

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

Tutkimusraportti 192

2011



Puumalan kartta-alueen kallioperä

Summary: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area



GTK

Hannu Mäkitie

Kansikuva: Rantakallioita Vihreän Kullan Kulttuuritien varrella Puumalassa.
Cover photo: Cliffs near the Green Gold Culture Road, Puumala
Kuva/Photo: Hannu Mäkitie, GTK

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

Tutkimusraportti 192

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

Report of Investigation 192

Hannu Mäkitie

PUUMALAN KARTTA-ALUEEN KALLIOPERÄ

Summary: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area

Espoo 2011

Mäkitie, H. 2011. Puumalan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation 192*, 52 pages, 33 figures, 3 tables and 3 appendices.

This report gives the results of lithological and geochemical bedrock studies in the Puumala map sheet area in southeastern Finland. In the map sheet area, geological studies were made at several sites during the 1960s, 1970s and 1980s. Limited fieldwork was also carried out during 2007–2008. A bedrock map at 1:100 000 scale is appended.

The main rocks in the map sheet area are Svecofennian (1.9–1.8 Ga) migmatitic (phlebitic) biotite paragneisses and various granitic intrusions. These gneisses, possibly turbiditic in origin, commonly have psammitic intercalations and contain garnet, cordierite and K-feldspar porphyroblasts. Mafic metavolcanic rocks, quartz-feldspar schists and quartzitic rocks, which are part of the Tiirismaa Suite, occur in a narrow, irregular, east-west trending belt across the map sheet area. In the SW part of the map sheet area there are graphite-sulphide paraschists. The largest granitoid pluton in the area is the Käkövesi granodiorite (110 km²), which is probably synorogenic in age (~1.88 Ga). There are also smaller tonalitic intrusions. Moreover, the biotite paragneisses typically contain many granite pegmatite dykes and some larger S-type granitoid bodies. The generation of these dykes and bodies are connected with a Svecofennian late-orogenic 1.84–1.81 Ga thermotectonic event (amphibolite to granulite grade metamorphism) in southern Finland.

The biotite paragneisses are rich in aluminium (17–21 wt% Al₂O₃). The metavolcanic rocks of the Tiirismaa Suite are mafic to intermediate and predominantly range from trachybasalts to andesites. Chemically they are tholeiitic to calc-alkaline, locally with slightly elevated alkali contents. Most of the studied granitoids are peraluminous.

The map sheet area includes two small metallic mineral deposits: a Ni-Cu occurrence in a norite body at Kitula, south of the Puumala municipal centre, and a Cu-Mo occurrence in the western part of the Käkövesi granodiorite. Both occurrences were studied in the 1960s, 1970s and 1980s, but were considered to have no economic value.

Keywords (GeoRef Thesaurus, AGI): areal geology, explanatory text, bedrock, metamorphic rocks, plutonic rocks, geochemistry, economic geology, Paleoproterozoic, Svecofennian, Puumala, Finland

Hannu Mäkitie
Geological Survey of Finland
P.O. Box 96
FI-02151 Espoo
FINLAND

E-mail: hannu.makitie@gtk.fi

ISBN 978-952-217-168-9 (PDF)
ISSN 0781-4240

Mäkitie, H. 2011. Puumalan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 192*, 52 sivua, 33 kuvaa, 3 taulukkoa ja 3 liitettä.

Raportti kattaa tulokset kallioperäkartoituksesta Etelä-Savon Puumalan 1:100 000-mittakaavaiselta kartalta (3143). Vuosina 2007–2008 siellä tehtiin täydentävää kartoitusta 260 havainnon verran. Alueelta on ollut käytettävissä myös 1 200 vanhaa kallioperähavaintoa 1970-luvulta. Liitteenä on alueelta laadittu 1:100 000-mittakaavainen kallioperäkartta.

Puumalan seudun kallioperä lukeutuu paleoproterotsooiseen svekofennialaiseen Etelä-Suomen terraaniin. Alueen valtakivi on plhebiittinen biotiitti-paragneissi, joka sisältää runsaasti granaatti-, kordieriitti- ja kalimaasälpä-porfyroblasteja sekä kapeita psammiittisia välikerroksia. Kiveä voi myös kutsua seoksiseksi eli migmatiittiseksi kiillegneissiksi. Sen alkuperä lienee turbidiittinen. Kartta-alueen keskellä sijaitsee itä-länsisuuntainen jakso, jota luonnehtivat mafiset ja intermediääriset metavulkaniitit, kvartsi-maasälpäliuskeet ja kvartsiittiset kivet. Nämä kivet kuuluvat Tiirismaa-seurueeseen. Kartta-alueen lounaisosassa on grafiitti-sulfidi-paraliuskeita välikerroksina rapautuneessa biotiitti-paragneississä. Synorogeeniset granitoidit (~1,88 Ga) leikkaavat biotiitti-paragneissejä. Laaja-alaisin niistä on Käköveden granodioriitti (110 km²). Myöhäisorogeenista (1,84–1,81 Ga) kallioperää edustavat mikrokliinivaltaiset pegmatiittiset graniitit, jotka on jaettu leveisiin juoniin ja S-tyyppin graniittialueisiin. Puumalan kallioperä koki monivaiheisen deformaation ja amfiboliitti-, paikoin granulittifasieksen metamorfoosin 1,83–1,81 Ga sitten.

Biotiitti-paragneissit sisältävät varsin runsaasti alumiinia (17–21 paino-% Al₂O₃). Tiirismaa-seurueen metavulkaniitit ovat geokemiallisesti tholeiittisen ja kalkki-alkalisen rajalla, ja niillä on usein hiukan kohonnut alkalipitoisuus. Syväkivet ovat enimmäkseen peralumiinisia lukuun ottamatta Käköveden batoliitin tonaliittisia reunaosia, jotka ovat metalumiinisia. S-tyyppin graniitit ovat selvästi peralumiinisia.

Puumalan kunnassa on tavattu kaksi pientä malmiaihetta: Kitulan noriittipahkuun liittyvä Ni-Cu-esiintymä ja Luukkolansaaren Cu-Mo-aihe, joka sijaitsee Käköveden batoliitin länsiosassa. Molempia malmiaiheita on tutkittu 1960–1980-luvuilla, mutta ne on todettu ekonomisesti kannattamattomiksi.

Avainsanat (Geosanasto, GTK): aluegeologia, karttaselitykset, kallioperä, metamorfiset kivet, syväkivet, geokemia, malmigeologia, paleoproterotsooinen, svekofennialainen, Puumala, Suomi

*Hannu Mäkitie
Geologian tutkimuskeskus
PL 96
02151 Espoo*

Sähköposti: hannu.makitie@gtk.fi

SISÄLLYSLUETTELO – CONTENTS

1 ALUE JA TUTKIMUSVAIHEET	5
2 KALLIOPERÄN YLEISPIIRTEET	7
3 GEOFYSIKAALINEN AINEISTO	8
3.1 Magneettinen aineisto	8
3.2 Sähköinen aineisto	8
3.3 Gravimetrinen aineisto	8
4 KIVILAJIT	10
4.1 Pintakivilajit	10
4.1.1 Seksinen biotiitti-paragneissi	10
4.1.2 Psammiittinen liuske	10
4.1.3 Grafiitti-sulfidi-paraliuske ja kiisupitoinen biotiitti-paragneissi	12
4.1.4 Amfiboliitti ja sarvivälkegneissi	12
4.1.5 Kalkkikivi ja diopsidigneissi	13
4.2 Tiirismaa-seurueen kivilajit	14
4.2.1 Mafinen ja intermediäärinen metavulkaniitti	14
4.2.2 Plagioklaasi- ja uraliittiporfyyriitti	14
4.2.3 Tuffibreksia	17
4.2.4 Konglomeraatti ja kvartsiitti	18
4.2.5 Kvartsi-maasäpäliuske	19
4.3 Syväkivet	21
4.3.1 Synorogeeniset intruusiot	21
4.3.2 Myöhäisorogeeniset intruusiot	25
4.3.3 Postorogeeniset intruusiot	28
5 METAMORFOOSIN JA RAKENTEN TULKINTAA	29
5.1 Metamorfisista olosuhteista	29
5.2 Graniittisen sulan muodostuminen	31
5.3 Tektoniikka	33
6 GEOKEMIA	33
6.1 Yleistä	33
6.2 Pintakivilajit	34
6.2.1 Biotiitti-paragneissit, psammiittiset liuskeet ja grafiitti-sulfidi-paraliuskeet	34
6.2.2 Tiirismaa-seurue	34
6.3 Syväkivilajit	37
6.3.1 Gabrot ja dioriitit	37
6.3.2 Granitoidit	38
7 TALOUDELLISET AIHEET	43
7.1 Kitulan Ni-Cu-esiintymä	43
7.2 Luukkolansaaren Mo-Cu-esiintymä	44
7.3 Muita esiintymiä	44
7.4 Kalliokiviaines ja rakennuskivet	44
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	45
9 GEOLOGISIA RETKEILYKOHTEITA	46
KIITOKSET	47
SUMMARY: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area	48
KIRJALLISUUSVIITTEET – REFERENCES	50

Liite – Appendix 1. Kallioperäkartta 1:100 000 – Pre-Quaternary rocks 1:100 000

Liite – Appendix 2. Pintakivilajien kemiallisia koostumuksia – Chemical compositions of supracrustal rocks

Liite – Appendix 3. Syväkivien kemiallisia koostumuksia – Chemical compositions of plutonic rocks

1 ALUE JA TUTKIMUSVAIHEET

Puumalan kallioperäkartta käsittää Suomen kantakartaston 1:100 000-mittakaavaisen lehden 3143. Karttalehtialue sijaitsee kaakkoisessa Suomessa, Etelä-Savon maakunnassa ja kattaa suurimman osan Puumalan kunnasta sekä vähäisiä määriä Juvan, Ristiinan, Ruokolahden, Savitai-paleen ja Taipalsaaren kunnista ja Mikkelin kaupungista. Tässä raportissa kuvataan Puumalan karttalehden (3143) alueen kallioperä. Liitteenä on alueen 1:100 000-mittakaavainen kallioperäkartta.

Osana Suomen kallioperän 1:200 000-mittakaavaisen karttatietokannan tekoa päätti Geologian tutkimuskeskus (GTK) vuonna 2007 suorittaa täydentävän kallioperäkartoituksen Puumalan karttalehdellä, koska sieltä – viimeisenä Etelä-Suomesta – ei ollut käytettävissä 1:100 000-mittakaavaisen kallioperäkartoitusohjelman tuloksia. Kenttätyö fokuoitiin niihin kohteisiin, jotka olivat kiintoisia geofysikaalisten matalalentokarttojen perusteella. Samalla kerättiin kivinäytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Tämä raportti perustuu kesinä 2007–2008 tehtyyn kolmen viikon mittaiseen kallioperäkartoitukseen (260 havaintoa) sekä alueelta aikaisemmin julkaistuihin geologisiin havaintopisteisiin (~1 200 kpl) ja muihin tutkimustuloksiin.

Merkittäviä aikaisempia tutkimuksia Puumalan alueelta ovat erilaiset opinnäytetyöt. Kitulan (3143 09) noriittiin liittyvää pientä Ni-Cu-malmiaihetta on lisensoitettavissaan kuvannut Hyvärinen (1967). Salaterän (1976) pro gradu -tutkielma käsitteli karttalehtien 3143 01 ja 02 alueellista geologiaa, lähinnä kiillegneissejä, metavulkaniitteja, kvartsiittisia kiviä ja granitoideja. Inkinen (1984) on pro gradu -työssään tutkinut Luukkolan saaren (3143 08) Mo-Cu-esiintymien mineraaleja ja sivukiven muuttumista. Pitkäsen (1985) pro gradun aihe oli Luonterin postorogeeninen intruusio, joka pohjoisesta käsin ulottuu hiukan Puumalan karttalehdelle. Heinonen (1987) on tarkastellut Käköveden batoliitin (3143 08, 10 ja 11) petrologiaa ja geokemiaa pro gradu -työssään. Saman batoliitin intruusiomekanismia ja

