2	0	0	2	0
Rb	263	185	227	137	262	246	233	250	177	73	66
Sr	57	24	118	42	103	111	85	14	17	355	157
Zr	133	109	519	206	136	191	195	370	373	120	98
Nb	10	6	15	13	10	19	12	42	46	4	4
Mo	1	1	0	0	1	2	0	1	0	0	1
Ba	483	1435	1776	816	325	620	969	607	490	700	692
Pb	37	23	24	18	75	44	23	41	29	16	15
Bi	1	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0
La	38,7	55,2	25,0	52,6	44,9	21,3	47,3	71,9	76,2	18,1	14,4
Ce	66,8	91,0	62,4	86,9	83,0	85,8	82,7	139	151	34,4	26,5
Pr	6,71	7,86	6,19	8,66	8,69	4,93	8,08	15,7	16,9	3,78	2,96
Nd	21,5	23,4	23,3	28,2	28,0	16,8	25,6	57,5	61,5	14,0	10,0
Sm	3,64	3,23	5,14	4,54	4,86	3,14	4,17	10,9	12,3	2,47	1,63
Eu	0,28	0,41	0,93	0,55	0,49	0,36	0,58	0,98	1,22	0,72	0,37
Gd	3,44	2,97	5,33	4,32	4,61	2,75	3,94	11,3	12,8	2,08	1,35
Tb	0,54	0,40	0,81	0,66	0,62	0,43	0,59	1,79	1,97	0,31	0,13
Dy	2,84	2,02	4,15	3,30	3,29	2,32	2,85	10,4	11,4	1,62	0,57
Ho	0,59	0,39	0,78	0,68	0,66	0,48	0,59	2,19	2,27	0,34	0,12
Er	1,49	1,10	2,18	1,93	1,84	1,40	1,71	6,26	6,46	0,84	0,30
Tm	0,25	0,20	0,29	0,28	0,24	0,24	0,27	0,91	0,94	0,15	0,10
Yb	1,86	1,34	1,83	1,89	1,54	1,50	1,67	6,28	6,34	0,91	0,46
Lu	0,26	0,19	0,30	0,27	0,24	0,22	0,25	0,95	0,97	0,17	0,10

Näyte, karttalehti, sijainti, koordinaatit, kivilaji - Sample, map sheet, location, coordinates, rock type

- 1) 48.1-PHB-74, 2631 03C, Törmäsviita, x = 7363,840, y = 2507,830, arkosiitti - *arkosite*
- 2) 29.2-VAP-75, 2631 06C, Kujasvara, x = 7363,680, y = 2518,640, arkosiitti - *arkosite*
- 3) 81.2-BES-76, 2613 11A, Huitaperi, x = 7350,350, y = 2490,680, arkosiitti - *arkosite*
- 4) 14.1-HAS-74, 2631 05D, Kierovaara, x = 7359,210, y = 2516,260, graniitti - *granite*
- 5) 66.1-SKA-78, 2613 09D, Aavasaksa, x = 7366,460, y = 2487,980, graniitti - *granite*
- 6) 68.1-SKA-78, 2613 09D, Aavasaksa, x = 7366,370, y = 2487,700, graniitti - *granite*
- 7) K2631/98/R1/15.70, 2631 05D, Kierovaara, x = 7359,180, y = 2517,300, graniitti - *granite*
- 8) K2631/98/R5/18.80, 2631 05D, Kierovaara, x = 7358,200, y = 2518,170, kvartsimaasälpäliuske - *quartz-feldspar schist*
- 9) K2631/98/R7/16.60, 2631 05D, Kierovaara, x = 7357,830, y = 2518,350, kvartsimaasälpäliuske - *quartz-feldspar schist*
- 10) 9.3-JTV-76, 2631 01B, Rovavaara, x = 7345,160, y = 2496,760, hapan juoni - *felsic dike*
- 11) 77.2-JTV-76, 2631 01A, Rovavaara, x = 7342,770, y = 2501,330, hapan juoni - *felsic dike*

deemista Vikajärven karttalehdeltä (3614) Peräpohjan liuskejakson itäosasta (Hanski 2002). Niiden REE-jakauma on hyvin lähellä Väystäjän alueen felsisten kivien jakaumaa.

Yllä esitetty lantanideihin perustuva jaottelu kolmeen ryhmään toistuu myös Pearsonin ym. (1984) diskriminaatiodiagrammilla (kuva 38B). Siinä REE-rikkaimmat kivet



Kuva 38. (A) Törmäsjärven karttalehden (2631) felsisten kivien kondriittinormalisoituja REE-ja-kaumia. Vertailun vuoksi diagrammissa on lisäksi kolme arkosiittianalyysiä liuskejakson itäosasta Vikajärven (3614) karttalehdeeltä. (B) Sama aineisto Pearcen ym. (1984) diskriminaatiodiagrammil-la. VAG = vulkaanisen saarikaaren graniitti; ORG = orogeeninen graniitti; Syn-COLG = syn-kolli-sionaalinen graniitti; WPG = laatansisäinen graniitti.

Fig. 38. Chondrite-normalized REE patterns (A) and Rb vs. Y+Nb diagram (B) for felsic rocks from the Törmäsjärvi map sheet (2631). For comparison, three arkositic sedimentary rocks from the Vikajärvi map sheet (3614), eastern part of the Peräpohja Schist Belt, have also been plotted. Granite fields after Pearce et al. (1984).

(Väystäjän felsiset kivet ja arkoottiset metasedimentit) sijoittuvat laattojen sisäisten graniittien kenttään ja indikoivat A-tyypin graniitin koostumusta.

Metasedimentit

Kemiallisia analyysejä on tehty karttalehtialueiden kvartsiiteista, kiilleliuskeista ja mustaliuskeista (taulukot 11–15). Useimmat analysoidut **kvartsiitit** ovat hyvin puh-taita. SiO₂-pitoisuus on yleensä yli 85 % ja voi nousta jopa 97 %:iin. Kvartsiimaan muodostuman kvartsiitit ovat kaikkein puhtaimpia. Hivenaineiden pitoisuudet ja suh-teet eivät olennaisesti poikkea eri muodostumien kvartsiiteissa. Zirkoniumia kvartsi-iteissa on 50–120 ppm, ja niillä on suhteellisen korkea La_N (30–100) ja La_N/Yb_N (10–35) (kuva 39B). Joissakin arkoosikvartsiiteissa Zr voi nousta yli 200 ppm:n. Kahdes-sa Mellajoen sviitin vihertävässä kvartsiitissa kromipitoisuus on korkea (830 ja 950 ppm).

Kiilleliuskeet (fylliitit) ja **mustaliuskeet** ovat kemialliselta koostumukseltaan toi-saalta toistensa kaltaisia ja toisaalta hyvin vaihtelevia, sillä esimerkiksi SiO₂:n ja MgO:n pitoisuudet vaihtelevat laajoissa rajoissa (42–78 % ja 1,7–7,7 % vastaavasti) (kuva 39A). Magnesiumin ja kromin (80–340 ppm) runsaus viittaa siihen, että kivissä on huomattava, mutta vaihteleva mafinen komponentti (kuva 39A). Analysoiduissa mustaliuskeissa rikin ja hiilen konsentraatiot ovat väleillä 0,1–17,1 ja 0,2–11,5 %. Ni, Cu ja As yltävät kukin n. 300 ppm:n tasolle. Uraanilla ja hiilellä on positiivinen

Taulukko 11. Kvartsiittien kemiallisia koostumuksia. XRF- ja ICP-MS-analyysit (REE) GTK.
Table 11. Chemical compositions of quartzites. XRF and ICP MS analyses (REE) by GTK.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂ %	89,5	87,7	96,0	89,3	85,3	95,1	93,0	95,7	93,5	92,7
TiO ₂	0,04	0,11	0,02	0,10	0,14	0,06	0,03	0,02	0,16	0,12
Al ₂ O ₃	4,61	5,67	1,93	5,55	8,21	2,52	3,39	1,75	3,38	3,56
Fe ₂ O ₃ tot	0,64	1,37	0,35	0,54	0,70	0,29	0,68	0,37	0,68	0,95
MgO	1,10	1,41	0,03	0,65	0,72	0,00	0,14	0,44	0,24	0,33
MnO	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
CaO	0,97	0,15	0,11	0,57	0,04	0,04	0,01	0,31	0,03	0,06
Na ₂ O	0,02	0,00	1,13	0,01	0,03	1,54	0,00	0,00	0,25	0,50
K ₂ O	1,63	1,96	0,04	1,97	2,95	0,04	1,68	0,57	1,26	1,03
P ₂ O ₅	0,05	0,12	0,03	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02
Summa - Sum	98,6	98,5	99,6	98,7	98,1	99,6	98,9	99,1	99,5	99,3
S ppm	0	0	0	0	186	0	0	0	0	0
Cl	54	42	80	59	24	77	57	45	60	42
V	12	31	3	23	25	2	2	3	24	12
Cr	15	24	9	20	25	11	16	9	829	10
Ni	2	7	2	10	7	4	1	5	9	8
Cu	0	3	4	9	3	4	2	6	3	6
Zn	0	0	0	1	4	0	0	0	12	3
Ga	15	13	6	12	15	12	10	10	15	11
As	0	0	0	5	1	0	0	0	0	2
Rb	46	50	3	66	106	1	36	20	49	116
Sr	6	8	5	10	17	7	5	0	13	4
Zr	65	72	80	68	70	101	49	42	117	116
Nb	0	0	0	0	0	2	0	0	6	3
Mo	2	0	2	0	0	2	0	1	1	1
Sn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	164	510	59	134	220	245	167	124	251	193
Pb	8	9	8	5	14	11	11	7	13	7
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La	11,9	n.a.	7,53	n.a.	12,4	n.a.	n.a.	n.a.	25,3	15,5
Ce	23,3	n.a.	15,2	n.a.	23,2	n.a.	n.a.	n.a.	48,6	29,0
Pr	2,65	n.a.	1,55	n.a.	2,59	n.a.	n.a.	n.a.	5,30	3,49
Nd	9,88	n.a.	5,50	n.a.	9,22	n.a.	n.a.	n.a.	18,8	12,1
Sm	1,80	n.a.	1,05	n.a.	1,55	n.a.	n.a.	n.a.	2,84	1,79
Eu	0,34	n.a.	0,13	n.a.	0,32	n.a.	n.a.	n.a.	0,44	0,32
Gd	1,39	n.a.	1,05	n.a.	0,91	n.a.	n.a.	n.a.	2,31	1,41
Tb	0,15	n.a.	0,13	n.a.	0,12	n.a.	n.a.	n.a.	0,30	0,16
Dy	0,85	n.a.	0,91	n.a.	0,63	n.a.	n.a.	n.a.	1,13	0,87
Ho	0,15	n.a.	0,18	n.a.	0,12	n.a.	n.a.	n.a.	0,20	0,16
Er	0,47	n.a.	0,44	n.a.	0,30	n.a.	n.a.	n.a.	0,51	0,45
Tm	0,1	n.a.	0,1	n.a.	0,1	n.a.	n.a.	n.a.	0,1	0,1
Yb	0,43	n.a.	0,54	n.a.	0,41	n.a.	n.a.	n.a.	0,54	0,48
Lu	0,1	n.a.	0,1	n.a.	0,1	n.a.	n.a.	n.a.	0,1	0,1

n.a. ei analysoitu - not analysed

Näyte, muodostuma, karttalehti, koordinaatit - Sample, formation, map sheet, coordinates

- 1) 47.1-VAP-76, Palokivalo Fm, 2631 04, x = 7342,282, y = 2512,277
- 2) 15.1-VAP-79, Palokivalo Fm, 2631 10, x = 7349,578, y = 2536,933
- 3) 100.1-VAP-78, Kvartsimaa Fm, 2631 07, x = 7342,585, y = 2522,241
- 4) 104.1-VAP-78, Kaisavaara Fm, 2631 07, x = 7343,656, y = 2522,306
- 5) 105.1-VAP-78, Kaisavaara Fm, 2631 07, x = 7343,660, y = 2522,521
- 6) 113.3-VAP-78, Kvartsimaa Fm, 2631 07, x = 7342,942, y = 2522,370
- 7) 60.1-MOP-79, Palokivalo Fm, 2633 02, x = 7350,391, y = 2543,829
- 8) 48.1-VAP-76, Kvartsimaa Fm, 2631 04, x = 7340,956, y = 2512,674
- 9) 105.1-SKA-78, Mellajoki Suite, 2614 10, x = 7370,700, y = 2499,450
- 10) 275.2-JTV-76, Mellajoki Suite, 2613 12, x = 7368,821, y = 2498,082

Taulukko 12. Martimon muodostuman kivilajien kemiallisia analyysejä. XRF- ja hiilianalyysit GTK.
Table 12. Chemical compositions of metasediments of the Martimo Formation. XRF and carbon analyses by GTK.