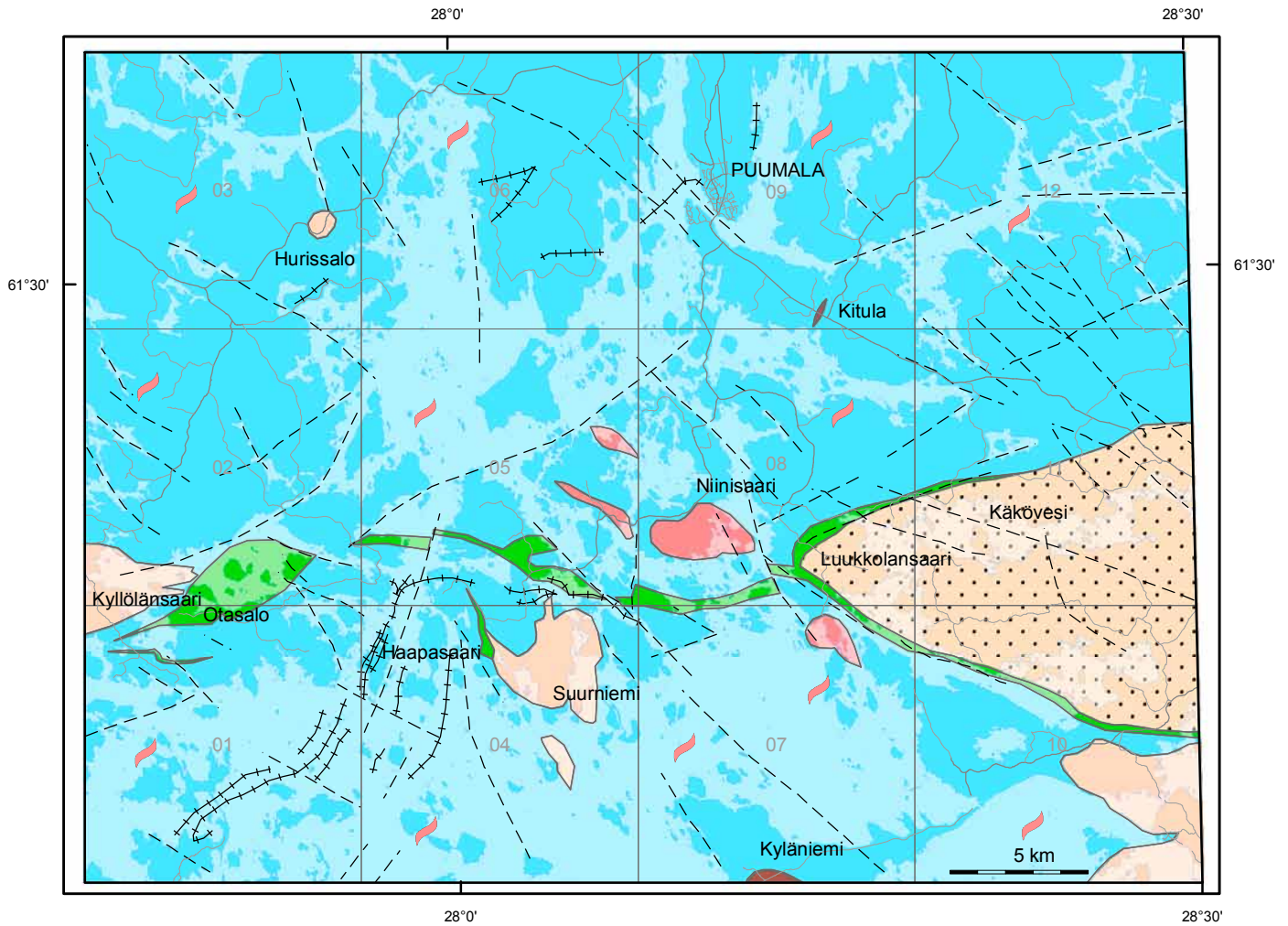
tektonista asemaa sivuaa myös Nironen (1985) lisensoitettavissaan.

Outokumpu Oy on suorittanut 1970-luvulla laaja-alaisia maastotutkimuksia varsinkin karttalehdillä 3143 01 ja 02. Kyseinen aineisto on ollut kirjoittajan käytettävissä. Edellä mainittuja Kitulan ja Luukkolan saaren malmiaihetta ovat kuvanneet myös Marmo & Hyvärinen (1951), Marmo (1955) ja Nurmi ym. (1984) sekä Nurmi (1985). Muista töistä mainittakoon GTK:n tietokannoissa olevat litogeokemialliset analyysit (Rasilainen ym. 2007) ja petrofysikaaliset mittaukset (Säävuori & Hänninen 1997) sekä kiviainestietokannan tulokset (GTK:n kiviainestietokanta) Puumalan kartta-alueelta, kaikki kivilajikuvauksineen. Lisäksi alueelta oli käytettävissä geofysikaalinen matalalentoa-aineisto. Yhteensä GTK:n numeerisissa tietokannoissa on Puumalan kartta-alueelta noin 1 500 paikkaan sidottua kallioperägeologista havaintoa tutkimuslomakkeineen.

Hyödyllistä geologista tietoa on saatavissa myös viereisiltä kartta-alueilta, jotka aikoinaan on kartoitettu Geologian tutkimuskeskuksen 1:100 000-mittakaavaisen kartoitusohjelman puitteissa (ks. Vormo 1964, 1965, Lehijärvi 1966, Korsman & Lehijärvi 1973, Nykänen 1987, 1988, Tyrväinen 1990, 1991). Etelä-Savon vanhasta kivilajikartasta (Hackman & Berghell 1931) ja sen selityskirjasta (Hackman 1933) löytyy vain yleispiirteisiä mainintoja Puumalan alueen geologias-ta.










Syväkivet on tässä raportissa nimetty Streckeisenin (1976) luokittelua käyttäen. Metasedimentit ja -vulkaniitit on pääosin nimetty GTK:n Finstrati-tietokannan mukaan.

Maantieteellisesti Puumalan karttalehden alue lukeutuu Saimaan vesistöalueen eteläosaan. Topografialtaan se on varsin rikkonaista; saaria ja niemiä on runsaasti. Puolet karttalehden alueesta onkin vesistöä. Viimeksi mainittua seikkaa lukuun ottamatta kalliopaljastuneisuus on Puumalan kartta-alueella yleensä hyvä. Tekstissä, kuvissa ja taulukoissa esitetyt koordinaattilukemat on ilmoitettu peruskoordinaatiston mukaan.



Pohjakartta: © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MML/11

MERKKIEN SELITYS - LEGEND

-  Graniittia juonina ja suonina - Granite dykes and veins
-  Grafiitti-sulfidi-paraliusketta - Graphite-sulphide parascist
-  Siirros tai ruhje - Fault or fracture
-  Graniittia (S-tyyppistä) - Granite (S-type)
-  Granodioriittia - Granodiorite
-  Tonalittia - Tonalite
-  Gabroa ja dioriittia - Gabbro and diorite
-  Tiirismaa-seurueen metavulkaniitteja ja -sedimenttejä - Metavolcanic and metasedimentary rocks of the Tiirismaa Suite
-  Biotiitti-paragneissia (granaatti- ja kordieriittipitoista) - Biotite paragneiss (garnet- and cordierite-bearing)

Kuva 1. Puumalan karttalehtialueen kallioperän yleispiirteet.
 Fig. 1. General geology of the Puumala map sheet area.

2 KALLIOPERÄN YLEISPIIRTEET

Puumalan alueen vallitsevina kivilajeina (ks. kuva 1) ovat porfyroblastiset biotiitti-paragneissit, joita on perinteisesti kutsuttu myös kiillegneisseiksi, granaatti-kordieriitti-gneisseiksi tai kintsigiiteiksi (esim. Korsman & Lehijärvi 1973, Nykänen 1988, Lehtinen ym. 1997). Kivet ovat seoksia eli migmatiittisia, eli niissä on myös vaihtelevan levyisiä graniittisia suonia ja juonia. Alkuperältään ne ovat luultavasti turbidiittisia. Alueen muita pintakivilajeja ovat erilaiset metavulkaniitit, kvartsi-maasälpäliuskeet ja kvartsiittiset kivet, jotka muodostavat kartta-alueen poikki kulkevia horisontteja, yleensä itä-länsisuunnassa Otasalosta Luukkolansaareen. GTK:n Finstrati-tietokannan yksikköjaottelussa ne kuuluvat Tiirismaa-seurueeseen.

Tutkimusalueen granitoidit on jaettu syn-, myöhäis- ja postorogeenisiin ikäryhmiin niiden suhteessa svekofennialaiseen orogeenian huippuvaiheeseen (taulukko 1). Taulukossa 1 on myös granitoidien uusin yksikköjaottelu GTK:n ohjeistuksen mukaan. Syväkivistä yhtenäisin ja laaja-alaisin on 110 km²:n kokoinen synorogeeninen Käköveden batoliitti, joka jatkuu kartta-alueen ulkopuolelle itään. Tutkitulla alueella on myös muutama muu, mutta pienempi synorogeeninen

granitoidi-intruusio, esimerkiksi Suuriniemessä (3143 04). Myöhäisorogeenisia kiviä edustavat melko tasalaatuiset S-tyypin graniittialueet ja toisaalta epätasalaatuiset pegmatiittiset, mikrokliniivaltaiset leveät graniittijuonet. Kartta-alueen nuorin magmakivi on postorogeeninen, noin 1,80 Ga:n ikäinen Luonterin granodioriitti.

Suomen geologisessa jaottelussa Puumalan alueen kallioperä lukeutuu Etelä-Suomen svekofennisen kaarikompleksin itäosaan (Korsman ym. 1997, Lehtinen ym. 1997). GTK:n yksikköjaottelun (Finstrati) perusteella alueen valtakivet, porfyroblastiset biotiitti-paragneissit, kuuluvat Etelä-Suomen superseurueeseen ja siinä Hämeen migmatiitti-seurueeseen. Mafiset (tummat) ja intermediääriset metavulkaniitit, kvartsi-maasälpäliuskeet ja kvartsiittiset kivet ovat puolestaan osa Tiirismaa-seuruetta, jota tavataan varsinkin Päijät-Hämeessä. Kivilajiseuruetta on tässä raportissa kutsuttu myös Otasalo-Luukkolansaarijaksoksi. Puumalan alueen tonaliittiset ja granodioriittiset syväkivet kuuluvat Etelä-Suomen plutoniseen seurueeseen ja S-tyypin graniitit ja leveät graniittijuonet Etelä-Suomen graniitti-seurueeseen (taulukko 1).

Taulukko 1. Puumalan alueen granitoideja; ikä, tektonen asema ja yksikköjaottelu.
 Table 1. *Granitoids of the Puumala area; age, tectonic setting and lithodemic division.*

Ikä - Age (Ga)	Tektoninen asema - Tectonic setting	Intruusio - Intrusion	Yksikköjaottelu - Lithodemic division
~1.80	Postorogeeninen	Luonteri	Ävan plutoninen seurue
1.81–1.84	Myöhäisorogeeninen	Pegmatiittinen graniitti S-tyypin graniitti	Etelä-Suomen graniitti-seurue Etelä-Suomen graniitti-seurue
~1.88	Synorogeeninen	Kyllölänsaari Käkövesi Vuosalmi Suuriniemi	Etelä-Suomen plutoninen seurue Etelä-Suomen plutoninen seurue Etelä-Suomen plutoninen seurue Etelä-Suomen plutoninen seurue

Lahtisen ja muiden (2005) esittämän laattatektonisen mallin mukaan eteläisen Suomen kallioperä alkoi kehittyä noin 1,90 Ga sitten, jolloin mikromanner ja saarikaaret törmäsivät vanhempaan arkeeseen kallioperään aiheuttaen maankuoren paksuuntumista. Tästä seurasi noin 1,88 Ga:n ikäisen graniittisen magman intrudoituminen kuoren alaosan sulaessa ja lisäksi myös voimakas pintakivilajien metamorfoosi. Kaakkoisessa Suomessa ja samalla Puumalan alueella tätä varhaisempaa metamorfoosia seurasi noin 1,82 Ga:n ikäinen metamorfoosi ns. myöhäisorogeenisessa vaiheessa, jolloin kiteytyi myös runsaasti mikrokliniivaltaista graniittia juonina ja pieniä int-

ruusioita (Korsman ym. 1984). Viimeksi mainittu metamorfoosi on käytännössä peittänyt mahdolliset aikaisemmissa metamorfooseissa muodostuneet rakenteet.

Kallioperä sisältää useita pitkänomaisia aeromagneettisia ja aerosähköisiä anomalioita (kuva 2). Yleistäen voidaan sanoa, että kartta-alueen keskiosan itä-länsisuuntaiset pitkänomaiset aeromagneettiset anomaliat aiheutuvat vulkaanisista kivistä. Kartta-alueen pohjoisosan aeromagneettiset anomaliat puolestaan johtuvat kiisupitoisista granaatti- ja kordieriittipitoisista biotiitti-paragneisseista. Niillä alueilla, joita luonnehtii sekä magneettinen että sähköinen anomalia, tavataan

usein vierekkäin vulkaniitteja ja rapautuneita biotiitti-paragneissejä tai grafiitti-sulfidi-paraliuskeita. Runsaimmin grafiittia sisältävät liuskeet löytyvät voimakkaimmissa aerosähkösissä anomaliaissa.

Lukuisat niemet, saaret ja niiden väliset salmet luonnehtivat tutkittavaa aluetta. Pinnanmuodos-

tukseltaan kallioperä on siten epätasalaatuinen. Korkokuvakartoissa voi todeta runsaasti pitkänomaisia ”laaksoja”, jotka heijastavat maankuoren yläosan hiertovyöhykkeitä. Selvimmät hiertovyöhykkeet on merkitty liitteenä 1 olevaan kivilajikarttaan.

3 GEOFYSIKAALINEN AINEISTO

Tutkimusalueelta on käytettävissä GTK:n matalalentogeofysiikka. Magneettisen ja sähköisen ai-

neiston perusteella Puumalan kallioperä sisältää useita anomaliaita.