%	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	49,30	71,20	61,60	77,50	72,10	55,80	71,00	56,70
TiO ₂	1,88	0,68	0,81	0,55	1,11	0,80	0,58	1,20
Al ₂ O ₃	14,00	9,96	14,60	7,24	10,60	16,50	10,90	14,70
Fe ₂ O ₃	11,80	6,67	7,77	4,88	7,11	10,30	5,88	9,28
MnO	0,20	0,05	0,03	0,04	0,08	0,07	0,04	0,04
MgO	7,93	3,78	4,32	3,66	1,70	4,95	3,70	4,58
CaO	7,80	1,46	0,43	0,71	0,31	0,57	2,04	2,32
Na ₂ O	3,22	1,64	2,11	0,72	1,09	0,95	2,14	2,87
K ₂ O	1,00	1,42	2,71	2,13	3,49	4,94	2,28	3,87
P ₂ O ₅	0,25	0,09	0,13	0,04	0,04	0,12	0,08	0,15
C	0,09	0,16	0,43	0,47	0,76	0,24	0,13	0,83
S	0,128	0,398	0,661	0,339	0,000	0,266	0,923	3,050
Summa - Sum	97,60	97,50	95,60	98,27	98,38	95,51	99,69	99,59
Cl ppm	100	80	60	40	60	30	50	60
V	193	150	184	133	151	218	118	254
Cr	267	200	198	105	146	226	162	136
Ni	284	94	115	52	29	151	85	99
Cu	57	40	71	50	8	123	61	82
Zn	171	109	144	87	34	154	99	171
Ga	24	16	24	19	19	36	23	27
As	136	98	37	26	2	3	1	39
Rb	24	65	112	71	88	209	91	113
Sr	192	78	31	24	18	61	95	62
Zr	104	90	130	95	540	126	124	171
Nb	22	8	8	4	24	11	14	14
Mo	0	0	0	1	0	0	2	9
Sn	4	0	0	0	0	0	0	0
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	186	181	371	231	582	707	309	300
Pb	45	24	20	21	17	21	28	34
Bi	1	0	4	0	0	0	0	0

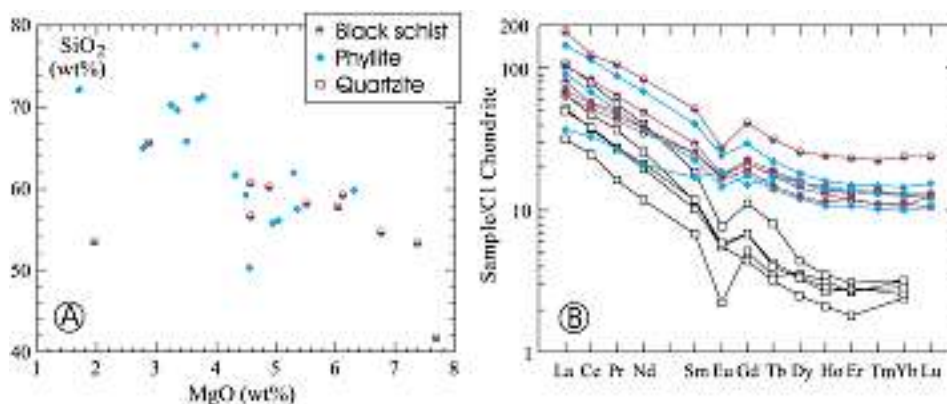
! = pitoisuus alle määritysrajan ! = value below detection limit

Näyte, karttalehti, sijainti, koordinaatit, - Sample, map sheet, location, coordinates

- 1) 37.1-HAS-74, 2631 05, Pesämaa, x = 7353,37, y = 2512,76
- 2) 55.1-HAS-74, 2631 05, Kaskimaa, x = 7351,59, y = 2519,31
- 3) 66.1-VP-72, 2631 08, Varevuoma, x = 7351,363, y = 2512,76
- 4) 29.1-JPR-73, 2631 08, Liekopalo, x = 7353,31, y = 2526,02
- 5) 66.1-BES-77, 2631 02, Pahkamaa, x = 7351,26, y = 2505,2
- 6) 87.1-BES-77, 2631 02, Honkamaanjängkä, x = 7350,64, y = 2502,61
- 7) 46.1-JTV-77, 2631 05, Kummunmaa, x = 7352,29, y = 2512,9
- 8) 122.1-JTV-77, 2631 05, Kivijärvi, x = 7356,78, y = 2517,98

korrelaatio, ja siksi hiilen pitoisuuden noustessa Th/U-suhde laskee ollen pienimmillään vain n. 0,5. Kaikissa peliiteissä MnO-pitoisuudet ovat yleensä < 0,1 %.

Kuva 39B esittää peliittisten sedimenttikivien kondrittiinormalisoituja lantanidi-pitoisuuksia. Mustaliuskeilla ja fylliiteillä on samanlainen keveistä lantanideista rikastunut ja raskaiden lantanidien suhteen melko tasainen jakauma, jolla on negatiivinen europiumanomalia.



Kuva 39. A. Törmäsjärven karttalehden kiilleliuskeiden ja mustaliuskeiden analyysijä SiO₂-MgO-diagrammilla.
B. Sedimenttikivien kondriittinormalisoituja lantanidikoostumuksia Törmäsjärven ja Koivun karttalehdiltä. Fylliitit ja mustaliuskeet ovat Martimon muodostumasta ja kvartsiitit Palokivalon, Kaisavaaran ja Kvartsimaan muodostumasta sekä Mellajoen sviitista.
Fig. 39. SiO₂ vs. MgO diagram (A) and chondrite-normalized REE patterns (B) for sedimentary rocks from the Törmäsjärvi map sheet. Phyllites and black schists represent the Martimo Formation and quartzites the Palokivalo, Kaisavaara, and Kvartsimaa Formations, and the Mellajoki Suite.

Taulukko 13. Martimon muodostuman kivilajien lantanidipitoisuuksia. ICP-MS-analyysit GTK.
Table 13. REE analyses of metasediments of the Martimo Formation ICP-MS analyses by GTK.

ppm	1	2	3	4	5
La	21,60	8,79	34,50	6,41	13,90
Ce	41,20	20,20	70,20	12,70	29,30
Pr	4,84	2,61	8,43	2,08	4,47
Nd	17,30	9,82	32,0	8,01	17,10
Sm	3,43	2,61	6,16	2,26	4,35
Eu	0,85	1,09	1,41	0,72	0,90
Gd	3,64	3,13	6,01	2,25	5,89
Tb	0,52	0,63	0,82	0,41	1,06
Dy	3,05	4,00	4,67	2,61	6,74
Ho	0,61	0,81	0,91	0,61	1,51
Er	1,77	2,31	2,49	1,98	4,45
Tm	0,26	0,33	0,38	0,34	0,66
Yb	1,69	2,16	2,46	2,76	4,52
Lu	0,27	0,31	0,39	0,41	0,68

Näyte, karttalehti, koordinaatit, kivilaji - Sample, map sheet, coordinates, rock type

- 1) 66.1-VP-72, 2631 08A, x = 7351,360, y = 2522,570, fylliitti - phyllite
- 2) 7.1-JTV-76, 2613 10C, x = 7344,100, y = 2496,300, fylliitti - phyllite
- 3) 122.1-JTV-77, 2631 05D, x = 7356,780, y = 2517,980, mustaliuske - black schist
- 4) K2633/95/R2/29.00, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,550, mustaliuske - black schist
- 5) K2633/95/R3/22,11, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,562, mustaliuske - black schist

Taulukko 14. Martimon muodostuman mustaliuskeiden kemiallisia analyysyjä. XRF- ja hiilianalyysit GTK.

Table 14. Chemical compositions of the rocks of the Martimo Formation. XRF and carbon (combustion technique) analyses by GTK.

%	1	2	3	4	5
SiO ₂	48,2	42,6	52,3	57,1	50,3
TiO ₂	0,577	0,713	1,06	1,13	0,942
Al ₂ O ₃	8,38	10,3	11,9	13,2	12,8
Fe ₂ O ₃ tot	14,9	16,7	10,5	8,44	10,2
MnO	0,045	0,044	0,043	0,047	0,161
MgO	3,84	5,68	6,03	4,63	5,00
CaO	0,694	0,425	3,38	2,14	4,31
Na ₂ O	0,80	0,30	0,89	0,87	1,53
K ₂ O	3,17	2,63	3,77	3,88	2,37
P ₂ O ₅	0,161	0,138	0,154	0,131	0,090
Summa - Sum	80,79	79,40	90,14	91,55	87,71
S	10,0	9,97	0,669	1,05	1,12
Cl	0,005	0,009	0,004	0,004	0,004
Sc	0,0007	0,0016	0,0015	0,0020	0,0018
V	0,0434	0,1012	0,0163	0,0199	0,0163
Cr	0,0091	0,0141	0,0114	0,0149	0,0126
Ni	0,0376	0,0477	0,0068	0,0097	0,0099
Cu	0,0216	0,0200	0,0108	0,0081	0,0082
Zn	0,0666	0,0406	0,0124	0,0131	0,0111
Ga	0,0016	0,0021	0,0038	0,0024	0,0023
As	0,0185	0,0248	0,0002	0,0000	0,0001
Rb	0,0073	0,0067	0,0116	0,0105	0,0077
Sr	0,0037	0,0032	0,0036	0,0024	0,0057
Y	0,0049	0,0016	0,0027	0,0028	0,0017
Zr	0,0110	0,0094	0,0226	0,0179	0,0132
Nb	0,0011	0,0009	0,0036	0,0023	0,0012
Mo	0,0060	0,0116	0,0000	0,0002	0,0002
Sn	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,0194	0,0257	0,0153	0,0218	0,0197
La	0,0024	0,0011	0,0033	0,0018	0,0021
Ce	0,0021	0,0010	0,0025	0,0031	0,0016
Pb	0,0052	0,0050	0,0019	0,0020	0,0028
Bi	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
Th	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0005
U	0,0005	0,0008	0,0001	0,0003	0,0002
C	11,5	10,9	1,61	1,66	3,03

Näyte, karttalehti, koordinaatit - Sample, map sheet, coordinates

- 1) K2633/95/R2/29,00, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,620
- 2) K2633/95/R3/22,10, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,550
- 3) K2633/98/R2/20,10, 2633 03B, x = 7366,440, y = 2543,080
- 4) K2633/98/R3/10,50, 2633 03B, x = 7366,320, y = 2543,140
- 5) K2633/98/R4/14,80, 2633 03B, x = 7366,240, y = 2543,140

Taulukko 15. Martimon muodostuman mustaliuskeiden kemiallisia analyyskejä. Kuningasvesiliuotus. ICP-AES-analyysit GTK.

Table 15. Chemical compositions of the rocks of the Martimo Formation. Aqua Regia leaching. ICP-AES analyses by GTK.

	1	2	3	4	5
Ag (ppm)	2	1	1	1	1
Al %	2,95	1,86	3,5	3,95	2,51
As (ppm)	200	291	317	251	51
B (ppm)	11	5	10	10	4
Ba (ppm)	87,80	44,2	61	59,2	76,6
Ca %	0,21	0,22	0,25	0,22	0,3
Cd (ppm)	2,50	2,5	0,5	1,3	0,5
Co (ppm)	39,40	42,1	41,3	41,9	45,6
Cr (ppm)	132	97,3	109	135	194
Cu (ppm)	314	214	131	278	88,5
Fe %	13,10	20,3	19,7	15,8	10,3
K %	1,24	0,88	0,82	0,97	1,2
La (ppm)	27,60	24,9	2,1	3,3	14,5
Li (ppm)	50,30	37,4	65,5	63,9	43,1
Mg %	3,11	1,96	4,44	3,11	2,68
Mn (ppm)	409	282	346	313	387
Mo (ppm)	77,10	74,1	90,4	98,8	12,5
Na %	0,03	0,05	0,03	0,03	0,09
Ni (ppm)	408	542	566	470	174
P (ppm)	543,00	698	549	592	598
Pb (ppm)	41,00	69	57	49	47
S (ppm)	115000	171000	151000	129000	69500
Sb (ppm)	14,00	24	11	15	8
Sc (ppm)	15,90	11,5	11,2	16	8
Si %	0,09	0,07	0,07	0,08	0,09
Sr (ppm)	4,90	5,1	5	4,6	8,6
Th (ppm)	19,00	26	23	18	18
Ti (ppm)	566	544	340	435	709
V (ppm)	796	452	659	832	192
Y (ppm)	12,70	27,3	9,5	8,8	12,3
Zn (ppm)	881	247	462	682	98
Au (ppb)	2	1	1	1	5

Näyte, karttalehti, koordinaatit - *Sample, map sheet, coordinates*

- 1) K2633/95/R2/22,10, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,620
- 2) K2633/95/R2/31,90, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,620
- 3) K2633/98/R3/24,30, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,550
- 4) K2633/98/R3/24,30, 2633 03B, x = 7366,420, y = 2542,550
- 5) K2633/98/R5/44,30, 2633 03B, x = 7366,400, y = 2541,680

Kordieriitti-antofylliittikivet

Koivun karttalehden koillisnurkkaukseen sijoittuvat kordieriitti-antofylliittikivet ovat kemialliselta koostumukseltaan Mg-rikkaan basaltin tai basalttisen andesiitin kaltaisia: MgO-pitoisuus on 12,3–13,3 % ja SiO₂-pitoisuus 49,6–53,8 %. Moni pääal-

kuaine ja hivenalkuaine on basalttiseen vulkaniittin tai gabroon verrattuna myös normaalitasolla (esim. TiO_2 1,2–1,7 %, Cr 190–250 ppm). Poikkeuksena ovat kuitenkin anomaalisen alhaiset MnO- (0,04 %) ja CaO-pitoisuudet (0,6–1,6 %).