3.1 Magneettinen aineisto

Käköveden batoliitti – kartta-alueen itäreunalla (3143 11) – erottuu kohonneena, suhteellisen tasalaatuisen intensiteetin omaavana anomaliana selvästi ympäristöstään (vrt. kuvat 1 ja 2A). Tämän aiheuttaa batoliitissa aksessorisena mineraalina oleva magnetiitti (Heinonen 1987). Myös Tiirismaa-seurueen metavulkaniitteihin liittyy kohonnut magneettinen komponentti. Varsinkin viereisessä Kurensalossa (3143 08) korkeimmat anomaliat sijaitsevat amfiboliittisten kivien kohdalla (Hyvärinen 1958). Samalla alueella on myös

porfyroblastisia biotiitti-paragneissejä, joissa on magneettikiisua.

Puumalan kartta-alueen pohjoisreunan poimuttuneiden aeromagneettisten kuvioiden alueelta ei ole löytynyt metavulkaniitteja vaan rapautuneita porfyroblastisia biotiitti-paragneissejä (vrt. kuvat 1 ja 2A). Esimerkiksi Ruoniemen alueella (3143 06) nämä anomaliat pääosin aiheutuvat gneissien magneettikiisusta, joka esiintyy kivessä ohuina suonina rikkikiisun kanssa.

3.2 Sähköinen aineisto

Aerosähköiset anomaliat heijastavat kallioperässä olevia grafiitti- ja/tai kiisupitoisia kiviä. Verrattaessa sähköistä matalalentokarttaa aeromagneettiseen aineistoon voidaan todeta, että sähköiset ja aeromagneettiset pitkänomaiset anomaliajaksot ovat paikoin erillään, paikoin vierekkäin tai lähes päällekkäin. Varsinkin kartta-alueen vasemman alanurkan (3143 01, 02) voimakkaiden sähköisten anomalioiden kohdalla on kapeita grafiitti- ja kiisupitoisia liuskeita välikerroksina rapautuneessa biotiitti-paragneississä. Viereiset magneettiset anomaliat johtuvat ka-

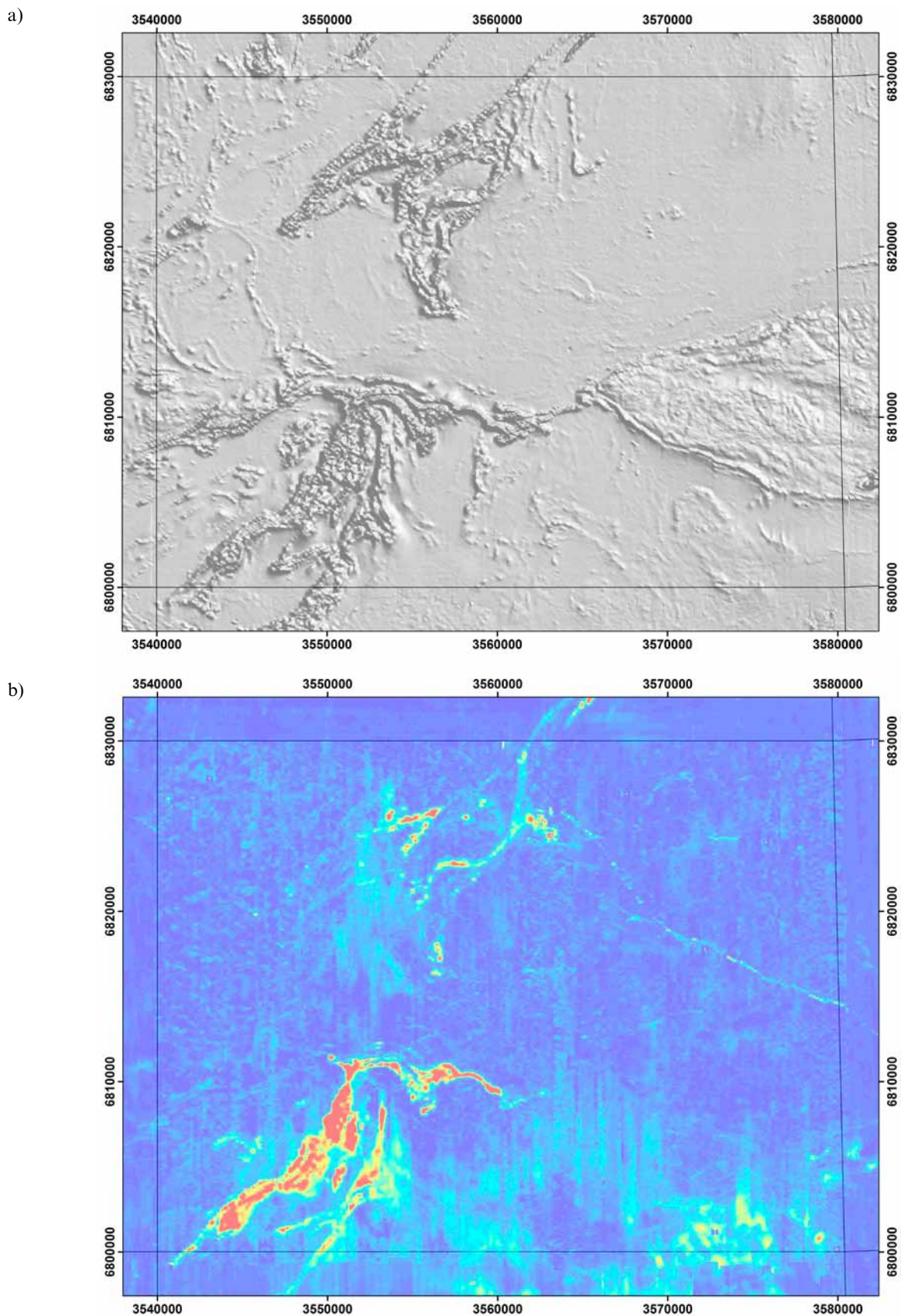
peista amfiboliittista kerroksista tai rapautuneista biotiitti-paragneisseistä (vrt. kuvat 2A ja 2B). Alueen grafiitti-sulfidi-paraliuskeita on parhaiten paljastuneena 3 km pitkässä Haapasaaressa (3143 04).

Aerosähköiset anomaliat puuttuvat Tiirismaa-seurueen mafisten metavulkaniittien vierestä silloin, kun niiden läheisyydessä on kvartsiittisia liuskeita tai kvartsi-maasälpäliuskeita. Muualla Tiirismaan mafisten metavulkaniittien läheisyydessä aerosähköisiä anomaliaita sen sijaan on yleisesti (vrt. kuvat 1 ja 2B).

3.3 Gravimetrinen aineisto

Puumalan kartta-alueella Bouguer-anomalia kohtaa lounaasta koilliseen päin. Tämä voidaan selittää alueellisella geologialla. Tutkitun alueen koillisnurkka kuuluu Sulkavan termiseen doomiin (positiivinen Bouguer-anomalia), jota luonnehtii granuliittifasieksen metamorfoosi ja ilmei-

sesti myös paksuuntunut maankuori (Korsman 1984). Toisaalta Puumalan kartta-alueen lounaispuolella, 10 km:n päässä, alkaa laaja-alainen anorogeeninen Viipurin rapakivigraniitti, jonka kohdalla on painovoimaminimi ja suhteellisen ohut maankuori (Korja ym. 1993, Elo 1997).



Kuva 2. Puumalan kartta-alueen geofysikaalisia karttoja. A) Aeromagneettinen matalalentokartta, jossa anomalioiden gradientit on korostettu vinovalaistuksella. B) Aerosähköinen reaali pseudovärikartta, jossa punertavat alueet edustavat sähköä hyvin johtavia kivilajeja.

Fig. 2. Airborne geophysical maps of the Puumala area. A) Low-altitude airborne magnetic map, where the anomaly amplitudes have been given in greytone. B) Electromagnetic map. The red colour indicates areas of good conductivity.

4 KIVILAJIT

4.1 Pintakivilajit

4.1.1 Seoksinen biotiitti-paragneissi

Seoksiset eli migmatiittiset biotiitti-paragneissit (kuva 3A) ovat Puumalan alueen yleisin kivilaji. Biotiitti-paragneissit, samoin kuin jäljempänä kuvattavat psammiittiset liuskeet, kiisupitoiset liuskeet ja gneissit sekä kalkkikivet ja vastaavat, kuuluvat GTK:n uudessa yksikköjaottelussa Hämeen migmatiittiseurueeseen. Migmatiittiterminologian (ks. Mehnert 1971, kuva 1a, s. 10) mukaan näiden seoskivien yleisin rakenne on phlebiittinen (suonirakenne). Kalliopaljastuman mittakaavassa gneisseissä voi lähes aina erottaa tummahkon, biotiittivaltaisen paleosomiosan ja toisaalta vaaleahkoja tai punertavia graniittisuonia ja juonia, jotka muodostavat kiven neosomiosan (kuva 3A). Tämäntyyppiset gneissit ovat varsin yleisiä koko Etelä-Savossa. Silloin kun paleosomi- ja neosomiosat eivät erotu kovin selvästi, on gneissien rakenne lähinnä haamu- maista eli nebuliittista (kuva 3B). Tämäntyyppiset migmatiitit ovat Puumalassa harvinaisempia kuin phlebiittiset migmatiitit.

Biotiitti-paragneissien päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä, biotiitti, granaatti, kordieriitti ja joskus myös sillimaniitti. Sormenpään kokoisia granaatti-, kordieriitti- ja kalimaasälpäporfyroblastteja on yleisesti kiven paleosomiosassa, ja kahta ensiksi mainittua myös kiven neosomiosassa; päämineraalien keskinäiset pitoisuussuhteet vaihtelevat kuitenkin runsaasti jo vierekkäisillä kallioilla. Granaattia ja kordieriittia on pääsääntöisesti yhteensä 5–20 %. Biotiitin määrä vaihtelee 5 ja 25 %:n välillä. Sillimaniittia on yleensä vain fibroliittisina neulasina kordieriitin sisällä. Punertavat granaattiporfyroblastit ja harmaansinertävät kordieriittiporfyroblastit ovat rikkonaisia. Kordieriitti on usein piniittytyntynyt. Kalimaasälpäporfyroblastit sisältävät paikoin pieniä biotiittirakeita.

Puumalan alueen biotiitti-paragneissit sisältävät lähes aina kapeita hiekkaisia eli psammiittisia välikerroksia. Psammiittisten liuskeiden raekoko on pienempi kuin gneissien. Nämä välikerrokset koostuvat lähes kokonaan plagioklaasista, kvartsista ja biotiitista. Välikerroksien leveys vaihtelee suuresti: yleensä ne ovat 0,1–10 m, mutta paksumpiakin on tavattu. Kiillevaltaisten ja psammiittisten välikerroksien vuorottelu on tyyppillis-

tä turbidiiteille, joita näidenkin kivien tulkitaan alun perin olleen. Paksummat psammiittiset välikerrokset ja liuskeet kuvataan seuraavassa luvussa.

Biotiitti-paragneissien migmaattiutumisen voimakkuus näyttää hiukan vaihtelevan alueellisesti. Se on vähäisempää karttalehden 3143 01 seudulla kuin muualla. Samalla gneissien biotiitti on hiukan karkeampirakeisempaa, esim. Pitkäniemen alueella ($x = 6809807$, $y = 3542756$) kuin muualla. Vaikka myös nämä gneissit ovat porfyroblastisia ja karkearakeisia, ei niissä näytä olevan niin runsaasti graniittista ja pegmatiittista suoniainesta kuin muualla. Salaterä (1976) on kutsunut karttalehden 3143 01 metapeliittejä kordieriitti-kiillegneisseiksi ja toteaa niissä olevan muun muassa kerrallisuutta. Hänen mukaansa näiden gneissien kordieriitti-granaattisuhde on >1 .

Kurisioteettina voidaan mainita, että Mau Nolan alueelta (3143 04) on seoksisista kiillepitoisista gneisseistä – ilmeisesti niihin liittyvissä pegmatiiteissa – löydetty jopa 10 cm:n kokoisia apatiittikiteitä (Hackman 1933).

4.1.2 Psammiittinen liuske

Seoksisten biotiitti-paragneissien seassa on paikoin jopa kymmenien metrien levyisiä psammiittisia kerroksia (kuva 4). Liitteenä olevaan kallioperäkarttaan on päällemerkinnöin kuvattu niitä paikkoja, joissa nämä kerrokset ovat poikkeuksellisen leveitä (>20 m). Psammiittiset liuskeet ovat pieni-keskirakeisia. Niiden sisältämän biotiitin määrä tulee helposti aliarvioitua, koska mineraalia on pienirakeisuuden takia vaikeaa nähdä. Nämä kivet voivat sisältää kapeita (1–10 cm) peliittisiä välikerroksia. Ca-konkreetiot ovat harvinaisia.

Psammiittisen liuskeen päämineraalit ovat plagioklaasi (30–40 %), kvartsi (30–50 %), biotiitti (5–15 %) ja paikoin kalimaasälpä (0–10 %). Granaatti on tyyppillinen aksessorinen mineraali, ja sitä on myös kivien graniittisuonissa. Biotiitin määrän vaihtelu heijastuu kiven väriin; vaaleimmat psammiittiset välikerrokset sisältävät vähiten biotiittia. Joskus liuskeessa on tavallista runsaammin plagioklaasia; kivi on silloin vihertävänharmaata ja saattaa sisältää pyrokseenia.

a)



b)



Kuva 3. Puumalan migmatiittisia biotiitti-paragneissejä. A) Yleisin tyyppi; phlebiittinen biotiitti-paragneissi, jota voi kutsua myös granaatti-kordieriitti-kiillegneissiksi. Kivi sisältää runsaasti graniittisuonia. B) Harvinaisempi nebuliittinen biotiitti-paragneissi, joka paikoin muistuttaa granaatti-pitoista graniittigneissää.

Fig. 3. Migmatitic biotite paragneisses of the Puumala area. A) The most common type; phlebitic biotite paragneiss, which can also be called garnet-cordierite gneiss. The rock contains abundant granitic veins. B) Less common nebulitic biotite paragneiss, which locally resembles garnet-bearing granite gneiss.

A) Autio SW, 3143 08, x = 6815908, y = 3566216, B) Huuhkaala, 3143 08, x = 6819363, y = 3568781.
Laatta 8 cm.



Kuva 4. Haamumaisen raitainen psammiittinen liuske, joka sisältää muutaman biotiittivaltaisen ohuen tumman välikerroksen (kuvan vasen alanurkka) ja graniittisuonen.

Fig. 4. Psammitic schist with ghost-like banding. The rock comprises narrow dark, biotite-rich intercalations and granitic veins (lower left corner of the photo).

Otasalo, 3143 01, x = 6808102, y = 3545300. Laatta 8 cm.

4.1.3 Grafiitti-sulfidi-paraliuske ja kiisupitoinen biotiitti-paragneissi

Varsinaisia grafiitti-sulfidi-paraliuskeita on runsaimmin karttalehdillä 3143 01, 04 ja 05, jossa ne aiheuttavat useita pitkänomaisia vierekkäisiä, koillinen-lounaisuuntaisia sähköisiä anomalioita, noin 2 x 10 km:n kokoisella alueella. Koska grafiitti-sulfidi-paraliuskeet eivät pääsääntöisesti kestä eroosiota, anomalia-alueet sijaitsevat yleensä vesistöjen kohdalla. Haapasaaren (3143 04) rantakallioissa on kuitenkin grafiitti- ja kiisupitoisia liuskeita näkyvissä kapeina välikerroksina (0,01–0,1 m) rapautuneessa biotiitti-paragneisissä (kuva 5). Välikerrokset sisältävät rikkiä ~5 paino-% ja hiiltä ~4 paino-%, eli käytetty kivilajinimi on oikeutettu. Kiisut näyttävät olevan grafiitti-sulfidi-paraliuskeissa pirotteena.

Puumalan alueen valtakivi, granaatti- ja kordieriittipitoinen biotiitti-paragneissi, on paikoin rapautunut suhteellisen kapeissa (1–200 m) mutta pitkänomaisissa (1–10 km) vyöhykkeissä. Nämä vyöhykkeet sisältävät magneetti- ja rikkikiisuja, mutta rakenteellisesti ne muistuttavat alueen

valtakiveä, edellä mainittua gneissia. Niissä on muutaman millimetrin paksuisia rikkikiisusuonia kulun suunnassa ja joskus hiukan vihertävää spinelliä, esim. Hurissalon kylän koillispuolella, Ruoniemessä (3143 03). Rapautuneiden biotiitti-paragneisien kohdalla on aeromagneettinen anomalia ja usein myös pienemmät sähköiset anomalia.

Grafiitti-sulfidi-paraliuskeet ovat siis läheisesti assosioituneet kiisupitoisten biotiitti-paragneisien kanssa, jotka paikoin aiheuttavat aeromagneettisen anomalian. Kun eräät Tiirismaa-seurueen mafiset vulkaniititkin aiheuttavat aeromagneettisia anomalioita, on näiden kolmen kivilajin sijaintien hahmottaminen vaikeaa peitteisillä alueilla.

4.1.4 Amfiboliitti ja sarvivälkegneissi

Kartta-alueen eteläreunalla, Rahikkalassa ja Kyläniemen Soukkoniemessä (3143 01, 07), tavaetaan amfiboliittia ja raitaista sarvivälkegneissia. Amfiboliitit ovat vihertävänmustia ja liuskettuneita sekä kiisupitoisuuden takia joskus rapautuneita. Sarvivälkegneisit ovat enemmän raitaisia



Kuva 5. Grafiitti-sulfidi-paraliusketta välikerroksina rapautuneessa biotiitti-paragneississä.

Fig. 5. Graphite-sulphide paraschist intercalations in weathered biotite paragneiss.

Haapasaari, 3143 04, x = 6807615, y = 3550170. Laatta 8 cm.

ja juovaisia, ja raekoko niissä on vähän isompi kuin amfiboliiteissa. Niiden läheisyydestä löytyy joskus diopsidigneissejä välikerroksina. Nämä amfiboliitit ja sarvivälkegneissit eivät todennäköisesti kuulu Tiirismaa-seurueeseen, joka on kuvattu kappaleessa 4.2.

Rahikkalan alueen tyyppiset amfiboliitit jatkuvat muutaman kilometrin pituisena jaksone etelään kartta-alueen ulkopuolelle Pönniälään, jossa niiden mineraalikoostumusta on kuvannut Vormaa (1965); siellä ne sisältävät runsaasti sarvivälkettä (~50 %) ja joskus vähän myös biotiittia, diopsidia ja kummingtoniittia.

4.1.5 Kalkkikivi ja diopsidigneissi

Wollastoniittipitoisia karbonaattikiviä on Heinäsensalon Luotoperänniemellä (3143 07) Saimaan rannalla (Halonen 1958). Halosen mukaan alueella on ainakin kaksi 40–50 metrin levyistä kalkkikivivyöhykettä graniitin kontaktissa.

Kalkkikivi on kerroksellista, ja siinä kapeat, osittain diopsidipitoiset kerrokset vuorottelevat puhtaisten kalsiittikerroksien kanssa. Wollastoniittia on kiteytynyt pegmatiittisten graniittijuonten kontaktiin. Kalkkikivikerroksien kulku on suunnassa 030°.

Poimuttuneita karsikerroksia ja epäpuhtaita kalkkikivikerroksia sekä raitaisia diopsidigneissejä on amfiboligneissien yhteydessä Kyläniemen länsikärjessä, Soukkoniemessä (3143 07). Alueella karbonaattipitoiset kerrokset ovat 1–10 cm:n paksuisia. Alueella on myös kapeita pegmatiittijuonia. Karsikerroksien ja gneissien kulku on yleensä pohjois-eteläinen, ja siten nämä kivet ilmeisesti jatkuvat viereisen Lappeenrannan karttalehden (3134) puolelle. Vormaa (1965) on kuvannut Lappeenrannan karttalehden pohjoisosista pohjois-eteläsuuntaisia karsikiviä, diopsidi-amfiboliittia ja diopsidigneissiä. Soukkoniemen karbonaattipitoiset kivet amfiboligneisseineen eivät ilmeisesti kuulu Tiirismaa-seurueen kivilajeihin.

4.2 Tiirismaa-seurueen kivilajit

Kartta-alueella keskiosassa kulkee itä-länsisuuntaisena 0,1–1,5 km leveä ja ~35 km pitkä epäyhtenäinen vyöhyke, jota luonnehtivat erilaiset metavulkaniitit, kvartsi-maasälpäliuskeet, kvartsiitit ja konglomeraatit. Nämä kivet eroavat litologialtaan selvästi Puumalan valtakivistä, seoksisista ja porfyroblastisista biotiitti-paragneisseistä. Ne kuuluvat GTK:n yksikköjaottelussa Tiirismaa-seurueeseen, ja vyöhykkeen eräillä kivilajeilla on oma litodeemi Suomen geologiaa koskevassa yksikköjaottelussa. Kivilajiseuruetta on tässä raportissa kutsuttu maantieteellisen sijainnin perusteella myös Otasalo-Luukkolansaari-jaksoksi. Otasalo sijaitsee Puumalan kartta-alueen lounaisosassa karttalehtien 3143 01 ja 02 rajalla, ja Luukkolansaari puolestaan idempänä Puumalan kuntakeskuksen eteläpuolella (3143 08) (ks. Liite 1).

Puumalan alueella Tiirismaa-seurueen mafisia metavulkaniitteja on runsaimmin tavattu Summalansaaren länsiosassa (3143 02). Liitteenä 1 olevassa kallioperäkartassa jakson mafiset metavulkaniitit, mafiset tuffibreksiat ja mafiset plagioklaasiporfyyriitit on kaikki merkitty samalla värillä mutta eroteltu päällemerkinnöin. Intermediäärisiä (-felsisiä) metavulkaniitteja tavataan jaksossa vähemmän kuin mafisia metavulkaniitteja. Tiirismaa-seurueessa on myös laajalti kvartsi-maasälpäliuskeita, joiden alkuperä on pääosin epiklastinen. Kvartsiittisia kiviä lienee runsaimmin jakson itäosissa, Luukkolansaaren seudulla. Tiirismaa-seurueen kivien mineraalikoostumuksia on taulukossa 2 ja kemiallisia koostumuksia on liitteessä 2. Seuraavilla sivuilla kuvataan tarkemmin näitä erityyppisiä kiviä ja niiden sijaintia.

4.2.1 Mafinen ja intermediäärinen metavulkaniitti

Mafista, raitaista metavulkaniittia on runsaasti Summalansaaren länsiosassa (3143 01) kvartsi-maasälpäliuskeiden ja biotiitti-paragneissien välissä paikoin jopa 300 metrin paksuisena ja kilometrejä pitkänä vyöhykkeenä. Kontakti kiilvaltaisiin gneisseihin on yleensä jyrkähkö (Salaterä 1976), mutta Muuttokallioniemen alueella ($x = 6811092$, $y = 3547296$) se on vaihtuva. Näitä vulkaniitteja luonnehtii mustien, amfiboliittisten ja toisaalta hiukan vaaleampien ja intermediäärisempien kerroksien vuorottelu (kuva 6A). Metavulkaniitit sisältävät paikoin uraliittisia, kooltaan 1 cm olevia amfiboliteiteitä siinä määrin, että kiveä voisi kutsua uraliittiporfyyriitiksi.

Lintusalon kaakkoisosassa (3143 05) on laa-

jahkoina alueina tummanharmaata ja heikosti raitaista metavulkaniittia (kuva 6B), jonka alkuperä lienee osaksi tuffittinen. Kiveä luonnehtii suhteellisen korkea biotiittipitoisuus (~20 %). Muut päämineraalit ovat plagioklaasi (~60 %), sarvivälke (~5 %), ortopyrokseeni (~5 %) ja kvartsi (~5 %) (taulukko 2). Kivi ei siis ole niin raitainen ja tumma kuin Summalansaaren alueen mafiset metavulkaniitit (vrt. kuvat 6A ja 6B). Vaikka kivi vaikuttaa intermediääriseltä, on ainoa analysoitu näyte koostumukseltaan basalttinen trakyandesiiitti (Liite 2, sarake 2). Lintusalon metavulkaniiteissa on siellä täällä myös pieniä Ca-rikkaita osueita, ja se viittaa kiven alkuperäiseen huokoisuuteen. Mafisia metavulkaniitteja on myös Luukkolansaaren alueella (3143 08), jossa niitä luonnehtivat erilaiset primäärirakenteet (Heinonen 1987).

Puumalan kallioperässä intermediäärisiä vulkaniitteja on selvästi niukemmin kuin mafisia variantteja. Intermediääristä, dasiittista ja joskus melkein felsistä metavulkaniittia on Luukkolansaaren eteläpuolella Käköveden batoliitin reunalla (3143 08) kapeana, kilometrejä pitkänä jaksena. Kivien koostumus saattaa vaihtua hyvin lyhyellä matkalla (kuvat 7A ja 7B). Nämä metavulkaniitit ovat suhteellisen tasalaatuisia, ja kivissä näkyy usein yksittäisiä plagioklaasi- ja amfibolihajarakeita, jolloin ne ovat lähinnä porfyrisia kidetuffeja. Felsisissä tyypeissä on plagioklaasi usein serisiittiytynyt ja sarvivälke kloritisoitunut. Intermediäärisen metavulkaniitin mineraalikoostumus on esitetty taulukossa 2.

Käköveden batoliitin eteläreunalla intermediäriset metavulkaniitit ovat usein deformaatioita ja joskus muodostavat seoskiveä peliittisten gneissien ja tonaliitin kanssa. Kartta-alueen kaakkoisosassa, Utulan kylässä (3143 10), kivet ovat voimakkaan metamorfoosin ja deformaation vuoksi paikoin sarvivälkeliuskeita ja -gneissejä, ja samalla niiden alkuperää on vaikeaa määrittellä. Eräät niistä sisältävät ortopyrokseenia.

4.2.2 Plagioklaasi- ja uraliittiporfyyriitti

Yleensä liuskettunutta, mutta paikoin lähes masamaista plagioklaasiporfyyriittia on pitkänomaisena jaksena Lintusalon alueella (3143 05). Kivi on hyvin näkyvissä mm. Halkosaassa, Lintusaloon johtavan maantien kalliroleikkauksessa (kuva 8). Plagioklaasi esiintyy 1–2 cm:n kokoisina hajarakeina hienorakeisessa amfiboliittisessa, runsaasti biotiittia sisältävässä perusmassassa. Paikoin kivi sisältää vain niukasti plagioklaasi-

a)



b)



Kuva 6. Tiirismaa-seurueen mafisia metavulkaniitteja. A) Raitainen basalttinen metavulkaniitti. B) Basalttinen trakyandesitti, joka sisältää runsaasti plagioklaasia (~60 %) ja biotiittia (~20 %).