RAKENNE JA METAMORFOOSI

Törmäsjärven karttalehtialueen poikki kulkee selvä tektoninen vyöhyke, jonka luoteispuolella on voimakkaasti metamorfoituneita ja deformatuneita gneissejä sekä syväkiviä, kun taas eteläpuolella on heikosti tai kohtalaisesti metamorfoituneita liuskeita, joiden primäärirakenteet ovat hyvin säilyneet. Tämän vyöhykkeen kivilajien alkuperä on tulkinnanvarainen. Ulkonäöltään ne ovat vahvasti hiertyneitä, ja niissä on silmäkkeinä vaaleaa maasälpää ja sinertävää kvartsia. Ne muistuttavat hapanta vulkaniittia, kvartsiporfyryä, mutta ovat ilmeisesti kuitenkin myloniittituneita graniitin reunamuunnoksia. Tälle vyöhykkeelle ja etelämmäksikin sijoittuu ilmeisesti useita ylityöntösiirroksia.

Kartoituksen aikana havaittiin Törmäsjärven karttalehden koillisosassa 10 kilometrin matkalla monessa kvartsiittipaljastumassa selvää breksiaa, jonka murtokappaleet ovat terävarajaisia ja kulmikkaita. Nämä kappaleet ovat tiukasti kiinni toisissaan; pienirakeisempaa välimassaa on hyvin niukasti (kuva 11). Nämä breksiat on tässä vaiheessa tulkittu syntyneen Peräpohjan liuskealueen ja Keski-Lapin granitoidikompleksin saumavyöhykkeeseen tektonisten liikuntojen vaikutuksesta. On myös esitetty, että rakenteet saattavat johtua meteoriitin iskusta (T. Mutanen, suullinen tiedonanto 2001).

Törmäsjärven karttalehdellä Palokivalon muodostuman kvartsiitin topin suunnat ovat miltei poikkeuksetta pohjoisen-luoteen suunnalla. Vain Susivaaran seudulla (2631 04A) kvartsiitti muodostaa selvän antiklinipoin, jonka eteläreunalla on siirros. Samanlainen siirros on tästä lounaaseen Korttovaaran (2631 01C) etelärinteessä. Myös Luppovaarassa ja siitä itään Pisavaaraan on kvartsiittivaarojen etelärinteessä siirros. Karttalehtialueen eteläreunassa on selvät, länteen avautuvat synkliinit Korttovaarassa ja Taskunmaanvuomassa (2631 04A), missä kallioperän muodostavat Joutti-aavan vulkaniitti ja Kvartsimaan kvartsiitti. Kaisavaaran eteläpuolella on pitkä, kapea synkliini, jossa on näkyvissä kaikki Kivalon ryhmän muodostumat Palokivalon kvartsiitista lähtien. Synkliinin pohjoisreuna rajautuu siirroksiin. Tämä synkliini jatkuu itään Koivun karttalehden alueelle ja pienen Kemijoen kohdalle sattuvan kulminaatiokohdan jälkeen itäpuoliselle Inginkivalon (3611) lehden alueelle.

Koivun karttalehdellä Palokivalon kvartsiitit muodostavat laajoja, avoimia, yleensä loivia poimuja. Vain Hanhivaaran seudulla (2633 08D) on tiukempi antiklinipoinmu. Karttalehden keski- ja itäosassa on runsaasti siirroksia, jotka sopivien paljastusten puuttuessa on piirretty paljolti geofysikaalisten karttojen perusteella.

Törmäsjärven karttalehden eteläosan kivissä on tyypillinen vihreäliuskefasieksen mineraalikoostumus. Kivilajien (tuffiitit, fylliitit) raekoko on tosin usein niin pieni, ettei mineraalien tunnistaminen mikroskooppilakaan aina onnistu. Emäksisten vulkaniittien päämineraalit ovat albiitti, kloriitti ja epidootti. Diabaaseissa on näiden lisäksi usein magnetiittia, joskus myös kvartsia. Dolomiiteissa mineraalipari dolomiitti ja kvartsi on pysyvä, ja niiden ainoa metamorfinen mineraali on serisiitti tai talkki.

Törmäsjärven karttalehden keskiosassa deformaatio on kohtalaista ja metamorfoosiasteikin korkeampi, mutta primäärirakenteet, kuten kerroksellisuus ja kerrallisuus, ovat silti säilyneet. Savisyntyisiin kiviin on syntynyt 0,5–3 cm suuruisia, pyöreähköjä kordieriittiporfyroblasteja. Samaten niissä on biotiittia joko 0,3–2 mm kokoisina suomuina (kuva 26) tai pienisuomuisina täplinä. Väystäjänseudulla (2631 02) on vulkaniiteissa ja karbonaattisedimenteissä suuria granaattikiteitä.

Törmäsjärven karttalehden luoteisosan granitoidikompleksiin luetuissa kiillegneisseissä on kvartsin, maasälpien ja biotiitin lisäksi usein granaattia. Kiillegneissien primäärirakenteet ovat kadonneet, eikä näiden gneissien alkuperäinen sedimenttiluonnetakaan ole kiistaton. Karbonaattisedimenteissä on tremoliittia ja paikoin myös diopsidia ja granaattia.

Pääosa Koivun lehden kivilajeista on hyvin säilyneitä. Deformaatio on heikkoa ja metamorfoosiaste alhainen. Länsireunan Martimon muodostumaan kuuluvissa kiilleliuskeissa on porfyroblasteina kordieriittia ja biotiittia sekä paikoin myös andalusiiittia. Lehden kaakkoisnurkassa (2633 07C) on Poikkimaan muodostuman epäpuhtaisiin karbonaattisedimentteihin syntynyt tummaa, säteittäisinä kimppuina esiintyvää amfibolia. Karttalehden keskiosassa Isonkivenmaassa (2633 05D) on ilmeisesti paikallisia dolomiittilohkareita, joissa on vaaleaa tremoliittia ja punertavaa skapoliittia. Samalla alueella on skapoliittia tavattu myös epäpuhtaissa kvartsiittilohkareissa pyöreäköinä, 0,5–1 cm kokoisina porfyroblasteina.

Koivun karttalehden koillisnurkassa (2633 09D) tavataan kvartsiittien, vulkaniittien ja diabaasien yhteydessä karkearakeisia kivilajeja, joiden metamorfoosiaste on korkeampi. Niiden mineraalit ovat kordieriitin ja kummingtoniitti-antofylliitin lisäksi kloriitti, plagioklaasi ja kvartsi. Kordieriitti esiintyy paikoin suurina, jopa 30 cm pitkinä, sulkeumien täyttiminä kiteinä. Näiden kivilajien joukossa on kiilleliuskekerroksia, joissa on pyöreäköjä kordieriittiporfyroblasteja. Tämä vyöhyke jatkuu länsiluoteeseen Sinetän (2634) ja Meltosjärven (2632) lehdille ja toisaalta itään Inginkivalon (3611) lehden puolelle. Näiden antofylliittia ja kordieriittia sisältäviä kivilajeja on pidetty diabaasien muuttumistuloksina (Härme ja Perttunen 1971), mutta niiden alkuperää ei ole toistaiseksi luotettavasti selvitetty.

ISOTOOPPIGEOLOGIA JA RADIOMETRISET IÄT

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien alueen radiometriset iät on äskettäin julkaistu (Perttunen & Vaasjoki 2001). Analyysiin on käytetty zirkonia, baddeleyiittia ja titaniittia. Näytteet ovat enimmäkseen kvartsiittiympäristössä esiintyvistä diabaasi-juonista. Pääosa juonista sijoittuu yleiseen, noin 2,2 miljardia vuotta vanhaan ikäryhmään. Muutamasta diabaasi-juonesta on saatu noin 100 miljoonaa vuotta nuorempi ikä. Kvartsimaan muodostumaa leikkaavista diabaaseista (2631 11A ja 2633 02A) ei ole saatu separoituksi riittävää määrää uraanipitoista mineraalia analyysiä varten.

Kivalon ryhmän kvartsiittien detritaalien zirkonirakeiden isotooppianalyysistä on käsitelty edellä mainitussa artikkelissa. Tulokset osoittavat, että kvartsiittien lähtöaines on ainakin pääosin arkeeista.

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien alueelta on tutkittu karbonaattikivien hiilen isotooppeja (Karhu 1993; Kortelainen 1998). Analysoitujen näytteiden ^{13}C -kauma on selvästi kaksijakoinen. Kaikissa Kivalon ryhmän näytteissä on selvä, positiivinen ^{13}C -anomalia, jonka arvo on $+ 6,3 - + 10,1$ (J. Karhu, henkilökohtainen tiedonanto 1998), kun taas Väystäjän muodostumassa arvot ovat lähellä nollaa.

Jyrövänsan (2631 08) alueella on paljastuneena parikymmentä päällekkäistä Jouttiaavan muodostuman laavapatjaa. Kemiallisesti ne ovat tholeiittisia basalteja. Laavapatjojen pääalkuaineiden erot ovat suhteellisen pienet, mutta hivenalkuaineiden pitoisuudet eroavat selvästi. Samariumin ja neodyymin isotooppisuhteiden perusteella Jouttiaavan laavojen iäksi on laskettu 2103 ± 50 miljoonaa vuotta ϵ_{Nd} (2090)-arvon ollessa $+4,2$ (Hölttä ym. 2003).

GEOLOGINEN KEHITYS

Törmäsjärven tai Koivun karttalehtien alueella ei ole tavattu Peräpohjan liuskealueen alustana olevia arkeoisia Pudasjärven graniittigneissikompleksin kivilajeja, vaan kaikki kivilajit ovat iältään paleoproterotsooisia. Liuskealueen muodostumat on jaettu Kivalon ja Paakkolan ryhmiin. Kivalon ryhmään kuuluu vuorottelevia sedimenttisyntyisiä ja vulkaanisperäisiä kerrostumia. Sedimenttimuodostumissa pääkivilajeina ovat dolomiitti ja kvartsiitti, joissa on ohuita silttivalikerroksia. Paakkolan ryhmä koostuu turbidiittisista grauvalakoista (Martimon muodostuma) sekä emäksistä vulkaaniiteista, joista osa on tuffiitteja, osa tyyny-laavoja (Väystäjän ryhmä).

Analysoitujen zirkonifraktioiden isotooppien perusteella Kivalon ryhmän kaikkien kvartsiittimuodostumien lähtöaines on ainakin pääosin arkeista. Erillisiä zirkonirakeita ei ole analysoitu, joten kerrostumisen ajankohtaa ei tarkemmin tunneta. Joka tapauksessa kvartsiitit ovat nuorempia kuin kerrosintruusioiden, joiden ikä on noin 2,45 miljardia vuotta. Ainakin osa Palokivalon muodostuman kvartsiiteista on vanhempia kuin 2,2 miljardia vuotta vanhat kerrosjuonet. Kvartsimaan ja Rantamaan muodostuman kvartsiitit ovat puolestaan nuorempia kuin Jouttiaavan muodostuman laavat, joiden ikä on lähellä 2,1:tä miljardia vuotta.

Ristikerrokset ovat yleisiä kaikissa Kivalon ryhmän sedimenttimuodostumissa. Palokivalon muodostuman kvartsiiteissa ristikerrokset ovat tasotyyppejä, ja materiaali on kulkeutunut yhdestä suunnasta meren rannalle. Stratigrafisesti ylempänä olevissa dolomiittien välikerroskvartsiiteissa on ns. silliruotorakennetta. Tällainen rakenne on tavallista vuorovesirannikoilla. Dolomiittien moninaiset alkuperäiset sedimenttirakenteet osoittavat niiden kerrostuneen matalan meren vuorovesiympäristössä (Kortelainen 1998).

Palokivalon ryhmän sedimenttimuodostumien välissä on säännöllisesti vulkaanisia muodostumia. Mantelirakenne osoittaa Runkauksen ja Jouttiaavan muodostuman laavojen purkautuneen kuivalle maalle. Dolomiittimuodostumien välissä sijaitsevat tuhkat ovat kerrostuneet matalaan veteen.

Rantamaan muodostuman yläosan karbonaateissa on dolomiitin lisäksi kalsiittia (Kortelainen 1998). Myös niiden sedimenttirakenteet viittaavat syvempään kerrostumisympäristöön.

Kivalon ryhmän kivilajit ovat siis syntyneet kuivalle maalle tai matalaan veteen. Sedimentaatioallas on alkanut syventyä jo Rantamaan muodostuman karbonaattien kerrostumisen loppuvaiheessa. Paakkolan ryhmän kivilajit ovat puolestaan kerrostuneet syvään veteen. Tämän osoittavat kiilleliuskeiden ja grauvakkojen turbidiittirakenteet sekä Väystäjän muodostuman laavojen tyynylaavat. Näiden muodostumien iästä ei ole tarkkoja lukuja. Tulevaisuuden SIMS-analyysit tuonevat valaistusta tähänkin asiaan.

Keski-Lapin granitoidikompleksin pintasyntyisistä kivilajeista ei ole ikätietoa. Niiden suhde Peräpohjan liuskealueen muodostumiin on epäselvä. Kontaktivyöhykkeen monenlaiset deformatuneet kivet viittaavat näiden yksiköiden tektoniseen kontaktiin. Kvartsi-maasälpägneissien ja Väystäjän muodostuman happaman vulkaniitin kemiallinen samankaltaisuus antaa mahdollisuuden näiden kivilajien synnyn muillekin tulkinnoille.