Fig. 6. Mafic metavolcanic rocks of the Tiirismaas Suite. A) Banded basaltic rock. B) Basaltic trachyandesite with abundant plagioclase (~60%) and biotite (~20%).

A) Karta-aho E, 3143 02, x = 6809587, y = 3545280, B) Vahtivuori, 3143 05, x = 6812201, y = 3556067. Laatta 8 cm.

a)



b)



Kuva 7. Tiirismaa-seurueen metavulkaniittien vaihtuminen samalla kallioperäpaljastumalla. A) Intermediääris-felsinen, tuffiittinen, kalimaasälpää sisältävä metavulkaniitti, joka metrin matkalla vaihtuu kuvassa B) näkyväksi, hiukan mafisemmaksi metavulkaniitiksi. Molemmat kivet sisältävät amfibolia hajaraemaisina kasaumina ja kuvan B kivi lisäksi myös enemmän plagioklaasia.

Fig. 7. Grading in metavolcanic rocks of the Tiirismaa Suite. A) Intermediate-felsic tuffitic, K-feldspar-bearing metavolcanic rock, which grades within one metre to the rock seen in Fig. B, slightly more mafic metavolcanic rock. Both rocks comprise amphibole as phenocrystic aggregates, and the rock in Fig. B also contains more plagioclase.

Luukkolansaari S, 3143 08, x = 6810820, y = 3566719. Laatta 8 cm.

hajarakeita ja on tummaa, jolloin se voidaan nimetä amfiboliitiksi. Lisäksi voi löytää muutamia pieniä sarvivälkekasaukia, jotka edustavat kalsiumrikkaita primääripiirteitä.

Plagioklaasiporfyriitin päämineraalit ovat plagioklaasi, sarvivälke, biotiitti ja kvartsi. Makroskooppisesti selvästi havaittavat hajarakeet koostuvat mikroskooppisessa mittakaavassa pienistä plagioklaasi- ja kvartsirakeista, joiden rakennetta voi kuvata granoblastiseksi. Eräät tummat kasaumat koostuvat kookkaista sarvivälkeiteistä ja niiden muuttumistuloksista, tremoliitti-aktinoliiteista; kivi on silloin melkein uraliittiporfyriittia. Plagioklaasiporfyriitin aksessorisia mineraaleja ovat titaniitti, epidootti, apatiitti ja opaakit.

Myös Luukkolansaaren alueella (3143 08) on plagioklaasiporfyriitteja. Niissä on raportoitu löytyneen virtausrakenteita ja heitteileitä sekä diopsidia (Heinonen 1987). Nämä kivet pääosin ovat alkuperältään laavoja.

4.2.3 Tuffibreksia

Lintusalon eteläosasta (3143 05) on löytynyt agglomeraattista kiveä, jota tässä raportissa kutsutaan tuffibreksiaksi. Kivi sisältää venyneitä heitteileitä pituudeltaan 5–40 cm (kuva 9). Heitteleet koostuvat lähinnä intermediäärisestä porfyriittisestä vulkaanisesta aineksesta, ts. tuffibreksia on melko monomiktinen. Kiven perusmassassa on varsin kalsiumpitoinen ja sisältää kalsiittia. Tuffibreksia muodostaa ainakin kilometrin pituisen ja 25 metriä leveän jakson.

Muutaman metrin paksuisia agglomeraattikerrostumia on myös Otasalon seudulla (3143 02) metavulkaniitteihin liittyen. Alueen agglomeraatit ovat Salaterän (1976) mukaan monomiktisia, ja niiden andesiittisten, sarvivälke- ja plagioklaasipitoisten pommien koko on 10 cm maksimissaan. Lähellä sijaitsevan Summalansaaren länsipäässä, Ruokoveden rannalla, on vulkaanista breksiaa (Salaterä 1976).



Kuva 8. Tiirismaa-seurueen plagioklaasiporfyriittia. Plagioklaasi on 1–2 cm:n pituisina hajarakeina pienirakeisessa amfiboliittisessa perusmassassa.

Fig. 8. Plagioclase porphyritic rock of the Tiirismaa Suite. Plagioclase occurs as phenocrysts of 1–2 cm in size in a fine-grained amphibolitic matrix.

Halkosaari, Lintusalo SE, 3143 05, x = 6811285, y = 3557622. Laatta 8 cm.

Luukkolansaaren Eteläpohjanlahden (3143 08) rannassa on isohko kalliopaljastuma mafista agglomeraattia, jonka päämineraalit ovat pla-

gioklaasi ja sarvivälke (Heinonen 1987). Heitteleiden koko tässä paikassa vaihtelee aina 60 cm:iin asti.



Kuva 9. Venyneitä heitteleit^ä Tiirismaa-seurueen agglomeraattisessa tuffibreksiassa. Vaalea välimassa koostuu lähinnä plagioklaasista, amfibolista ja lisäksi siinä on vähän karbonaattia.

Fig. 9. Stretched bombs in agglomeratic tuff breccia of the Tiirismaa Suite. The light matrix is mainly composed of plagioclase and amphibole, and it also comprises a small amount of carbonate.

Lintusalo SE, 3143 05, x = 6811208, y = 3556206. Laatta 8 cm.

4.2.4 Konglomeraatti ja kvartsiitti

Kvartsiittista konglomeraattikerrostumaa löytyy usean kilometrin matkalta Otasalon Ollilan (3143 01) alueella biotiitti-paragneissien ja kvartsi-maasälpäliuskeiden kontaktissa (Salaterä 1976; kuva 15 ja liite 1). Konglomeraattia on paikoin jopa 20 metrin leveydeltä. Sen pallot koostuvat lähes aina kvartsista, ja niiden koko on 2–10 cm. Salaterän (1976) mukaan konglomeraatin kontakti biotiitti-paragneissiin ja kvartsi-maasälpäliuskeeseen on terävä. GTK:n uusimmassa yksikköjaottelussa tämä kivi on nimetty Ollilan kvartsiitiksi.

Sillimaniitti-serisiittikvartsiittia on 10–30 m leveänä ja 1,5 km pitkänä jaksona Otasalon länsiosassa (Salaterä 1976). Kiven päämineraalit ovat tyypillisesti kvartsi (~65 %), sillimaniitti (~23 %) ja serisiitti (~8 %) (taulukko 2).

Luukkolansaaren alueella (3143 08), Käköveden batoliitin länsipäässä on 400 m leveä ja 2 km:n pituinen vyöhyke sillimaniittikvartsiittia (Inkinen 1984, Nurmi ym. 1984, Heinonen 1987). Kivi on punertavaa, liuskeista ja paikoin jopa myloniittista. Muodostuman länsipäässä kiven väri on lähes valkoinen. Kiven päämineraaleina ovat kvartsi, kalimaasälpä ja sillimaniitti. Sillimaniitti esiintyy deformatiivisina raekasaumina, jotka muodostavat yhdensuuntaisia kimppuja (Heinonen 1987). Paikoin kalimaasälpää ja sillimaniittia ei kuitenkaan ole kivessä ollenkaan. Aksessorisina mineraaleina ovat biotiitti, muskoviitti/serisiitti, turmaliini ja opaakki. Heinosen (1987) mukaan liuske sisältää 5–10 mm:n kokoisia kvartsista koostuvia blastoklasteja, eli siinä on paikoin konglomeraattisia piirteitä. GTK:n yksikköjaottelun mukaan näitä kvartsiittisia kiviä kutsutaan Luukkolan kvartsiiteiksi.

Luukkolansaaren alueen liuskettuneet orto-kvartsiittiset kivet sisältävät paikoin vähän kalimaasälpää, varsinkin silloin kun niiden vieressä on deformatiivista pegmatiittia ja apliittia (kuva 10). Kvartsiitin kalimaasälpä lienee osaksi peräisin viereisestä pegmatiittista tai apliitista. Täten on toisinaan vaikeaa sanoa, onko liuskeinen kivi alkujaan sedimenttiä tai deformatiivista pegmatiittia vai näiden sekoitusta. Näissä seosliuskeissa on kookkaita kvartsipalloja, jotka voivat edustaa pegmatiittisen sulan kiteytymisiä. Outokumpu Oy on 1970-luvulla kartoittanut ko. kvartsiittiset kivet myloniittiseksi graniitiksi, joka paikoin sisältää kvartsipalloja (GTK:n tietokannat; OKU data).

4.2.5 Kvartsi-maasälpäliuske

Otasalossa, Ruokoveden vesistön alueella (3143 02) on noin 1,5 km:n levyinen ja 4,5 km:n pituinen alue kvartsi-maasälpäliusketta, joka paikoin vaihtuu raekoon kasvaessa kvartsi-maasälpägneissiksi. Kivet ovat väriltään harmaita, ja niissä voi erottaa kaksi tyyppiä (Salaterä 1976): melko tasalaatuinen liuske ja täplikäs (fläktig) liuske

(kuva 11A). Viimeksi mainitussa on suhteellisen kookkaita (\varnothing 1–5 cm) harmaanvihertäviä täplikäitä mineraalिकासaumia. Salaterän (1976) mukaan nämä täplät koostuvat lähinnä kvartsista ja maasälvästä, mutta niiden keskiosassa on myös kordieriittia tai sen muuttumistuloksia relikteinä. Paikoin täplät sisältävät myös sekundääristä epidoottia. Näitä kvartsi-maasälpäliuskeita on varsinkin alueella sijaitsevassa Korkiasaareissa.

Molempien kivilajityyppien päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi, biotiitti ja usein myös kalimaasälpä ja kloriitti. Biotiittia ja kloriittia voi yhteensä olla 20 % (taulukko 2).

Otasalon alueella tavataan myös pienirakeisia tummia, jopa kvartsiittia muistuttavia liuskeita (kuva 11B) kapeina (<40 m) mutta 2–3 kilometrin pituisina jaksoina biotiitti-paragneissien seas- sa. Niiden vieressä on joskus vähän intermediäristä metavulkaniittia. Nämä liuskeet kuitenkin sisältävät hyvin pienirakeista biotiittia (10–15 %). Kiven muut päämineraalit ovat kvartsi, plagioklaasi ja kalimaasälpä. Vastaavanlaisia tummia liuskeita ei ole tavattu muualla Puumalan kartta-alueella.



Kuva 10. Luukkolansaaren heikosti juovainen, runsaasti kvartsia sisältävä liuske, jossa on hiertosaumojia ja pegmatiittia (kuvan oikea reuna).

Fig. 10. Slightly banded and sheared quartz-rich schist, which comprises pegmatite (right margin of the photo).
Kotakankaanmäki W, 3143 08, x = 6812496, y = 3566748. Laatta 8 cm.

a)



b)



Kuva 11. Tiirismaa-seurueen liuskeita. A) Täplikäs kvartsi-maasälpäliuske, joka sisältää kloriitti- ja maasälpärikkaita kasaumia kerroksien suunnassa. B) Pienirakeinen kvartsiittinen liuske, joka sisältää biotiittia noin 15 %. Kiven alkuperä lienee vulkaaninen.

Fig. 11. Schists of the Tiirismaa Suite. A) Spotted quartz-feldspar schist, which comprises chlorite and feldspar aggregates parallel to bedding. B) Fine-grained quartzitic schist, which includes approximately 15% biotite. The rock is probably volcanic.
A) Otasalo, Hevosmaa NE, 3143 02, x = 6810007, y = 3543984, B) Otasalo, Kärnäsalon N, 3143 02, x = 6808470, y = 3541721. Laatta 8 cm.

Taulukko 2. Tiirismaa-seurueen kivien mineraalikoostumuksia.
Table 2. Modal mineral composition of rocks from the Tiirismaa Suite.

	1	2	3	4	5
Kvartsi - <i>Quarz</i>	65.2	54.2	32.9	24.7	5.8
Plagioklaasi - <i>Plagioclase</i>	-	27.9	34.8	39.6	60.8
Kalimaasälpä - <i>K-feldspar</i>	-	2.8	6.4	9.8	0.1
Biotiitti - <i>Biotite</i>	-	7.1	7.6	5.1	19.6
Muskoviitti - <i>Muscovite</i>	2.5	-	-	-	-
Serisiitti - <i>Sericite</i>	7.6	1.1	-	-	1.2
Sillimaniitti - <i>Sillimanite</i>	23.1	-	-	-	-
Sarvivälke - <i>Hornblende</i>	-	-	-	7.8	4.9
Ortopyrokseeni - <i>Orthopyroxene</i>	-	-	-	-	5.1
Kloriitti - <i>Chlorite</i>	-	4.9	13.1	10.2	0.6
Epidootti - <i>Epidote</i>	-	0.5	3.1	-	-
Titaniitti - <i>Sphene</i>	-	-	-	0.9	-
Opaakit - <i>Opaque</i>	0.8	+	1.7	+	0.6
Muut - <i>Others</i>	0.8	1.5	0.4	1.9	1.3
Summa - <i>Total</i>	100	100	100	100	100

	x	y	
1. Sillimaniitti-serisiittikvartsiitti - <i>Sillimanite-sericite quartzite</i>	Otasalo	6809551	3543059 Salaterä (1976)
2. Täplikkäs kvartsi-maasälpäliuske - <i>Spotted quartz-feldspar schist</i>	Otasalo	6810006	3543985 GTK: HMM\$-2008-220
3. Kvartsi-maasälpäliuske - <i>Quartz-feldspar schist</i>	Otasalo	6809596	3543048 Salaterä (1976)
4. Interm.(-felsinen) metavulkaniitti - <i>Interm.(-felsic) metavolcanic rock</i>	Luuokola	6810821	3566718 GTK: HMM\$-2008-163.1
5. Mafinen(-interm.) metavulkaniitti - <i>Mafic(-interm.) metavolcanic rock</i>	Lintusalo	6812204	3556067 GTK: HMM\$-2008-89.1

4.3 Syväkivet

4.3.1 Synorogeeniset intruusioid

4.3.1.1 Gabro ja dioriitti

Puumalan kuntakeskuksen eteläpuolella Kitulassa (3143 08), biotiitti-paragneissien keskellä, on pienehkö konformi noriittipahku, joka sisältää kohonneita Ni- ja Cu-pitoisuuksia (Hyvärinen 1967). Noriittia on kairauksin todettu olevan noin 80 metriä pitkänä, 9 metriä leveänä ja 20–25 metriä korkeana kapenevana kiilana (ks. myös kappale 7). Kiven päämineraalit ovat plagioklaasi (~45 %), ortopyrokseeni ja diopsidi (yhteensä ~35 %) sekä sarvivälke (~15 %) (Hyvärinen 1967). Noriitti sisältää joskus myös biotiittia, ja paikoin se vaihtuu sarvivälkegabroksi.

Kitulasta itäänpäin, viereisen Virtutjoen karttalehden (4121) kiillevaltaisissa gneisseissä on pienehköjä ultramafisia syväkiviä (Nykänen 1988). Kun tämän raportin laatimisen yhteydessä ei ole kaikkia kallioalueita tutkittu, saattaa Puumalan biotiitti-paragneissivaltainen kallioperä sisältää enemmänkin gabropahkuja.

Keski-karkearakeista deformatunutta sarvivälkegabroa on noin 300 metriä pitkänä ja 100 metriä leveänä alueena Lintusalon Maunulassa (3143 04), Suuriniemen tonaliitin koillisreunalta. Gabrossa on selvää raekoon vaihtelua ja plagioklaasikasauksia (kuva 12) sekä leveitä punertavia pegmatiittijuonia. Kiven päämineraalit ovat sarvivälke ja plagioklaasi. Kiisuuntumia ei tästä kivistä ole juurikaan löytenyt. Gabro edustanee

Suuriniemen synorogeenisen intruusion varhaisimpia mafisia magmafaaseja.

Kyläniemessä (3143 07) on muutama kalliopaljastuma keskirakeista dioriittia. Kivi on deformatun ja muodostaa alueella todennäköisesti jopa 2 km pitkän mutta kapean, kaareutuvan kiilan, joka jatkuu Lappeenrannan karttalehden (3314) puolelle. Dioriitin päämineraalit ovat sarvivälke ja plagioklaasi, ja lisäksi siinä on vähän pyrokseenia.

Kartta-alueen itäreunalla Utulan kylässä (3143 10) on pienialaisia sarvivälkegneissejä (-liuskeitä), joista osa saattaa olla alkuperältään intrusiivisia. Tähän viittaa kiven korkeat fosfori- ja titaanipitoisuudet, joita on kuvattu kappaleessa 6. Intrusiivista alkuperää näille gneisseille puoltaa myös se, että 4 kilometriä itään, Virtutjoen kartta-alueella, tektonisesti samanlaisessa paikassa on gabroa (ks. Nykänen 1987).

4.3.1.2 Käköveden batoliitti

Käköveden batoliitti on noin 220 km²:n kokoinen, lähinnä granodioriittinen syväkivialue, josta puolet sijaitsee Puumalan karttalehdellä ja loput sen itäpuolisella Virtutjoen karttalehdellä (4121). Kyseistä batoliittia on aikoinaan kuvannut jo Hackman (1933), joka kutsui sitä Ruokolahden sarvivälkegraniitiksi. Nykänen (1986) käytti batoliitista nimeä Ruokolahden Syypohjan-Hauklapin granodioriitti-kvartsidioriitti. Nurmi ym. (1984) ja Heinonen (1987) nimesivät



Kuva 12. Sarvivälkegabbro, jossa on kerrosmaista raekoon vaihtelua ja erilaisia maasälpä-kasaumia (kuvan oikea alanurkka).

Fig. 12. Hornblende gabbro with grain size variation due to magmatic grading and various feldspar aggregates.

Lintusalo, Maunola, 3143 05, x = 6809809, y = 3557099. Laatta 8 cm.

Taulukko 3. Puumalan kartta-alueen granitoidien mineraalikoostumuksia.

Table 3. Modal mineral composition of granitoids from the Puumala map sheet area.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Kvartsi - <i>Quarz</i>	25.7	26.3	28.8	29.5	35.7	37.8	26.0	33.1
Plagioklaasi - <i>Plagioclase</i>	61.8	50.7	29.7	47.8	44.2	42	61.5	12.8
Kalimaasälpä - <i>K-feldspar</i>	2.6	10.1	26.8	1.1	5.9	4.9	+	41.1
Biotiitti - <i>Biotite</i>	8.3	6.9	8.6	17.7	11.1	13.2	7.0	9.9
Muskoviitti - <i>Muscovite</i>	-	-	-	-	1	-	+	+
Sarvivälke - <i>Hornblende</i>	0.3	5.0	4.5	-	-	-	2.8	-
Ortopyrokseeni - <i>Orthopyroxene</i>	-	-	-	1.9	-	-	-	-
Kloriitti - <i>Chlorite</i>	-	-	-	-	0.5	-	0.8	-
Epidootti - <i>Epidote</i>	-	0.1	0.1	-	-	-	+	-
Titaniitti - <i>Sphene</i>	-	0.2	0.7	-	-	0.5	-	-
Granaatti - <i>Garnet</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.1
Sillimaniitti - <i>Sillimanite</i>	-	-	-	-	-	-	-	1.9
Opaakit - <i>Opaque</i>	+	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	+	+
Muut - <i>Other</i>	1.3	0.3	0.5	1.5	1.1	1.0	1.9	1.1
Summa - <i>Total</i>	100	100	100	100	100	100	100	100

	x	y	
1. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	6810400	3576380	Heinonen (1987)
2. Granodioriitti - <i>Granodiorite</i>	6809740	3574736	GTK: HMMŞ-2007-120
3. Graniitti - <i>Granite</i>	6807600	3572650	Heinonen (1987)
4. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	6808704	3556481	GTK: HMMŞ-2008-91
5. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	6823489	3548529	GTK: HMMŞ-2008-191
6. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	6809748	3540553	GTK: HMMŞ-2008-20
7. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	6811001	3543495	Salaterä (1976)
8. S-tyyppin graniitti - <i>S-type granite</i>	6808785	3567064	GTK: HMMŞ-2008-161

nämä syväkivet Käköveden batoliitiksi, koska se sijaitsee Käkövesi-nimisen vesistön kohdalla. Käköveden batoliittia luonnehti kohonnut aeromagneettinen anomalia, ts. se on helposti rajattavissa.

Käköveden batoliitti on monifaasinen intruusio (Nironen 1985). Puumalan puolella se koostuu karkeasti ottaen kolmesta faasista: (1) pohjoisreunalla ja osaksi länsipäässä on sarvivälketonaliittia (vanhin osa), (2) keski- ja eteläosaa hallitsee punertavanharmaa granodioriitti (batoliitin valtakivi) ja (3) batoliitin länsiosaa sisältää runsaasti vaihtelevanlevyisiä graniitti-, pegmatiitti-, apliitti- ja kvartsijuonia (esim. Nironen 1985, Heinonen 1987, GTK:n tietokannat). Granodioriittinen valtakivi sekä vaihettuu tonaliitiksi että breksioi tonaliittia. Graniittiset ja pegmatiittiset juonet ovat yleisin juonityyppi, ja niitä tavataan koko intruusion alueella.

Intruusion valtakivi on deformatunut keski- ja tasarakeinen granodioriitti (kuva 13). Siinä on paikoin graniittisuonia ja suurempien maasälpärakeiden aiheuttamaa porfyryistä rakennetta. Batoliitin syväkivet ovat heikommin deformatuneet keskiosissa kuin reunaosissa. Mikrorakenteeltaan kivi on suuntautunut, ja mineraalit

ovat vierasmuotoisia. Kiven mafisina mineraaleina ovat biotiitti ja sarvivälke, joita on yhteensä 7–15 % (Heinonen 1987). Titaniitti ja magnetiitti ovat yleisiä aksessorisia mineraaleja. Käköveden batoliitin kiville tyypillisiä modaalikoostumuksia on esitetty taulukossa 3.

Intruusion pohjoisreunan tonaliitit ovat usein ortopyrokseenipitoisia ja vähän karkearakeisempia kuin Käköveden muut syväkivet. Tonalitiin päämineraalit ovat plagioklaasi (45–65 %), kvartsi (20–30 %), biotiitti (5–10 %) ja sarvivälke (1–10 %). Aksessorisina mineraaleina tavataan kalimaasälpää, magnetiittia ja titaniittia.

Käköveden batoliitin etelä- ja pohjoisreunat ovat yleensä tektonisoituneet. Esimerkiksi Kekäleemäen rantakallioilla (3143 10, x = 6807970, y = 3571614) granodioriitti on voimakkaasti liuskettunut yhdessä Otasalo-Luukkolansaarijakson metavulkaniittien kanssa ja muodostaa paikoin ”seoskiveä”.

4.3.1.3 Kyllölänsaaren tonaliitti

Kartta-alueen länsireunalla (3143 02) sijaitsee heikosti deformatunutta tasarakeista ja -laatuista



Kuva 13. Käköveden batoliitin deformatunutta, hiukan epätasalaatuista granodioriittia.
Fig. 13. Deformed, slightly inhomogeneous granodiorite of the Käkövesi Batholith.
Hirvasjärvi S, 3143 11, x = 6813623, y = 3574317. Laatta 8 cm.



Kuva 14. Kyllölänsaaren tasarakeinen, heikosti deformatunut tonaliitti.

Fig. 14. Even-grained, weakly deformed tonalite of Kyllölänsaari.

Kyllölänsaari, 3143 01, x = 6809746, y = 3540553. Laatta 8 cm.

ta tonaliittia ja granodioriittia noin 10 km²:n kokoisena intruusiona. Kivet on tässä raportissa nimetty Kyllölänsaaren tonaliitiksi viereisen kylän mukaan. Tonalitti on väriltään harmahtava, ja sen raekoko on 2–5 mm (kuva 14). Granodioriittista muunnosta on niukasti, lähinnä intruusion itäosissa Atrasaassa (Salaterä 1976).

Kyllölänsaaren intruusion päämineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti (taulukko 3). Kalimaasälpää voi olla paikoin 5 %, jolloin kivi mineraalikoostumuksen perusteella luokituu tonaliitin ja granodioriitin rajalle. Aksessorisista mineraaleista mainittakoon sarvivälke, titaniitti ja epidootti. Intruusion itäosassa on joitakin tummia enklaveja, varsinkin Matalaniemen itäosassa.

Koska tonaliitti on paikoin lähes deformatumaton, se saattaisi edustaa myöhäisempää magmatismia kuin Puumalan muut synorogeeniset ja selvästi deformatuneet granitoidit. Kiven mineraalit eivät ole kuitenkaan erityisen omamuotoisia. Intruusion havaitut kontaktit biotiitti-paragneisseihin ovat konformeja. Salaterän (1976, liite 1) mukaan intruusio leikkaa terävästi ympäristön liuskeiden kulkua.

4.3.1.4 Muut tonaliitit ja granodioriitit

Suuriniemessä (3143 04) on deformatunutta tonaliittia ja granodioriittia noin 15 km²:n laajuisena intruusiona. Kivi on keski-karkeahkorakeinen, lähinnä tasarakeinen, ja siinä on tummahkoja sulkeumia (kuva 15) ja leikkaavia leveitä pegmatiittijuonia. Kiven päämineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti. Sarvivälkettä ja kalimaasälpää on muutaman prosentin verran. Intruusion pohjoisosassa kivi sisältää myös metamorfista ortopyrokseenia (ks. taulukko 3), ja samalla se on hiukan enemmän rapautunut kuin muualla.

Harmaata biotiitti- ja sarvivälkepitoista tonaliittia on laajoina alueina myös Puumalan kartta-alueen kaakkoisnurkassa Vuosalmen alueella. Ne edustavat viereisen Virtutjoen karttalehdeltä kuvattujen Härskiänsaaren-Aisanniemen granodioriittien ja tonaliittien läntisimpiä osia (ks. Nykänen 1987, 1988). Kivi on yleensä tasarakeinen. Se voi paikoin vaihettua granodioriitiksi.

Pieniä 0,5–3 km²:n kokoisia tonaliitti- ja granodioriitti-intruusioita on erityisesti kartta-



Kuva 15. Synorogeeninen, deformoitunut tasarakeinen Suuriniemen tonaliitti, jossa on soikeita kvartsi-dioriittisia sulkeumia.