Taloudelliset aiheet

Outokumpu Oy louhi 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa Kivimaan esiintymästä Törmäsjärven karttalehden kaakkoisosasta (2631 10D) kulta- ja kuparimalmia. Kaikkiaan louhittiin 18 000 tonnia malmia, jonka keskipitoisuus oli 1,2 % kuparia ja 2 ppm kultaa. Malmimineraalit ovat karkeaa kvartsia ja kalsiittia sisältävässä juonessa (Rouhunkoski & Isokangas 1974). Sekä Outokumpu Oy että myöhemmin Geologian tutkimuskeskus ovat jatkaneet malminetsintää Kivimaan ympäristössä (Rossi 1993) ja idempänäkin Koivun lehden alueella. Petäjäskosken länsipuolelta löytyi kuparimineralisaatio diabaasin ja kvartsiitin kontaktivyöhykkeestä (Korvuo 1982). Vinsan ympäristöstä (2633 02) paikannettiin kuparikiisua sisältävä, noin metrin vahvuinen diabaasia leikkaava kvartsijuoni (Reino 1973; Äyräs 1987), mutta taloudellisia kulta-kupariaiheita ei etsinnöistä huolimatta ole toistaiseksi löydetty (Rossi 1998). Viime vuosina on tutkittu Jouttiaavan muodostuman laavoja, joissa on monin paikoin havaittu merkittäviä määriä kuparihohdetta.

1960-luvulla lähetettiin Törmäsjärven karttalehden länsiosasta lukuisia molybdeenin sisältäviä kansannäytelohkareita. Näiden johdosta aloitettujen tutkimusten tuloksena GTK paikansi Kallijärven rannalla (2631 02D) pienen esiintymän, jossa karkearakeista molybdeenihohdetta on gneissien vahvoissa kvartsijuonissa (Yletyinen 1967). Hyviä lohkarkeitä on löydetty viime vuosinakin niin runsaasti, että molybdeenia on syytä edelleenkin etsiä Peräpohjan liuskealueen ja Keski-Lapin granitoidikompleksin saumavyöhykkeestä.

Rautaruukki Oy tutki 1970-luvulla Luppovaaran (2631 11C) pohjoispuolisen Mustamaan alueen aeroradiometristä anomaliaa (Yrjölä 1982). Mielenkiintoisimmat uraanipitoisuudet havaittiin hiili- ja fosforipitoisissa liuskeissa, joita on Palokivalon ryhmän karbonaattia sisältävien sedimenttien päällä Paakkolan ryhmän hiili- ja karbonaattipitoisissa liuskeissa. On arvioitu, että Mustamaassa on noin 500 m pitkässä ja 10–40 m vahvassa vyöhykkeessä kiveä, joka sisältää 0,01–0,03 % urania ja 0,9–3,4 % P_2O_5 (Äikäs 1989).

Karttalehtialueen voimakkain uraanisäteilyanomalialla on Hanhivaarassa (2633 08). Samalla Palokivalon muodostuman kvartsiittialueella ovat muuten seudun ainoat kvartsipalloiset konglomeraatit.

Koivun karttalehdellä sijaitsevaa Louepalon dolomiittiesiintymää (2633 01B) on hyödynnetty ensimmäisen kerran 1950-luvun lopulla, jolloin tätä marmoria käytettiin muun muassa Helsingissä sijaitsevan Autotalon ulkoseiniin. Louhintaa on jatkettu useaan otteeseen. Tätä kauppanimellä Lappia Ruska tunnettua marmoria on käytetty monessa kohteessa eri puolella Suomea, esimerkiksi Tornion kaupungintalossa.

Törmäsjärven lehden silmägneissimäisiä graniitteja on tutkittu mahdollisena rakennuskivenä. Ulkonäöltään ja teknisiltä ominaisuuksiltaan monet niistä ovat kelloja (kuva 40), mutta ongelmana ovat lukuisat kvartsijuonet sekä tummat, kiilletty sisältävät sulkeumat. Tähän mennessä jalostukseen on toimitettu graniittia jonkin verran Kierovaarasta (2631 05D). Pääosin on kuitenkin hyödynnetty suuria, paikallisia lohkeita, joiden kiviaines on ehjää ja tasalaatuisempaa.

Karttalehtien alueiden kallioperässä on runsaasti kvartsiittia ja kiilleliusketta. Näitä Peräpohjan liuskealueen tyypillisiä kivilajeja on perinteisesti käytetty paikallisesti laattakiven tuotantoon, mutta kelloja tyyppejä ei Törmäsjärven eikä Koivun karttalehtien alueelta ole tähän mennessä löydetty.

Karttalehtialueiden tuffiittia on jo kivikaudella käytetty monenlaisten työkalujen – talttojen, kaapimien, kirveiden ja tuurien – valmistamiseen. Tuffiittia hyödynnetään nykyään pienimuotoiseen koru- ja koriste-esineiden valmistamiseen (Lindell 1993).



Kuva 40. Keski-Lapin granitoidikompleksin kiillotettua silmägneissimäistä graniittia.
Fig. 40. Polished slab of augen gneiss from the Central Lapland Granitoid Complex
Kierovaara, Ylitornio. 2631 05d. x = 7358,400; y = 2515,900.
Kuva – Photo – Reijo Lampela.

Kiviaines

Kiviaineksen perusteella karttalehtien alue jakautuu kahtia. Törmäsjärven lehden luoteisosan kallioperä koostuu granitoideista sekä voimakkaasti metamorfotuneista ja osin migmaattisista gneisseistä. Granitoidit ovat karkearakeisia ja selvästi suuntautuneita (kuva 9). Kiviainesta on saatavissa runsaasti, mutta se on enimmäkseen melko huonolaatuista. Gneissien lujuusominaisuudet vaihtelevat huomattavasti ja yllättävästi, joten laadukkaan kiviaineksen saanti tältäkin alueelta on epävarmaa.

Peräpohjan liuskealueen kivilajien lujuus ei vaihtelee yhtä oikukkaasti kuin Keski-Lapin granitoidialueella. Kvartsiittia on runsaasti. Sitä on varsinkin vaara-alueilla, ja siinä mielessä sitä on helposti hyödynnettävissä. Kvartsiittien kiviaineksen laatu on enimmäkseen kohtalainen. Jouttiaavan muodostuman emäksisten laavojen kiviaines on paikoin hyvinkin laadukasta. Esimerkiksi Ossauskosken voimalaitoksen alakanavasta (2633 04) louhittu kiviaines on kestänyt hyvin vilkkaasti liikennöidyn nelostien liikennettä. Samoin Tikanmaan ja Hirsimaan sekä mahdollisesti myös Lamulehdon muodostumien sitkeät, joskin pehmeät emäksiset tuffiitit saattavat kiviainekseltaan olla käyttökelpoisia.

Karttalehtien alueilla on runsaasti dolomiittia. Sen kiviaines on pehmeää, joten sillä on käyttöä vain erikoiskohteissa, kuten betonielementtien pinnoitteena. Ulkoseinissä värin muuttuminen kellertävästä ja vaaleanharmaasta ruskeaksi saattaa tässä suhteessa olla haitallista. Kiilleliuskeista tuskin on saatavissa laadukasta mursketta. Haittana ovat raekoon vaihtelut, kvartsisuonet sekä kiisuja ja grafiittia sisältävät välikerrokset.

Karttalehtien alueella on runsaasti diabaasijuonia. Tällä hetkellä alueella on kolme toimivaa kivilouhosta, joista kaksi sijaitsee Koivun lehden koillisnurkassa (2633 09D) ja kolmas Pukinselässä lehden keskellä (2633 04B). Kaikista niistä louhitaan diabaasia murskeeksi.

KIVILAJIEN PETROFYSIKAALISIA OMINAISUUKSIA

Törmäsjärven ja Koivun karttalehtien aerogeofysikaalisilla matalalentokartoilla on näkyvissä hyvin selvät, jatkuvat anomaliat (kuvat 4 ja 5). Kivilajiyksiköiden magneettiset susceptiivisuudet poikkeavat toisistaan huomattavasti. Niinpä pelkästään geofysikaalisten parametrien avulla on pyritty selvittämään alueen geologista rakennetta (Säävuori 1987). Kivalon ryhmän sedimenttisyntyisten kivilajien (kvartsiitit, dolomiitit) susceptiivisuus on poikkeuksetta pieni, ja näiden kivilajien alueet erottuvat hyvin aeromagneettisilla kartoilla. Kivalon ryhmän mantelirakenteisten laavojen (Runkauksen ja Jouttiaavan muodostumat) susceptiivisuus on kohtalainen. Jouttiaavan vulkaniittimuodostuman ala- ja yläosat ovat selvästi magneettisempia kuin sisäosat. Santalammen muodostuman kivilajien susceptiivisuus on suuri; 80 000–200 000 μSI , ja tämä yksikkö erottuukin yhtenäisenä, hyvin selvänä positiivisena anomaliana, kuten myös Kivalon ryhmän emäksiset tuffiitit (Tikanmaan, Hirsimaan ja Lamulehdon muodostumat).

Suurimmat susceptiivisuusarvot on mitattu diabaasijuonista. Varsinkin Palokivalon kvartsiiteissa olevat diabaasijuonet erottuvat magneettisella kartalla hyvin. Monilla kvartsiittialueilla on selviä, kapeita, jatkuvia heikkoja anomaliavyöhykkeitä. Usein niistä on löytynyt diabaasipaljastuma tai paikalliselta vaikuttava lohkarieppo, mutta jokunen kvartsiittialueen diabaasi on piirretty pelkästään magneettisen kartan perusteella.

Paakkolan ryhmän kiilleliuskeiden susceptiivisuus on suhteellisen pieni, mutta ohuet mustaliuskevälakerrokset aiheuttavat magneettisellakin kartalla juovitusta. Väystäjän muodostuman vulkaniitit erottuvat Törmäsjärven karttalehden keskiosassa positiivisina aeromagneettisina anomaliaina.

Selviä elektromagneettisia anomaliaita on lähinnä Paakkolan ryhmän kivilajien alueella. Martimon muodostuman grauvalkkojen ja kiilleliuskeiden kiisuja ja hiiltä sisältävät sedimenttikerrokset näkyvät kartalla johdevyöhykkeinä. Törmäsjärven karttalehden kaakkoisosassa on selviä anomaliaita, jotka jatkuvat voimistuvina Koivun lehden puolelle. Niiden kallioperä on heikosti paljastunutta, mutta havaintojen perusteella anomalia johtuu hiilipitoisista Martimon muodostuman liuskeista.

Törmäsjärven lehdellä (2631 04, 07, 10) kvartsiittia leikkaavat suorat, kapeat, lounais-koillissuuntaiset elektromagneettiset anomaliat (kuva 4). Niiden kohdalta puuttuvat kalliopaljastumat eikä lohkarieppotakaan paljasta johdevyöhykkeiden aiheuttajaa. Ne on merkitty geologiselle kartalle ruhjeina, mutta näiden anomalioiden selvittäminen edellyttäisi kairausta. Koivun lehden lounaisosassa on sähköisiä anomaliaita paljastumattomalla alueella. Geologisen kartan mukaan alueen kallioperä on kvartsiittia, joka tuskin on anomalian aiheuttaja. joten johteiden aiheuttajaa voidaan tois-
taiseksi vain arvailla.

GEOLOGISIA RETKEILYKOhteita

Kätkävaara (2633 01B, x = 7449,570; y = 2542,020).

Ristikerroksia ja aallonmerkkejä Palokivalon muodostuman kvartsiitissa. Kätkävaaran etelärinteessä on suuria, punertavia kvartsiittikallioita, joissa on miltei joka kohdassa selviä ristikerroksia. Myös aallonmerkkipintoja on havaittavissa. Itä-läntisiä, pohjoiseen kaatuvia kerroksia leikkaa jyrkkäasentoinen liuskeisuus, joka näkyy etenkin kvartsiitin pienirakeisemmissä, usein violetinvärisissä välikerroksissa.

Santalampi (2631 07D, x = 7345,630; y = 2527,600).

Kaisavaaran muodostuman yläosan konglomeraattia. Laajalla alueella on runsaasti suuria, paikallisia konglomeraattilohkareita, joiden hyvin pyörityneet pallot ovat lähinnä kvartsia ja kvartsiittia. Iskos on karkeaa arkoosia ja paikoin myös dolomiittia (kuva 6). Alueelle on maantieltä matkaa pari kilometriä, osaksi metsäautotietä ja osaksi tietöntä risukkoa.

Isolehto (2631 10B, x = 7346,370; y = 2530,730).

Santalammen muodostuman tyynylaavaa suurina lohkarieppina sähkölinjan varressa (kuva 7).

Peura (2633 04A, x = 7342,455; y = 2553,160)

Kerroksellista ja kerrallista Tikanmaan muodostuman tuffiittia. Suuria kallioita on valtatie varressa heti tien pohjoispuolella. Kallion pinnalla näkyvät tuffiitin selvät kerrosrakenteet (kuva 21) ovat katoamassa jäkäläpeitteen alle.

Peuranpalo (2633 04A, x = 7343,900; y = 2551,460).