Fig. 15. Synorogenic, deformed and even-grained Suuriniemi tonalite with rounded quartz dioritic enclaves.
Suuriniemi, 3143 04, x = 6807926, y = 3557080. Laatta 8 cm.

alueen luoteisosan (3143 03) migmatiittisissa biotiitti-paragneisseissä. Nämä harmaat graniitoidit ovat keski- ja tasarakeisia ja melko tasalaa-tuisia. Esimerkiksi Hurissalon Haukkovuoressa on tyypillistä tummanharmaata, deformoitunutta tonaliittia tieleikkauksessa (x = 6823488, y = 3548529). Tämä tonaliitti muodostaa yhden neliökilometrin kokoisen tasarakeisen intruusion. Kvartsin ja plagioklaasin lisäksi siinä on biotiittia noin 10 % ja kalimaasälpää 5 % (taulukko 3). Tonalitiin aksessorisena mineraalina on mm. ortopyrokseeni. Kvartsi muodostaa pitkulaisia rakeita, joiden kontaktit muihin mineraaleihin ovat lahdekkeiset.

Haukkovuoresta itäänpäin, Maljalassa (x = 6824434, y = 3544423), on pieni intruusio keski- ja tasarakeista granodioriittia, joka sisältää voimakkaan venymän. Kiven päämineraalit ovat plagioklaasi, kvartsi, kalimaasälpää ja biotiitti. Se sisältää biotiittia varsin paljon, 20–30 %. Myös pohjoispuolella olevan Kuparovirran lossin kohdalla on pienehkö tonaliittinen intruusio, jota luonnehtii epätasalaatuisuus ja vaihtuminen granodioriitiksi.

Puumalan kartta-alueen luoteisosan pienet granitoidi-intruusiot eivät näytä sisältävän epidoottia tai titaniittia, ts. ne vaikuttavat koostumukseltaan selvästi peralumiinisilta. Niiden reunaosat ovat yleensä haamumaisen epätasalaatuisia. Kivien kontaktit sivukiviin ovat lähinnä konformeja. Sivukivessä kontaktien lähellä on paikoin kiteytynyt suuria granaatti- ja kordieriittiporfyyroblasteja.

4.3.2 Myöhäisorogeeniset intruusiot

4.3.2.1 Pegmatiittiset graniitit ja juonet

Punertava, mikrokliinivaltainen ja epätasalaatuisesti esiintyvä, usein pegmatiittinen graniitti on varsin yleinen kivilaji Puumalan alueella. Tässä raportissa nämä graniitit on luokiteltu myöhäisorogeenisiksi ja jaettu seuraavasti: (1) pegmatiittisiin graniitteihin ja graniittijuoniin ja (2) yhtenäisempiin graniittialueisiin, joita on kutsuttu Liimattalan S-tyyppin graniiteiksi. Kivien välillä ei kuitenkaan liene suurta eroa protoliitin suh-

teen; molemmat kivet ovat ilmeisesti kiteytyneet myöhäisorogeenisessä vaiheessa intensiivisen metamorfoosin sulattaessa maankuoren metapeliittisiä osia. Molemmissa kivilajeissa voi myös löytää liuske- ja gneissisulkeumia.

Pegmatiittiset graniitit esiintyvät yleensä varsin epätasalaatuisina mutta leveinä (5–50 metriä) juonimaisina alueina, ja niitä luonnehtii raekoon vaihtelu, vaikka niistä voi löytyä myös melko tasarakeisia ja apliittisia osia. Niihin liittyy läheisesti ja niistä erkanevat kapeampia migmatoivia graniittisia pegmatiittijuonia (kuva 16). Suhteellisen yhtenäisiä, satoja metrejä pitkiä ja kymmenien metrien levyisiä pegmatiittisia graniittialueita on kartta-alueen koillisosassa Viljakkalansaaressa alueella. Näiden sisältä löytyy kuitenkin aina kiillepitoista gneissia relikteinä ja sulkeumina, ts. ne ovat migmatiittisia paljastuma-alueiden mitta-kaavassa. Liitekartassa 1 näkyvät pegmatiittiset graniitit ovat piirtämisteknisistä syistä kooltaan hiukan liioiteltuja.

Nämä graniittiset kivet ovat siis hyvin epä-säännöllisiä ja repaleisia muodoltaan. Paikoin kalimaasälpää voi olla jopa 0,5 metrin pituisina

rakeina kvartsiytimien lähellä, kuten Sepänkylän alueella ($x = 6827470$, $y = 3571587$). Kyläniemen Lehtiniemen (3143 07) laajat kalliot koostuvat vuorottelevista biotiitti-paragneisseista ja pegmatiittijuonista (leveys 0,1–20 m), joissa kivien määräsuhteet ovat likimain tasan (50–50 %). Otosalon alueen (3143 02) mafisten kivien sisällä olevat graniittijuonet sisältävät paikoin runsaasti titaniittia (2 %) (Salaterä 1976).

4.3.2.2 S-tyyppin graniitti

Muutaman neliökilometrin kokoisia suhteellisen yhtenäisiä graniittialueita on varsinkin Liimattalansaaressa (3143 07), Pataniemen (3143 07) ja Niinisaaren (3143 08) seuduilla. Nämä graniitit ovat usein väriltään vaaleita eli leukokraattista (kuva 17A), mutta myös punertavia tyyppisiä on tavattu (kuva 17B). Kivissä on korkeahko kalimaasälpäplagioklaasisuhde (3–7), pienehkö biotiittipitoisuus (6–12 %) ja aksessorisina mineraaleina löytyy tyypillisesti sillimaniittia, granaattia ja joskus kordieriittia. Sillimaniitti on usein neulasina maasälpäpien sisällä ja eroaa täten biotiitti-para-



Kuva 16. Neljä metriä leveän pegmatiittisen graniittijuonen ja granaatti- ja kordieriittipitoisen seoksisen biotiitti-paragneissin kontakti.

Fig. 16. Contact of a four-metre-wide pegmatite granite dyke and garnet- and cordierite-bearing migmatitic biotite paragneiss. Rehmainniemenvuori, 3143 05, $x = 6816086$, $y = 3558067$.

a)



b)



Kuva 17. Liimattalan S-tyyppin graniitteja. A) Granaattia ja sillimaniittia sisältävä leukograniitti. B) Graniitti, jossa on liuskereliktejä ja omamuotoisia kalimaasälpähajarakeita. Kalimaasälpärakeiden suuntaus lienee magmaattista virtausrakennetta.

Fig. 17. S-type granites of Liimatta. A) Garnet- and sillimanite-bearing leucogranite. B) Granite containing schist fragments and euhedral K-feldspar phenocrysts. The orientation of these phenocrysts represents magmatic flow.

A) Niinisaari, 3143 07, x = 6808784, y = 3567064, B) Surenuorenniemi, 3143 05, x = 6816060, y = 3559291. Laatta 8 cm.

gneissien sillimaniitista, joka on yleensä neulasi-na kordieriitin sisällä.

Kivien suhteellisen tasalaatuisuuden ja selvän peralumiinisuuden ($A/CNK > 1,1$) takia niitä on tässä raportissa kutsuttu S-tyyppin graniiteiksi (ks. myös Chappell & White 1974). Sillimaniitti- sekä granaattipitoisuus samoin kuin paikoin vaihtuvat kontaktit biotiitti-paragneisseihin viittaavat siihen, että ne ovat muodostuneet maankuoren osittaisen sulamisen (anateksis) tuloksena (ks. sivu 31).

Liimattalansaaren seudulla ja varsinkin Virtasaaren länsipuolella (tienvarsipaljastuma; $x = 6812923$, $y = 3559670$) kivi on varsin syväkivimäistä ja sisältää omamuotoisia kalimaasälpähajareikeita. Itä- ja länsiosissa tämä intruusio vaihtuu (tienvarsipaljastuma; $x = 6812904$, $y = 3559784$) nebuliittisiin ja diateksiittisiin, kordieriittia ja granaattia sisältäviin biotiitti-paragneisseihin. Pataniemen alueen graniitti on punertavaa, tasarakeista ja sisältää vähän granaattia. Pataniemen kiven päämineraalit ovat kalimaasälpä, plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti (taulukko 3). Sillimaniitti on tyypillinen aksessorinen mineraali.

Niinisaaren alueella graniitti on hiukan epätasalaatuinen mutta yleensä tasarakeinen ja värittään vaalea (kuva 17A). Kalimaasälvän, pla-

gioklaasin, kvartsin ja biotiitin lisäksi se sisältää myös granaattia, sillimaniittia ja sekundääristä muskoviittia. Liimattalansaaren koillispuolella, Surenniemessä, graniitti on varsin syväkivimäinen ja koostumukseltaan lähenee paikoin jopa kvartsimontsoniittia (kuva 17B).

4.3.3 Postorogeeniset intruusiot

4.3.3.1 Luonterin granodioriitti

Luonterin granodioriitti (Korsman & Lehijärvi 1973) ulottuu pohjoisesta käsin hiukan myös Puumalan puolelle, karttalehden 3143 03 alueella. Valtaosa granodioriitista sijaitsee kuitenkin viereisellä Sulkavan kartta-alueella, jossa se muodostaa 12 km²:n kokoisen, pyöreähkön monifaasisen intruusion (Korsman ym. 1984). Intruusion eteläosassa vallitsevana kivilajeina ovat granodioriitti ja porfyyrinen graniitti, jotka sisältävät biotiittia, sarvivälkettä ja titaniittia (Pitkänen 1984, kuva 7). Pitkäsen mukaan intruusion kiviä on tavattu juonina ja sulkeumina viereisissä biotiitti-paragneisseissä, samoin kuin kontaktimetamorfista andalusiittia. Luonterin granodioriitin U-Pb ikä on ~1 800 Ma, ja se leikkaa sivukiviään jyrkästi (Korsman ym. 1984).



Kuva 18. Postorogeeninen, 5 cm leveä viivasuora ja pienirakeinen graniittijuoni biotiitti-paragneississä.

Fig. 18. A postorogenic, 5-cm-wide, straight and fine-grained granite dyke in biotite paragneiss.

Liimattalansaari NE, 3143 05, $x = 6815173$, $y = 3558633$. Laatta 8 cm.

4.3.3.2 Graniittijuonet

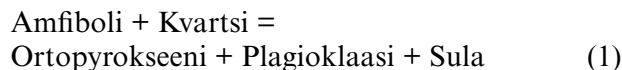
Biotiitti-paragneisseissä voi satunnaisesti tavata suorasti leikkaavia, hienorakeisia ja kapeita graniittijuonia (kuva 18). Ne eroavat pienen raekoon, harmaan värin ja suoraviivaisuutensa puolesta

muista graniittijuonista. Koska juonet leikkaavat kaikkia rakenteita, ovat ne iältään mitä ilmeisimmin postorogeenisia. Sattumaa tai ei, viereisellä Virmutjoen karttalehdellä iätetyllä (~1,80 Ga) kaikkia rakenteita leikkaavalla graniittijuonella on sama kulku (ks. Nykänen 1988).

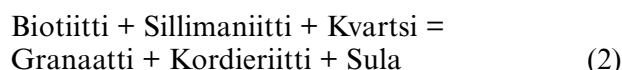
5 METAMORFOOSIN JA RAKENTEEN TULKINTAA

5.1 Metamorfisista olosuhteista

Kartta-alueen metamorfoosi on tapahtunut muskoviitti-kvartsi-mineraaliparin stabilisuuden yläpuolella. Tätä osoittavat lukuisat anatektiset graniittisuonet biotiitti-paragneisseissä. Suonet todistavat kallioperän kokeneen osittaisen sulamisen (anateksis), mikä merkitsee ylemmän amfibolifasioksen P-T-olosuhteiden metamorfoosia. Samoja olosuhteita tai jopa korkeampaa metamorfoosia, granuliittifasiesta, voidaan perustella ortopyrokseenin kiteytymisellä intermediärisessä metavulkaniitissa (kuva 19A). Ortopyrokseeni ilmeisesti kiteytyi näihin kiviin plagioklaasin kera amfibolin hajoamisen tuloksena reaktion (1) mukaan (ks. Spear 1993):



Korsman (1977) ja Korsman ym. (1984) ovat kuvanneet Puumalan karttalehden pohjoispuolella, Sulkavalla, olevien granaatti-kordieriittigneissien (jotka muistuttavat nyt tutkittavia gneissejä) metamorfoosia, joka tapahtui granuliittifasioksen, erityisesti matalahkon paineen ja korkean lämpötilan, olosuhteissa. Korsmanin ja muiden (1984) mukaan granaatti-kordieriitti-parin paine- ja lämpötilamääritykset ovat antaneet noin 750 °C:n lämpötiloja ja 4 kilobaarin painearvioita metamorfoosille. Granaatti ja kordieriitti ovat kiteytyneet tasapainoisina metamorfoosin huippuvaiheen aikana todennäköisesti seuraavan reaktion mukaan (ks. Spear 1993):



Kyseinen reaktio ilmeisesti aiheutti sen, että sillimaniitti ”kului loppuun”. Tähän viittaa se, että viimeksi mainittu mineraali on suhteellisen harvinainen Puumalan biotiitti-paragneisseissä. Toisaalta psammiittisissa liuskeissa sillimaniittia

voi löytyä kvartsin kanssa 1 x 3 cm:n kokoisina nystymäisinä yhteenkasvettumina, esimerkiksi Kietävälän alueella (3143 10). Tämä johtuu siitä, että kivet eivät sisällä paljoa kalsiumia, joten Al-ylimäärä kiteytyi sillimaniitiksi eikä voinut mennä plagioklaasiin, joka olisi tarvinnut kalsiumia muodostuakseen.