Stromatoliittirakennetta, kuivumisrakoja, aallonmerkkejä ja ristikerroksia. Kallioita on 20 x 25 m:n alueella metsäautotien länsipuolella. Suuria, kaari- ja pylväsmäisiä stromatoliitteja paljastuma-alueen eteläosan dolomiittikallioiden pystypinnoilla. Dolomiitti on selväkerroksista ja kellertävää. Paljastuma-alueen pohjoisreunan dolomiitissa on harmaita, klastisia kvartsiittivälikerroksia, joissa on selviä ristikerroksia ja aallonmerkkejä, sekä ohuita fylliittikerroksia, joissa on näkyvissä kuivumisrakoja.

Peuranpalo (2633 04A, x = 7344,420; y = 2551,430).

Pylväsmäisiä stromatoliitteja, jotka näkyvät dolomiitin kerrospinnoilla pyöreinä kupoleina. Paljastumat ovat synkässä kuusikossa ja sammaloitumassa, mutta lähistön kallioista on löydettävissä uusia vastaavia stromatoliittikohteita. Pohjoispuolella on dolomiittikallioiden välissä vahva valkoinen ortokvartsiittikerros, jossa on ristikerroksia.

Peuranpalo (2633 04B, x = 7345,070; y = 2551,030).

Pylväsmäisiä stromatoliitteja, jotka kasvavat vinosti kerrosten suhteen. Stromatoliittipylväiden pyöreähköt yläpäästä näkyvät kauniisti kerrospinnalla (kuva 22). Paljastumat ovat taimettuvassa hakkuuaukossa, ja rakenteet säilynevät näkyvissä jonkin aikaa.

Kaskimaa (2631 05B, x = 7351,199; y = 2516,672).

Metsäautotien itäpuolella itä-läntinen kallioselänne, jossa on vahvoja Martimon muodostuman turbidiittisia grauvalakerroksia. Tässä kohteessa on myös näkyvissä selviä konkreetioita (kuva 24).

Kuijasvaara (2631 06C, x = 7364,350; y = 2517,130).

Kuijasvaaran länsirinteessä on suurina, laakeina paljastumina karkeaa, silmägneissimäistä, suuntautunutta graniittia. Runsas kvartsijuonisto on tyypillistä tälle kivilajille. Samaa graniittia on louhittu rakennuskivenä Kierovaarasta noin viisi kilometriä etelälounaaseen (kuva 40).

Sukulanrakka (2633 09D, x = 7368,370; y = 2555,50).

Sukulanrakan etelärinteessä on näkyvissä kordieriitti-antofylliittikiveä. Tähän pehmeään kivilajiin on jääkauden loppuvaiheessa kovertunut useita hiidenkirnuja, joista 15-metrinen (kuva 13) on syvin tähän mennessä Suomesta löydetty. Paikalle johtaa metsäautotie.

Summary:

PRE-QUATERNARY ROCKS OF THE TÖRMÄSJÄRVI AND KOIVU MAP-SHEET AREAS

Introduction

The Törmäsjärvi (2631) and the adjacent Koivu (2633) map-sheet areas are located in northern Finland near the Swedish border south of the Arctic Circle (see back cover for map-sheet division). The 1: 400,000 General geological maps Rovaniemi and Tornio-Ylitornio and their explanatory texts, produced in the early 1900's, cover the entire area (Hackman 1910a, 1910b, 1914). Later, Hausen (1936) and Mikkola (1949) have studied the area. The prospecting activities of Outokumpu Co. and Rautaruukki Co. have produced some M.Sc. theses with geological maps (Eeronheimo 1979, Korkalo 1971, Yrjölä 1982).

The Geological Survey of Finland (GTK) conducted geological mapping in the Törmäsjärvi map-sheet area between 1973 and 1978, and in the Koivu map-sheet area between 1978 and 1983. Some local revisions have been made later.

Locations of chemical analyses are shown in Fig. 28 and observation and drilling sites in Fig. 3. Low-altitude airborne magnetic and electromagnetic maps of GTK (Figs. 4 and 5) were available in the fieldwork in the Törmäsjärvi map-sheet area since 1975 and in the Koivu area since 1989. These maps were of great importance when compiling the geological picture of the areas.

Geological outlines

The entire area of the Koivu map-sheet and most of the Törmäsjärvi map-sheet area are composed of rocks of the Peräpohja Schist Belt (PS). The bedrock of the north-western part of the Törmäsjärvi map-sheet belongs to the Central Lapland Granitoid Complex (CL). The few outcrops in the zone between the PS and CL consist of sheared, brecciated, and mylonitic rocks, so the contact is apparently tectonic. The sedimentary rocks in the CL are described as the lithodemic Mellajoki Suite.

The supracrustal rocks of the PS are classified and described as lithostratigraphic groups and formations (see Table 1). The Kivalo Group consists of alternating sedimentary and volcanic formations. Quartzite prevails in the rocks of the Sompujärvi, Palokivalo, Santalampi, and Kvartsimaa Formations, while the Poikkimaa and Rantamaa Formations are mainly dolomitic. The volcanic formations contain mafic lava (the Runkaus and Jouttiaapa Formations) or mafic tuffite (the Tikanmaa, Hirsimaa, and Lamulehto Formations). The rocks in the outcrops of the Santalampi Formation are pyroclastic, but many apparently local boulders exhibit distinct pillow structures (Fig. 7).

The most extensive unit of the Paakkola Group is the Martimo Formation. Mica schists and black schists characterize that formation. The mostly volcanic Väystäjä Formation is stratigraphically highest in the Törmäsjärvi map-sheet area.

The stratigraphy of the PS is fairly well established (Table 1), but the position and correlation of two formations, those of Kaisavaara and Santalampi, may change after further studies. All the rocks of the PS are Palaeoproterozoic. There are no age determinations of the rocks of the CL in the map-sheet areas, but apparently all of them are Palaeoproterozoic, too.

Central Lapland Granitoid Complex

Most of the rocks of the northwestern part of the Törmäsjärvi map-sheet consist of reddish or grey, deformed granites with distinct augen structure. Microcline exists as rounded grains of 0.5 to 3 cm in diameter (Fig. 8). Inclusions of mica gneiss and quartzite are common. The other granite type of the area is medium-grained and red without any deformation.

The quartzites in the Mellajoki Suite are medium to coarse-grained and white or grey, seldom greenish in colour. They are schistose and mostly tightly folded (Fig. 9). In addition to quartz, the quartzites contain some microcline and muscovite (Fig. 11), while some types are rather pure orthoquartzites. Accessory minerals include rounded zircon and tourmaline grains. The quartzites contain dolomite and mica schist intercalations. Metadiabase dikes are common.

The mica schists are schistose but primary features, as bedding, are often obvious. Cordierite and biotite porphyroblasts are common; andalusite is rare (Fig. 12).

The rocks called quartz-feldspar gneiss are sheared, often mylonitic. They contain feldspar and quartz grains sized 0.5 to 1 cm. They look like felsic, porphyritic rocks and resemble geochemically the felsic porphyry of the Väystäjä Formation, but so far they have been interpreted as mylonitic parts of the granites.

Peräpohja Schist Belt

Supracrustal rocks

Sompujärvi Formation

The lowermost stratigraphic units in the neighbouring map-sheet areas include conglomerates of the Sompujärvi Formation, amygdaloidal tholeiitic lavas of the Runkaus Formation, and quartzites of the Palokivalo Formation (Perttunen 1991).

In the Törmäsjärvi and Koivu map-sheet areas, the rocks of the Runkaus and especially the Palokivalo Formations exist with certainty along the hills from Luppovaara (2631 11C) and Kätkävaara (2633 02A) to Pisavaara (2633 05). That is why the sedimentary rocks that crop out below the Runkaus Formation are now correlated with the Sompujärvi Formation on the maps.

The rocks of the Sompujärvi Formation have limited distributions in the map-sheet areas. The lower contact is not exposed but is interpreted as tectonic. The upper contact is marked by the lava flows of the Runkaus Formation. The rocks of the Sompu-

järvi Formation consist of fine-grained, pale grey quartzite. Foliation is mostly intense, and bedding can be detected in some outcrops.

Runkaus Formation

The rocks of the Runkaus Formation conformably overlie the Sompujärvi Formation. In many places, the lower contact is tectonic. The upper contact against the Palokivalo Formation is conformable. The thickness can be estimated as 100–200 m. Most of the rocks of the Runkaus Formation are amygdaloidal mafic basaltic flows. The rounded amygdules contain quartz, chlorite, and calcite that are also typical elsewhere in the PS. Some layers exhibit agglomerate structures containing fragments of mafic volcanic rocks embedded in a tuffitic matrix. The metamorphic mineral assemblage includes actinolite, albite, epidote, and chlorite.

The bedrock of the northeastern corner of the Koivu map-sheet consists of Palokivalo Formation quartzites, amygdaloidal Runkaus Formation metavolcanics, and diabase sills and dikes. In addition, there are coarse-grained rocks containing cordierite, cummingtonite-anthophyllite, and chlorite as well as quartz and plagioclase (Fig. 13). The contacts against the other rocks are tectonic. The origin and position of these cordierite-anthophyllite rocks is not clear.

Palokivalo Formation

The rocks of the Palokivalo Formation extend continuously from Korttovaara (2631 02A) in the southwest through Sorvasvaara eastwards into Luppovaara (2631 11C). In the Koivu map-sheet area, the Palokivalo Formation goes on from Kätkävaara (2633 02A) and Pisavaara to Louevaara (2633 06) in the north and Vammavaara (2633 07) in the east.

The lower, conformable contact against the Runkaus Formation is visible in many places in the Luppovaara (2631 10D), Kätkävaara (2633 01B), and Pisavaara (2633 05) areas. The upper contact is not exposed in the map-sheet areas and outcrops are lacking near the contact zone.

The primary structures of the Palokivalo Formation are well-preserved. Ripple-marks (Fig. 15) and cross-bedding are common as well as mud-cracks (Fig. 17). The thickness of the cross-bed sets in the west near Susivaara (2631 04) is 10–20 cm. In the eastern part of the Törmäsjärvi map sheet and in the Koivu map-sheet area the sets are thicker, up to a few meters (Fig. 14).

The clastic texture is always distinct. The well-rounded detrital grains include quartz and minor microcline. The grain size is mostly 0.3–1 mm. The quartzite in the Hanhivaara area (2633 08) is more coarse-grained, and in many places the quartzite contains thin conglomerate layers. The well-rounded clasts contain quartz and microcline. The Palokivalo Formation contains fine-grained, yellowish dolomite layers with stromatolite structures in Valkiavaara (2631 08C). At Sorvasvaara (2631 07) the coarse-grained dolomite layers in quartzite are white.

Kaisavaara Formation

The outcrops of the Kaisavaara hill (2631 07A) consist of medium to coarse-grained, light-coloured quartzite. The quartzite is rather pure and in addition to quartz

it contains some sericite. The clastic texture and cross bedding are seldom visible. Outcrops are practically lacking outside the actual hill. To the north there are plenty of large boulders, mostly of conglomerate. The conglomerate itself is not exposed, but it has been detected in diamond drill holes. The well-rounded pebbles include quartz and quartzite. The matrix consists of coarse-grained arkose and locally abundant dolomite (Fig. 6). The rocks of the volcanic Santalampi Formation overlie conformably the conglomerate.

The quartzite and conglomerate area has been assigned in the Törmäsjärvi map-sheet to the Kaisavaara Formation and the overlying volcanic rocks to the Santalampi Formation. The quartzite at Kaisavaara resembles petrographically some quartzite types of the Palokivalo Formation. The Kaisavaara Formation is tentatively correlated with the Palokivalo Formation, and the apparently overlying Santalampi Formation with the Jouttiaapa Formation. This interpretation may change with time.

Jouttiaapa Formation

The rocks of Jouttiaapa extend from Korttovaara (2631 04A) eastwards through the Törmäsjärvi map-sheet. In the Koivu map-sheet area, these rocks crop out in the west from Kätkävaara (2633 02A) northwards, and in the syncline to the south of Vammavaara (2633 07). The lower contact against the Palokivalo Formation is not exposed. The upper contact zone against the overlying Kvartsimaa Formation is visible in many places near Aittavaara (2631 04D–07B) in the middle part of the Törmäsjärvi map-sheet.

The Jouttiaapa Formation consists mostly of amygdaloidal basalts. Only insignificant quartzitic sedimentary layers have been detected between the flows. The thickness of lava flows varies from 0.5 m to 20 m and they may reach a dozen or two.

The flow tops consist of amygdules varying in size from 0.5 to 5 cm. The minerals in the amygdules include quartz, calcite, epidote, and chlorite (Fig. 18). The internal parts of the flows are massive and medium to coarse-grained. The major minerals are actinolite, albite, epidote, and chlorite. The 10 cm thick reddish axinite veins in the lavas at Jyrövinä (2631 08C) are a mineralogical curiosity (Fig. 17).

Santalampi Formation

The Santalampi Formation apparently overlies the conglomerate of the Kaisavaara Formation. The upper contact is tectonic. The outcrops consist of pyroclastic rock. The fragments are mostly roundish, mafic volcanic rocks 5 to 20 cm in diameter. They often exhibit amygdaloidal texture. There are plenty of angular, 1–3 cm magnetite fragments explaining the high magnetic susceptibility of this formation, 80000–250,000 μ SI. That is why this formation is easily recognizable easily on the aeromagnetic map (see Fig. 4).

Kvartsimaa Formation

The typical rock of the Kvartsimaa Formation is a light pink or white orthoquartzite. Accessory minerals include sericite flakes as well as rounded zircon and tourmaline grains. The texture is mostly granoblastic (Fig. 19) without any signs of original

clastic texture, and the bedding is rarely visible. The quartzite contains thin dolomitic or siltstone intercalations. Impure quartzite has a distinct clastic texture, and primary sedimentary structures as cross-bedding and ripple-marks are common. The Kvarsimaa Formation always overlies the Jouttiaapa Formation.

Tikanmaa Formation

The Tikanmaa Formation consists of green, fine-grained mafic tuffite. Bedding and lamination are common. The thickness of the individual layers ranges from 1 mm to dozens of centimeters (Fig. 21). Graded bedding is obvious in thicker beds. The main minerals in tuffite are metamorphic albite, actinolite, chlorite, and epidote. Ilmenite occurs as porphyroblasts 0.5 to 2 mm in diameter. The magnetic susceptibility of this formation is mostly high.

The Tikanmaa Formation is rather wide-spread in the Koivu map-sheet area. It is met in the syncline in the south-eastern Törmäsjärvi map-sheet, but is totally lacking in the west, as are the other two tuffite formations – Hirsimaa and Lamulehto.

Poikkimaa Formation

The Poikkimaa Formation is poorly exposed. The main rock type is yellowish or pale grey, fine-grained dolomite, sometimes with impure intercalations. Petrographically it does not differ much from the dolomites of the Rantamaa Formation. The contacts have often been drawn according to aeromagnetic maps, as both of the neighbouring formations – Tikanmaa Fm and Hirsimaa Fm – have high magnetic susceptibility, while the rocks of the Poikkimaa Formation are practically non-magnetic. In the Törmäsjärvi map-sheet area the tuffite formations – especially Hirsimaa and Lamulehto – are in many places lacking, so dolomite areas marked by symbol Po (Poikkimaa Fm) may belong as well to the Rantamaa Formation.

Hirsimaa Formation

The Hirsimaa Formation is poorly exposed. It can be traced as a continuous positive magnetic anomaly in the syncline in the south-eastern Törmäsjärvi map. The anomaly continues eastwards into the Koivu map-sheet area. As the Tikanmaa Formation, the Hirsimaa Formation consists of green mafic tuffite with distinct graded bedding.

Rantamaa Formation

Most of the dolomites belong to the Rantamaa Formation. The colour is yellowish or light grey. Most of the outcrops exhibit excellent stromatolite structures (Fig. 22) and even distinct mud-cracks have been detected. Ripple-marks and herring-bone cross stratification (Fig. 23) are common in the dolomite-bearing quartzite intercalations.

Martimo Formation

Mica schists of the Martimo Formation occur as a large area in the middle of the Törmäsjärvi map-sheet area extending a little to the Koivu area. Intercalations con-

taining carbon and sulfides are common as indicated by the electromagnetic maps (Figs. 4 and 5). Bedding is distinct, and often the mica schists show turbidite sequences. The grain size is mostly small, but the size of biotite porphyroblasts may reach 2 mm (Fig. 25) and that of cordierite and andalusite sometimes 4 cm.

Väystäjä Formation

The rocks of the Väystäjä Formation exist in the Törmäsjärvi map-sheet area and extends westwards to the Ylitornio area. They are mostly pillowed tholeiitic basalts (Fig. 26) accompanied with minor tuffites. Some dolomite and mica schist areas have been drawn on the map. A felsic volcanic rock among the mafic rocks contain phenocrysts of alkali feldspar and quartz. No counterparts of that porphyry have so far been detected elsewhere in the PS.

Intrusive rocks

There are plenty of mafic diabase dikes and sills mainly within the quartzites of the Palokivalo Formation. Most of them belong to the concordant sills of the 2.2 Ga old gabbro-wehrlite association (Fig. 27). Some cutting dikes give c. 100 Ma younger ages. The sills are often differentiated with olivine- and pyroxene-bearing, ultramafic lower parts while the upper parts of the sills are gabbroic with plagioclase, clinopyroxene, and magnetite as the primary constituents.

There are 0.5 to 2 m thick felsic, fine-grained dikes in the southwestern corner of the Törmäsjärvi map-sheet. The host rock is the mica schist of the Martimo Formation.

Geochemistry

Mafic volcanic rocks

In Fig. 29, mafic volcanic rocks from the western part of the Peräpohja Schist Belt are plotted on Jensen cation diagrams (Jensen, 1976). The volcanic rocks of the **Runkaus Formation** are tholeiitic basalts (Table 2), which partly overlap the field of the Jouttiaapa Formation. TiO_2 contents are also partly similar, but the two formations differ clearly when more incompatible trace elements are considered. The Runkaus Formation lavas have high LREE/HREE and are rich in Th (Fig. 31). These features together with isotopic data published by Huhma et al. (1990) argue for strong crustal contamination.

The **Jouttiaapa Formation** is mainly composed of tholeiitic basalts with minor basaltic andesites (Tables 3 and 4). They are depleted in incompatible elements (Fig. 31) but there is significant variation in the depletion across the stratigraphic height of the volcanic succession. Figure 32 shows the variation of TiO_2 in an outcrop profile at Jyrövinä (Törmäsjärvi map sheet, 2631 08C). Also shown is TiO_2 in a section covering most of the stratigraphic section of the Jouttiaapa Formation constructed on the basis of two drill cores (R5, R7) from the Runkaus map sheet (2544) (see Perttunen 1989). The bulk of the outcrop profile and a large part of the drill core section are low-Ti basalts with TiO_2 c. 0.6 wt.%. A flow unit in the lowermost part of the pro-

files has $\text{TiO}_2 > 1\%$ but mostly these higher-Ti lavas are found in the upper part of the drill core section in core R5. The correlation between the sections from the two map sheets is not perfect as the upper higher-Ti lavas seem to be lacking at Jyrövinsa (2631 08) though they are found in the eastern continuations of the Jouttiaapa Formation on the neighbouring Koivu map sheet (2633 02 – 03).

Figure 33 depicts the most remarkable feature of the Jouttiaapa Formation, the ultradepletion of LREE in a chondrite-normalized REE plot. The diagram contains samples from various stratigraphic levels of the Jyrövinsa outcrop profile. The most depleted lavas represent the middle, low-Ti part of the section. As is seen in Fig. 33, the least-depleted Jouttiaapa lavas have REE levels similar to those of MORB, while the rest are more depleted. In ultradepleted lavas, the Ce contents are at a level found in komatiitic rocks with MgO of 20 to 30 wt.% (Fig. 34).

Huhma et al. (1990) used samples from the Jyrövinsa outcrops in their Sm-Nd isotopic study. They reported an isochron age of $2,090 \pm 70$ Ma with an initial ϵ_{Nd} value of $+4.2 \pm 0.5$ (updated age $2,103 \pm 50$ Ma; Hölttä et al. 2003). The geochemical and isotopic results indicate that the Jouttiaapa lavas passed virtually uncontaminated through the continental crust and the depletion in incompatible elements was a long-lived phenomenon in their mantle source. In general, lavas having a depleted trace element signature are very rare in a continental setting (Thompson et al. 1983).

The analysed **Santalampi Formation** agglomeratic metavolcanites are tholeiitic basalts and basaltic andesites (Table 5). They have been stratigraphically correlated tentatively with the Jouttiaapa Formation, but their trace element characteristics, including enrichment in LREE (La_N/Sm_N 1.9 on average; subscript N denotes normalization to chondritic concentration), Ti, Zr, and Th, are more akin to those of the Runkaus Formation (Figs. 30 and 31).

The three formations, **Tikanmaa**, **Hirsimaa**, and **Lamulehto**, which are composed of mafic tuffs and are associated with dolomitic metasediments, have each their own geochemical characteristics (Table 6). The Tikanmaa tuffs resemble the least-depleted Jouttiaapa lavas in having rather flat chondrite-normalized REE patterns (Fig. 35), but they have a somewhat more evolved major element composition as they are mostly basaltic andesites. The Hirsimaa metavolcanites do not have geochemical counterparts elsewhere in the Peräpohja Schist Belt. Their major element composition corresponds to trachyandesites and they have a high FeO_{tot} content (Fig. 29). The alkalic, OIB-like affinity is supported by high contents of incompatible elements ($\text{Nb} > 10$ ppm, $\text{Zr} > 120$ ppm, $\text{Th} > 3$ ppm) and high LREE/HREE (Fig. 35). According to the so far scanty geochemical data, the Lamulehto Formation tuffs are tholeiitic basalts with incompatible trace element contents somewhere between those of the Tikanmaa and Hirsimaa Formations (Fig. 35).

The mafic volcanic rocks of the **Väystäjä Formation**, located on the Törmäsjärvi map sheet, occur mostly as pillow lavas and are Mg-tholeiitic basalts in chemical composition (Table 7). Trace element data are so far limited, but suggest that an E-MORB-like affinity with unfractionated or slightly LREE-enriched chondrite-normalized REE patterns prevail in pillow lavas. One analysis records an OIB-type of chemistry with a strong enrichment in LREE (Fig. 36).

Mafic dikes

Chemical analyses of mafic dike rocks analysed from the Törmäsjärvi and Koivu map sheets are shown in Table 8. The rocks can be classified into two geochemical types as shown in Figs. 37A and 37B. The rocks of the first type, which represents a wide differentiation series with MgO between 2.8 and 15.4 wt.%, have major element compositions comparable to those of the cumulates of the 2.2 Ga gabbro-wehrlite association in northern Finland (cf. Hanski 1987) and are also similar in having moderately high LREE/HREE. The second type, which is considered younger in age, has higher $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ at a given MgO content and possesses flat chondrite-normalized REE patterns.

A drill hole has been drilled through a c. 100-m-thick diabase dike cutting Kaisavaara Formation quartzites. Examples of chemical analyses are presented in Table 9. This dike has high LREE/HREE, but in its major element composition it is intermediate between the two types described above, and therefore its classification and age is so far uncertain.

Felsic igneous rocks

We have analysed several felsic rocks from the northern part of the Törmäsjärvi map sheet (2631) and for comparative purposes, also some granitic rocks from the neighbouring Ylitornio map sheet (2613) (Table 10). They can be best divided into different geochemical types using rare earth element and Rb-Nb-Y data. As seen in Fig. 38A and 38B, three groups stand out. Those having the lowest REE level and no or insignificant Eu anomalies are narrow dacitic or rhyolitic dikes cutting Martimo Formation phyllites. The middle group with sloping REE profiles and negative Eu anomalies in Fig. 38A contains undeformed Aavasaksa granites from the Ylitornio sheet and deformed granitic rocks (augen gneisses) from the Törmäsjärvi sheet. The similarity is observed also in major elements as all the analyzed granitoids, both deformed and undeformed, are peraluminous with the A/CNK values falling between 1.0 and 1.1 and correspond to the S-type granites of Chappel and White (2001).

The highest REE patterns with negative Eu anomalies and Rb-Nb-Y characteristics of within-plate granites belong to the rhyolitic volcanic rocks of the Väystäjä Formation and the quartz-feldspar gneisses of the Mellakoski Suite. Similar trace element signatures are also found in arkosic metasediments in the northeastern part of the Peräpohja Schist Belt (Figs. 38A and 38B).

Sedimentary rocks

Chemical analyses of metasedimentary rocks are exhibited in Tables 11–15. Quartzites are rather mature metasediments with SiO_2 ranging between 85 and 96 wt.%. Their incompatible trace elements contents are moderately high (Zr 50–120 ppm, La_N 30–100, La_N/Yb_N 10–35, Fig. 39). The Mellajoki suite contains greenish quartzites with high Cr contents (830 and 950 ppm). Pelitic metasediments from the Martimo Formation show a large variation in their chemical compositions. SiO_2 and MgO fall within the ranges of 42–78 and 1.7–7.7 wt.%, respectively (Fig. 39A), and suggest a variable mafic component. This is consistent with the relatively high Cr contents (80–340 ppm).

The sulfur and carbon contents of black schists vary between 0.1–8.0 and 0.2–5.0 wt.%, respectively. Phyllites and black schists display similar LREE-enriched REE patterns with flat HREE and negative Eu anomalies (Fig. 39B).

Cordierite-anthophyllite rocks

Cordierite-anthophyllite rocks occurring in the NE corner of the Koivu map sheet have chemical compositions classifying them as magnesian basalts and andesites (MgO 12.3–13.3 wt.%, SiO₂ 49.6–53.8 wt.%, TiO₂ 1.2–1.7 wt.%, Cr 190–250 ppm). For magmatic rocks, however, they possess anomalously low contents of MnO (0.04 %) and CaO (0.6–1.6 %).

Structure and metamorphism

There is a tectonic zone in the middle of the Törmäsjärvi map-sheet area dividing the bedrock into areas with different deformation history. Granitoids as well as deformed and partly migmatic gneisses of the CL prevail on the northwestern side while the rocks on the southern side are composed of well-preserved sedimentary and volcanic rocks of the PS. The dip of the Palokivalo quartzites in the Törmäsjärvi map-sheet area is fairly steep and the top directions mostly to the north. The fold axis is nearly horizontal. In the west near Korttovaara and Susivaara (2631 04), plunging folds can be detected. East-west trending faults exist in the southern slopes of the quartzite ridges, as in Korttovaara, Luppovaara, and Kätkävaara. The quartzites in the Koivu map-sheet area often exhibit large, gentle open folds.

South of the Kaisavaara hill there is a syncline with the fold axis plunging to the east. In that syncline the whole set of formations from Jouttiaapa to Martimo are exposed. That structure goes on to the east to the Koivu map-sheet area and further eastwards. The rocks of the Martimo Formation are tightly folded, and have a distinct straight axial plane schistosity.

The metamorphic grade is low in most of the area of the PS. The mineral pair dolomite-quartz is stable in most of the dolomites of the Kivalo Group. The impure dolomites of the southeastern Koivu map-sheet area contain radial aggregates of dark-green amphibole. The dolomites of the Väystäjä Formation are often garnetiferous, and the impure dolomites of the Mellajoki Suite of the CL contain coarse diopside and tremolite.

Mafic rocks of the PS have typical metamorphic minerals of the greenschist facies – albite, actinolite, epidote, and chlorite. The mica schists of the Martimo Formation often contain porphyroblasts of biotite (Fig. 25) and cordierite, rarely andalusite. These porphyroblasts are met also in the mica schists of the Mellajoki Suite (Fig. 12).

Radiometric ages and isotope geology

The radiometric U-Pb ages of the area have been published recently. The dated minerals include zircon, baddeleyite, and titanite (Perttunen and Vaasjoki 2001). The Archaean basement rocks do not exist in the map-sheet areas, and all of the rocks are Paleoproterozoic in age. Zircons of all the dated quartzite samples from Palokivalo,

Kvartsimaa, and Rantamaa Formations show an Archaean provenance. The mafic layered sills within the quartzites of the Palokivalo Formation yield a set of ages near 2.2 Ga. Some diabase dikes give c. 100 Ma younger ages. The zircons of a felsic porphyry within the Väystäjä Formation give an upper intercept age of $2,050 \pm 8$ Ma (Perttunen & Vaasjoki 2001).

As stated in the chapter Geochemistry (see page xx), an isochron age of $2,090 \pm 70$ Ma with an initial ϵ_{Nd} value of $+4.2 \pm 0.5$ is achieved in the mafic lavas of the Jouttiaapa Formation (Huhma et al. 1990) (updated age $2,103 \pm 50$ Ma; Hölttä et al. 2003).

The dolomites of the Palokivalo group have a pronounced positive $\delta^{13}\text{C}$ anomaly (Karhu 1993), while five samples from the Väystäjä Formation have “normal” carbon isotope composition. The $\delta^{13}\text{C}$ range is from -1.6 to $+0.3$ (J. Karhu, pers. comm. 1998).

Economic geology

The map-sheet areas have been a target for copper, gold, molybdenum, and uranium prospecting. The only mine that has been in operation is in a small, vein-type copper-gold vein in Kivimaa (2631 10D; Rouhunkoski and Isokangas 1974). A molybdenum deposit was detected in quartz veins at Kallijärvi (2631 02D; Yletyinen 1967). Black schists with anomalous uranium and phosphorus contents have been discovered at Mustamaa (2631 11C; Äikäs 1989 and Yrjölä 1982).

Dolomite belonging to the Rantamaa Formation in the Louepalo quarry has been exploited as dimension stones for decades. Recently also deformed granites (Fig. 40) in Kierovaara (2631 05D) and Kuijasvaara (2631 06C) have been studied for their potential as dimension stones. Some diabase quarries produce currently rock aggregate of good quality.

KIRJALLISUUS – REFERENCES

- Aario, R., Peuraniemi, V. & Sarala, P. 1997. The Sihtuuna moraine at Tervola, southern Lapland. *Sedimentary Geology* 111, 135–145.
- Chappel, B. W. & White, A. J. R. 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences* 48, 489–499.
- DePaolo, D. J. 1981. Nd in the Colorado Front Range and implications for crust formation and mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291, 193–196.
- Eeronheimo, J. 1979. Metavulkaniitit ja -sedimentit Väystäjän – Kivilompolon alueella, Peräpohjan liuskealueen pohjoisosassa. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto. 63 s.
- Eskola, P., Hackman, V., Laitakari, A. & Wilkman, W. W., 1919. Suomen kalkkikivi. Summary: Limestones in Finland. Geologinen komissioni, Geoteknillisiä tiedonantoja 21. 265 s.
- Hackman, V. 1910a. Rovaniemi. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, kivilajikartta, lehti C6. General Geological map of Finland.
- Hackman, V. 1910b. Tornio – Ylitornio. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000, kivilajikartta, lehdet B5–B6. General Geological map of Finland.
- Hackman, V. 1914. Rovaniemi – Torneå – Över-Torneå. Geologisk översiktskarta över Finland, Sekt. C6–B5–B6. Beskrivning till bergartskartan. Résumé en français. Geologiska kommissionen, 86 s.
- Hackman, V. 1918. Rovaniemi – Tornio – Ylitornio. Suomen geologinen yleiskartta 1 : 400 000. Kivilajikartan selitys, lehdet C6–B5–B6. Geologinen toimisto. 80 s. Suom. J. N. Soikero.

- Hanski, E., 1987.** Differentioituneet albiittidiabaasit – gabro-wehrliittiassosiaatio. Summary: Differentiated albite diabases – Gabbro wehrlite association. Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland. Tutkimusraportti – Report of Investigation 76, 35–44.
- Hanski, E. 2002.** Vikajärvi. Suomen geologinen kartta – Geological Map of Finland 1 : 100 000. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks. Lehti – Sheet 3614. Geologian tutkimuskeskus. Geological Survey of Finland.
- Hausen, H., 1936.** The North-Bothnian downfold. Acta Acad. Aboensis, ser. Math. et Phys. vol. 9:5, 87 s.
- Hofmann, H. J. & Davidson, A. 1998.** Paleoproterozoic stromatolites, Hurwitz Group, Quartzite Lake area, Northwest Territories, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, March 1998, 35, 280–289.
- Honkamo, M. 1989.** Pohjois-Pohjanmaan vulkaniitit. Summary: Volcanic rocks in northern Ostrobothnia. Lapin vulkaniittiprojekti. A report of the Lapland Volcanite Project. Tutkimusraportti – Report of Investigation, 89. 46 s.
- Huhma, H., Cliff, R.A., Perttunen, V. & Sakko, M., 1990.** Sm-Nd and Pb isotopic study of mafic rocks associated with early Proterozoic continental rifting: the Peräpohja Schist Belt in northern Finland. Contributions Mineralogy Petrology 104, 369–379.
- Härme, M. & Perttunen, V. 1971.** Magnesia metasomatism at Hirvas, northern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 250. 28 s.
- Hölttä, P., Huhma, H., Lahtinen, R., Nironen, M., Perttunen, V., Vaasjoki, M. & Väänänen, J. 2003.** Introduction: Modelling of orogeny in northern Fennoscandia. Eklund, O. (toim.) Lapland – 2003. Excursion guide to Finnish and Swedish Lapland 1–7.9.2003. Geocenter report nr. 20. Turku University – Åbo Akademi University, s. 6–27.
- Jensen, L.S. 1976.** A new method of classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Division of Mines, Misc. Paper 66.
- Karhu, J. 1993.** Paleoproterozoic evolution of the carbon isotope ratios of sedimentary carbonates in the Fennoscandian Shield. Geological Survey of Finland, Bulletin 371. 87 s.
- Korkalo, T. 1971.** Peräpohjan liuskealue Tervolan Varejärven seudulla. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto. 88 s.
- Korvuo, E. 1982.** Petäjaskosken kuparitutkimukset. Lapin Malmi. Arkistoraportti 080/2633/EK/82.
- Lindell, S. 1993.** Tulivuoren uumenista kattaukseen. Tervolan tufttiittinen vihreäkivi käyttöesineiden materiaalina. Lopputyö. Kouvolan käsi- ja taideteollisuusoppilaitos. 27 s.
- Kortelainen N. 1998.** Peräpohjan liuskealueen paleoproterotsooisten sedimenttisten karbonaattikivien kerrostumisympäristön luonne, hiilen isotooppikoostumus ja hivenalkuainekemia. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto.
- Mikkola, A. 1945.** Malmitutkimukset Kemin-Rovaniemen liuskealueella kesällä 1945. Geologian tutkimuskeskus, raportti M/17/T-45/1. 19 s.
- Mikkola, A., 1949.** On the geology of the area north of the Gulf of Bothnia. Bull. Comm. géol. Finlande 146. 64 s.
- Nironen, M., Lahtinen, R. & Koistinen, T. 2002.** Suomen geologiset aluenimet – yhtenäisempään nimikäytäntöön! Summary: Subdivision of Finnish bedrock – an attempt to harmonize terminology. Geologi 54, 8–14.
- Okko, V. 1946.** Moreeniaines ja pohjavesi kasvimaantieteellisinä tekijöinä ”Lapin kolmiossa”. Summary: Moraine deposits and groundwater as phytogeographical factors in the ”Lapland-triangle”. Terra, Vol. 58, 13–26.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G. 1984.** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25, 956–983.
- Perttunen, V., 1971.** Runkaus. Suomen geologinen kartta – Geological Map of Finland 1 : 100 000. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks. Lehti – Sheet 2544. Geologian tutkimuskeskus. Geological Survey of Finland.
- Perttunen, V., 1972.** Karunki. Suomen geologinen kartta – Geological Map of Finland 1 : 100 000. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks. Lehti – Sheet 2542 + 2524. Geologian tutkimuskeskus. Geological Survey of Finland.
- Perttunen, V. 1989.** Peräpohjan alueen vulkaniitit. Summary: Volcanic rocks in the Peräpohja area, northern Finland. A report of the Lapland Volcanite Project. Geologian tutkimuskeskus, – Geological Survey of Finland. Tutkimusraportti – Report of Investigation 94, 40 s.
- Perttunen, V. 1991.** Kemin, Karungin, Runkauksen ja Simon kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Kemi, Karunki, Simo, and Runkaus map-sheet areas. Suomen

Suomen geologinen kartta, Kallioperäkarttojen selitykset 1 : 100 000, lehdet 2631 ja 2633
Vesa Perttunen ja Eero Hanski

- geologinen kartta 1 : 100 000. Kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 2541 Kemi, 2542 + 2524 Karunki, 2543 Simo ja 2544 Runkaus. 80 s.
- Perttunen, V. 2002.** Törmäsjärvi. Suomen geologinen kartta – Geological Map of Finland 1 : 100 000. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks. Lehti – Sheet 2631. Geologian tutkimuskeskus. Geological Survey of Finland.
- Perttunen, V. 2003.** Koivu. Suomen geologinen kartta – Geological Map of Finland 1 : 100 000. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks. Lehti – Sheet 2633. Geologian tutkimuskeskus. Geological Survey of Finland.
- Perttunen, V., Hanski, E. & Väänänen, J. 1995.** Stratigraphical map of the Peräpohja Schist Belt, northern Finland. Julkaisussa: Kohonen, T. & Lindberg, B. (toim.) 1995. The 22nd Nordic Geological Winter meeting, 8–11 January 1996 in Turku-Åbo, Finland. Abstracts of oral and poster sessions, s. 152.
- Perttunen, V. & Vaasjoki, M., 2001.** U-Pb geochronology of the Peräpohja schist belt. Teoksessa Vaasjoki, M. (toim.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. Geological Survey of Finland, Special Paper 33, 45–84.
- Rask, M. 2003.** Rakennuskivitutkimukset Pohjois-Suomessa. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M10.4/2003/2.
- Reino, J., 1973.** Pohjois-Suomessa esiintyvien albitiittien petrografiasta ja geokemiasta. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, 75 s.
- Rossi, S. 1993.** Tutkimustyöselostus Tervolan kunnassa valtausalueella Sivakkajoki 1 kaiv.rek.nro 4796/1 suoritetuista malmitutkimuksista. 10 s., 14 liites. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M06/2631/-93/1/10.
- Rossi, S. 1998.** Tutkimustyöselostus Rovaniemen maalaiskunnassa valtausalueella Petäjävaara 1 kaiv.rek.nro 5471/1 suoritetuista kulta-kupari-kobolttimalmitutkimuksista vuosina 1992–1994. 12 s. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M 06/2633/98/1/10.
- Rouhunkoski, P. & Isokangas P. 1974.** The copper-gold vein of Kivimaa at Tervola, N-Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 46:1, 29–36.
- Ryttäri, T. & Kettunen, T. (toim.) 1997.** Uhanalaiset kasvimme. Kirjayhtymä Oy, Helsinki. 335 s.
- Sun, S.-S. & McDonough, W. F. 1989.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. Julkaisussa: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, Special Publication 42, 313–345.
- Säävuori, H., 1987.** Peräpohjan alueen aerogeofysikaalinen ja petrofysikaalinen tulkinta. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. 87 s.
- Thompson, R. N., Morrison, M. A., Dickin, A. P. & Hendry, G. L. 1983.** Continental flood basalts ... arachnids rule OK? Julkaisussa: Hawkesworth, C. J. & Norry, M. J. (toim.) Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich, UK: Shiva, 158–185.
- Vartiainen, R. 1994.** Lapin lumo. Kivi 12 (2), 13–15.
- Yletyinen, V. 1956.** Selostus Ylitornion Kivilompolon tutkimusalueen malmitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M17/Yt-56. 7 s.
- Yletyinen, V., 1967.** Ylitornion Kivilompolon molybdeenihohde-esiintymästä. Summary: On the molybdenite occurrence at Kivilompolo, Ylitornio. Geoteknillisiä julkaisuja 73.
- Yrjölä, M. 1982.** Tervolan Mustamaan uraani-fosforiesiintymä Peräpohjan liuskealueella. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto. 87 s.
- Äikäs, O. 1989.** Phosphate resources in early Proterozoic supracrustal rocks, Finland, with reference to the Baltic Shield. In: Notholt, A. J. G., Sheldon, R. P. & Davidson, D. F. (toim.) Phosphate deposits of the world. Vol. 2: Phosphate rock resources. Cambridge: Cambridge University Press, 429–436.
- Äyräs, M. 1987.** Tutkimustyöselostus Rovaniemen maalaiskunnassa valtausalueella Vinsanmaa 1 kaiv.rek.n:o 3925/1 suoritetuista malmitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/2633/-87/1/30. 3 s.

Julkaistut kallioperäkartat (1 : 100 000) ja selitykset (*), Tilapäiskartta []
Published maps of Pre- Quaternary rocks (1 : 100 000) and explanations (*), Temporary map []

31.12.2003

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| * 0034+0043 Signilskär, 1978. | * 2231 Mänttä, 1976. | * 3311 Viitasaari, 1966. |
| 1011 Lågskär, 1978. | * 2232 Keuruu, 1963. | * 3312 Pihtipudas, 1969. |
| * 1012 Mariehamn, 1979. | * 2241 Ähtäri, 1970. | * 3313 Vesanto, 1985. |
| 1013 Kōkär, 1981. | * 2313 Alajärvi, 1979. | * 3314 Pielavesi, 1977. |
| 1014 Föglö, 1980. | * 2314 Evijärvi, 1992. | * 3321 Pyhäjärvi, 1992. |
| * 1021 Geta, 1978. | 2321 Pietarsaari, 1981. | * 3322 Kärämäki, 1992. |
| 1022+1024 Hullberga, 1992. | 2322 Kokkola, 1980. | * 3323 Kiuruvesi, 1977. |
| * 1023 Kumlinge, 1978. | 2323 Kaustinen, 1971. | * 3331 Siilinjärvi, 2000. |
| 1031 Utö, 1983. | * 2324 Kannus, 1961. | * 3332 Lapinlahti, 1987. |
| 1032 Korppoo, 1987. | 2331 Kyyjärvi, 1993. | * 3333 Juankoski, 2000. |
| * 1033 Nötö, 1954. | 2332 Perho, 1976. | * 3334 Nilsä, 1980. |
| * 1034 Nagu, 1973. | * 2334 Kinnula, 1962. | * 3341 Iisalmi, 1990. |
| 1041 Iniö, 1986. | * 2341 Lestijärvi, 1964. | * 3342 Vieremä, 2001. |
| * 1042 Vehmaa, 1992. | * 2342 Sievi, 1962. | * 3343 Rautavaara, 1997. |
| 1043 Turku, 1994. | * 2343 Reisjärvi, 1963. | 3412 Rantsila, 2000. |
| 1131 Uusikaupunki, 1994. | * 2344 Nivala, 1962. | * 3422 Oulujoki, 1983. |
| * 1132 Rauma, 1993. | * 2413 Kalajoki, 1955. | 3423 Utajärvi, 1994. |
| 1133 Yläne, 1994. | * 2431 Ylivieska, 1955. | 3424 Sanginkylä, 1992. |
| * 1134 Kokemäki, 1994. | * 2432+2414 Pyhäjoki, 1957. | 3433 Sotkamo, 1981. |
| 1141 Luvia, 1994. | * 2433 Haapavesi, 1958. | 3434 Paltamo, 1993. |
| 1143 Pori, 1994. | * 2434 Vihanti, 1958. | 3442 Puolanka, 1990. |
| * 1242 Korsnäs, 1960. | * 2441 Raahe, 1959. | 3443 Hyrynsalmi, 1989. |
| 1343 Vexala, 1981. | * 2443 Paavola, 1959. | * 3511 Kiiminki, 1984. |
| * 1823 Kilpisjärvi, 1994. | * 2533 Haukipudas, 1986. | 3531 Jonku, 1977. |
| 1832 Ropi, 1988. | * 2541 Kemi, 1971. | 3541 Rytinki, 1979. |
| * 1842 Halti, 1994. | * 2542+2524 Karunki, 1972. | 3543 Loukusa, 1980. |
| 2011 Hanko, 1970. | * 2543 Simo, 1975. | * 3612 Rovaniemi, 1996. |
| 2012 Perniö, 1955. | * 2544 Runkaus, 1971. | 3642 Pelkosenniemi, 1979. |
| 2013 Jussarö, 1973. | 2624 Sieppijärvi, 2001. | * 3643 Kursu, 1967. |
| [* 2014 Tammisaari, 1991.] | * 2631 Törmäsjärvi, 2002. | 3644 Vuotostunturi, 1983. |
| * 2021 Salo, 1955. | * 2633 Koivu, 2003. | * 3713 Sodankylä, 1979. |
| * 2022 Marttila, 1957. | 2713 Kolari, 1984. | * 3714 Sattanen, 1980. |
| * 2023 Suomensjärvi, 1955. | 2714 Kihlanki, 1981. | 3723 Peurasuvanto, 1993. |
| * 2024 Somero, 1955. | * 2723 Muonio, 1980. | 3733+4711 Savukoski, 1986. |
| 2031 Mäkiluoto, 1992. | 2731 Kurtakko, 1992. | * 3934+4912+4914 Näätämö, 1994. |
| * 2032 Siuntio, 1960. | 2732 Kittilä, 1984. | * 4112+4111 Imatra, 1966. |
| * 2034 Helsinki, 1967. | * 3012 Pellinki, 1965. | * 4121 Virtutjoki, 1987. |
| 2041 Lohja, 1994. | * 3021 Porvoo, 1964. | 4122 Lohilahti, 1992. |
| * 2042 Karkkila, 1953. | * 3022 Lapinjärvi, 1962. | * 4123+4114 Parikkala, 1982. |
| * 2043 Kerava, 1969. | * 3023+3014 Kotka, 1970. | * 4124+4132 Punkaharju, 1980. |
| * 2044 Riihimäki, 1956. | * 3024 Karhula, 1965. | * 4213 Kerimäki, 1975. |
| * 2111 Loimaa, 1953. | * 3041+3043 Haapasaari, 1972. | * 4214 Rääkkylä, 1985. |
| * 2112 Huittinen, 1976. | * 3042 Hamina, 1973. | * 4221 Heinävesi, 1993. |
| * 2113 Forssa, 1954. | * 3044 Vaalimaa, 1979. | * 4222 Outokumpu, 1971. |
| * 2114 Toijala, 1973. | * 3111 Lahti, 1964. | 4223 Joensuu, 1985. |
| * 2121 Vammala, 1967. | * 3112 Heinola, 1970. | * 4224 Kontiolahdi, 1971. |
| * 2122 Ikaalinen, 1952. | * 3113 Kouvola, 1963. | * 4231 Kitee, 1973. |
| 2122 Ikaalinen, 1993. | * 3114 Vuohijärvi, 1969. | * 4232+4234 Tohmajärvi, 1967. |
| * 2123 Tampere, 1961. | * 3121 Sysmä, 1977. | * 4241 Kiihtelysvaara, 1971. |
| * 2124 Viljakkala-Teisko, 1953. | * 3122 Joutsa, 1982. | * 4242 Eno, 1983. |
| * 2131 Hämeenlinna, 1949. | * 3123 Mäntyharju, 1978. | * 4243 Oskajärvi, 1983. |
| * 2132 Valkeakoski, 1970. | 3124 Hirvensalmi, 1988. | 4244+5222 Ilomantsi, 1973. |
| * 2133 Kärkölä, 1961. | * 3131 Luumäki, 1975. | * 4311 Sivakkavaara, 1971. |
| * 2134 Lammi, 1964. | * 3132 Savitaipale, 1965. | 4322 Puukari, 1993. |
| * 2141 Kangasala, 1964. | * 3133 Ylämaa, 1979. | * 4411 Ontojoki, 1976. |
| 2142 Orivesi, 1986. | * 3134 Lappeenranta, 1964. | * 4412 Hiisijärvi, 1973. |
| 2143 Padasjoki, 1971. | * 3141 Ristiina, 1990. | * 4413 Kuhmo, 1978. |
| 2144 Kaipola, 1973. | * 3142 Mikkeli, 1980. | 4414+4432 Lentiira, 1993. |
| * 2213 Kuru, 1960. | * 3144 Sulkava, 1966. | * 4421 Moisiovaara, 1986. |
| * 2214 Virrat, 1965. | * 3223 Rautalampi, 2000. | * 4423+4441 Ala-vuokki, 1987. |
| 2221 Jalasjärvi, 1990. | * 3224 Karttula, 1991. | 4522 Vasaraperä, 1989. |
| 2222 Seinäjoki, 1962. | * 3231 Haukivuori, 1984. | * 4524+4542 Kuusamo, 1973. |
| * 2222 Seinäjoki, 1991. | * 3232 Pieksämäki, 1971. | * 4613 Rukatunturi, 1982. |
| * 2223 Alavus, 1970. | 3233 Rantasalmi, 1973. | * 4621+4623 Salla, 1967. |
| * 2224 Kuortane, 1971. | * 3234 Varkaus, 1980. | |

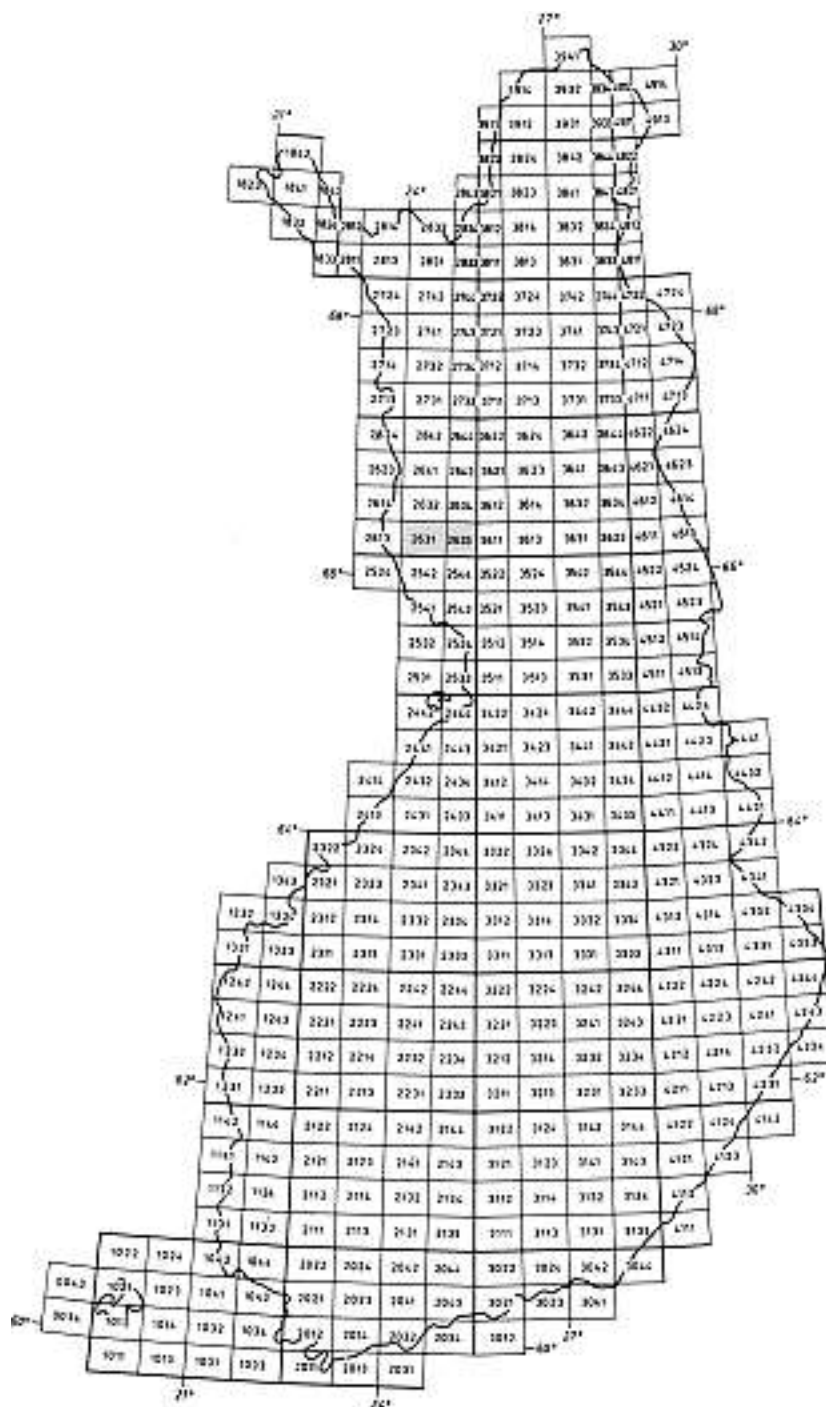
Karttoja ja karttaselityksiä myy:

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

The maps and explanations may be purchased at:

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

E-mail: info@gsf.fi; WWW-address: <http://www.gsf.fi>



Karttalehtijako 1 : 100 000
Map division 1 : 100 000



9 789516 908772
 ISBN 951-690-877-2

Vammalan Kirjapaino Oy