Paikoin kordieriitti ympäröi granaattia tavalla, joka viittaa granaatin muuttumiseen kordieriitiksi maankuoren dekompressiovaiheessa (kuva 19B). Täten Puumalan kallioperän kehittymisen myöhäisvaihe edustaisi isotermistä (clock wise -tyyppistä) kiteytymispolkua.

Myöhemmin kiteytynyttä andalusiittia on ilmeisesti Puumalan alueen granaatti- ja kordieriittipitoisissa biotiitti-paragneisseissä, vaikka nyt käytettävissä olleista ohuthieistä sitä ei ole löydetty. Salaterän (1976) mukaan Otosalon (3143 01) ”kordieriitti-kiillegneissit” sisältävät andalusiittia aksessorisena mineraalina. Myös Pitkänen (1985) on raportoinut andalusiittia löytyneen Luonterin (3143 03) postorogeenisen granitoidin sivukivistä (granaatti-kordieriitti-kiillegneissit), ja hän pitää sitä kontaktimetamorfisena mineraalina (ks. myös Korsman ym. 1984). Lisäksi Aapola (1984) mainitsee andalusiitin olevan aksessorinen mineraali Puumalan karttalehden itäpuolen kintsigiittisissä biotiitti-paragneisseissä.

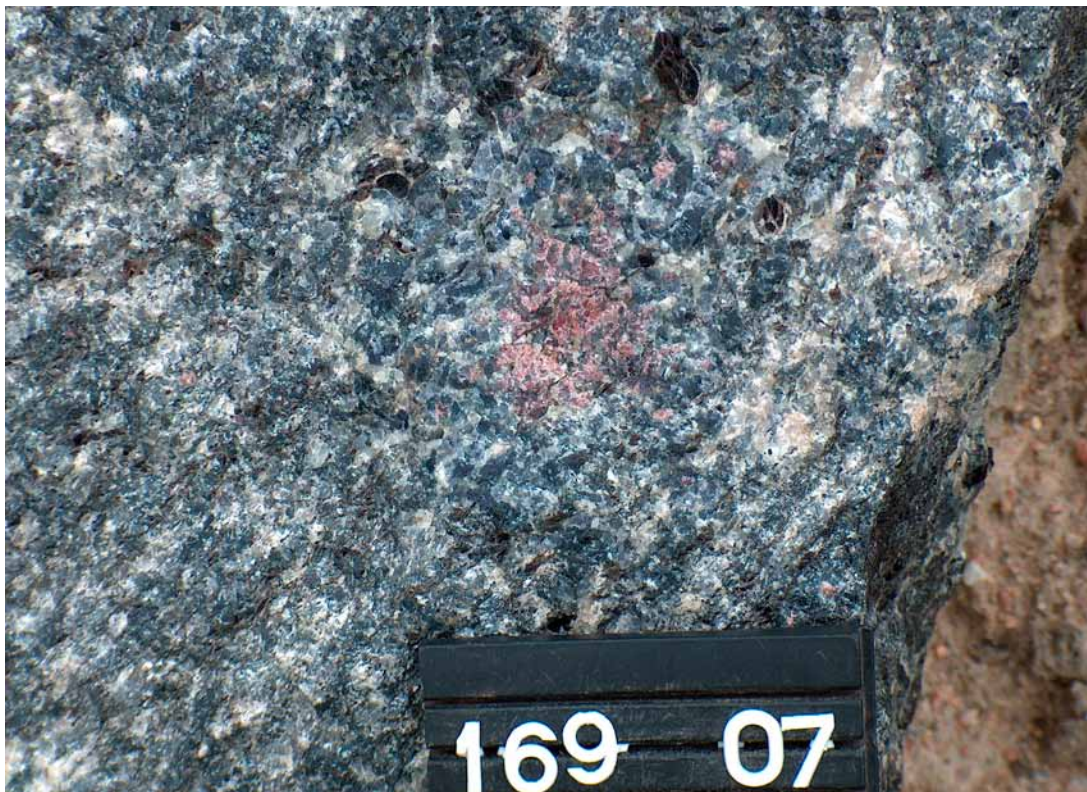
Graniittisten suonien suhteellinen vähäisyys Puumalan kartta-alueen lounaisosassa (3143 02) saattaa viitata siihen, että veden osapaine siellä on ollut pienempi ja samalla graniittisen suoniaineksen synty osittaisen sulamisen tuloksena on ollut heikkoa. Toinen vaihtoehto on se, että metamorfoosiaste on siellä matalampi kuin muualla, mitä saattaa tukea se, että granaatti-kordieriittisuhde on alueella pienehkö, alle 1 (ks. Salaterä 1976).

Synorogeenisten tonaliittien kontakteissa Keljunniemen alueella (3143 03) on sivukiviin kiteytyneet runsaammin ja kooltaan isompaa

a)



b)



Kuva 19. Metamorfisia kiteytymisrakenteita. A) Karkearakeisia, tummanruskeita ortopyrokseenikiteitä on kiteytynyt tasapainossa maasälvän kanssa metavulkaniittiin sarvivälkkeen dehydraation tuloksena. B) Biotiitti-paragneissin punertava granaattiporfyroblasti, jonka ympärillä on 1,5 cm:n levyinen sauma sinertävänharmaata kordieriittiä. Kordieriitti on ilmeisesti kiteytynyt maankuoren jäähtymisen ja paineen alenemisen aikana.

Fig. 19. Metamorphic textures. A) Coarse-grained, brownish orthopyroxene has crystallized in equilibrium with feldspar due to dehydration of hornblende. B) Reddish garnet porphyroblast in biotite paragneiss. Garnet is surrounded by 1.5-cm-wide bluish grey cordierite, which was crystallized during crustal decompression and cooling.

A) Kyläniemi, Soukkioniemi, 3143 07, x = 6802508, y = 3561528, B) Karkia, 3143 11, x = 6814690, y = 3571245.
Laatta 8 cm.



Kuva 20. Tonalitiin (kuva vasen osa) ja suuria granaatti- ja kordieriittiporfyroblasteja sisältävän biotiitti-paragneissin kontakti.

Fig. 20. Contact between tonalite (left part of the photo) and garnet and cordierite porphyroblast-bearing biotite paragneiss. Keljunniemi, 3143 03, x = 6827744, y = 3542325. Laatta 8 cm.

granaattia ja kordieriittia kuin ympäristön biotiitti-paragneisseissä yleensä tavataan (kuva 20). Tämä saattaa viitata siihen, että mineraalit ovat kontaktimetamorfoosin tulosta. Toisaalta Kyllölänsaaren intruusion peliittiset sivukivet Mäntytaalon lähellä ovat hiukan litistyneet kontaktin suunnassa ja nii-

hin on kiteytynyt kontaktimetamorfisia kalimaasälpäporfyroblasteja, joissa on yhdensuuntaisia pieniä biotiittirakeita. Kiven intrudoituminen on ilmeisesti aiheuttanut muodonmuutosta plastisiin sivukiviin ja samalla myös kontaktimetamorfista kalimaasälvän kiteytymistä.

5.2 Graniittisen sulan muodostuminen

Puumalan biotiitti-paragneissit ovat kokeneet ylemmän amfiboliitti- / alemman granuliittifasioksen olosuhteiden metamorfoosin ja muistuttavat suuresti viereisen Sulkavan alueen vastavia kiviä, joita on tarkasti kuvannut Korsman (1977). Näissä olosuhteissa (700–750 °C) peliittiset liuskeet kokivat osittaisen sulamisen, jolloin niistä erkaantui graniittista ainesta, esim. reaktio (2) kautta. Erkaantunut graniittinen neosomi muodostaa jo kalliopaljastuman mittakaavassa useiden kuutiometrien kokoisia akkumulaatioita (kuva 21). On uskottavaa, että paikoin sulaminen on ollut niin intensiivista, että on muodostunut laajoja parautoktonisia ”magmasäiliöitä”, joita Puumalan kartta-alueen ns. Liimattalan S-tyyppin

graniitit edustavat (kuva 17).

Suhteellisen tasalaatuisissa Liimattalan S-tyyppin granitoideissa on sillimaniittia karkeareakeisen kalimaasälvän, plagioklaasin ja kvartsin sisällä relikteinä (kuva 22). Migmatiittisissa biotiitti-paragneisseissä sillimaniitti on tyypillisesti fibroliittisena vain kordieriitin ja granaatin sisällä. S-tyyppin graniittien lähtöaines on ilmeisesti sisältänyt niin runsaasti sillimaniittia, että sitä jäi ylitse biotiitin dehydratoituessa (reaktio 2). Tämä ”ylijäämä” jäi sulasta kiteytyvien kalimaasälvän, plagioklaasin ja kvartsin sisään relikteiksi. Toisaalta viereisissä biotiitti-paragneisseissä osittainen sulaminen ei paikoin edennyt yhtä pitkälle, koska sillimaniitti ”loppui kesken” reaktiossa (2),



Kuva 21. Tumma biotiitti-paragneissistä (paleosomista) erkaantunutta graniittista, granaattipitoista neosomia.
Fig. 21. Garnet-bearing granitic melt segregations derived from dark biotite paragneiss.
Ylössaari, 3143 08, x = 6817268, y = 3560662. Laatta 8 cm.



Kuva 22. Mikrovalokuva S-typin leukogranitista, jossa kalimaasälpä ja plagioklaasi sisältävät sulkeumina vanhempaa sillimaniittia (ruskeat neulaset).
Fig. 22. Microphotograph of S-type leucogranite, in which K-feldspar and plagioclase comprise inclusions of older sillimanite (brownish needles).
Liimattalansaari SW, 3143 07, x = 6813066, y = 3559344.

mikä vaikeutti jäljelle jääneen biotiitin dehyd-ratoitumista. Käytännössä metapeliittien osit-tainen sulaminen on kuitenkin monimutkainen

prosessi; siihen vaikuttavat suuresti myös kallioperän H₂O-pitoisuuden vaihtelut (Spear 1993).

5.3 Tektoniikka

Tämän raportin laatimisen puitteissa alueelta ei ole tehty rakennegeologista analyysia. Aikai-semmatkin rakennegeologiset tulokset alueelta ovat niukkoja. Biotiitti-paragneissien kulku on useimmiten itä-läntinen tai koillis-lounainen, mutta paikallisia poikkeamia on useita. Puuma-lan kallioperän tektonisilla ruhjeilla on useita pääsuuntia; ne näkyvät korkokuvakartoilta pit-känomaisina laaksoina, salmina ja rantaviivoina. Yleisimmät suunnat ovat kaakko-luode ja koillis-lounainen.

Käköveden batoliitin länsipäästä (3143 08) Ni-ronen (1985) on kuvannut kaksi erillistä siirros-systeemiä, jotka edustavat plastisia leikkausvyö-hykeitä. Batoliitin paikalleen asettumista ovat mahdollisesti kontrolloineet syvämurrokset tai siirrokset, jotka näkyvät suoraviivaisina piirtei-nä satelliittikuvissa ja jatkuvat kontaktien ohikin (Nironen 1985). Batoliitin kontaktit ovat usein tektonisoituneita; eteläreunalla Jokiniemessä (3143 11) syväkivet ja sivukivet ovat voimakkaas-ti liuskettuneita, ja pohjoispuolella Ronimäessä (3143 11) sivukivet ovat hiertyneet.

Kyllölänsaaren niukasti deformatiiviseen to-

naliitin (kuva 14) intrudoitumisen aikana on kallioperä ollut vielä jokseenkin plastinen, kos-ka kontaktit ovat ainakin osittain konformeja esimerkiksi Matalaniemen alueella. Mäntytalon (3143 01) lähellä tonaliitin paikalleen asettumi-nen on litistänyt peliittistä sivukiveä. Salaterän (1976, liite 1) mukaan Kyllölänsaaren tonaliit-ti tosin leikkaa terävästi ympäristön gneissien kulkua. Viimeksi mainitut havainnot viittaavat siihen, että ko. intruusio olisi hiukan nuorempi kuin noin 1,88 Ga:n synorogeeniset intruusiot yleensä.

Tarkemmat tutkimukset metamorfisten mine-raalien kiteytymisen suhteesta deformaatiovai-heisiin ovat suorittamatta. Kallioperää luonnehtii tiukka-isokliininen poimutus, jonka aallonpituus voi paljastumamittakaavassa olla metrien luok-kaa. Ainakin Hurissalon Paanvarjon alueella (3143 05, x = 6824131, y = 3550087) näkyy bio-tiitin synkinemaattista kiteytymistä poimunhar-jojen akselitasossa. Toisaalta leveät graniittiset juonet ovat budinoituneet aallonpituudeltaan samanlaisen, tiukan poimutuksen tuloksena Hir-vensalossa (3143 03, x = 6829545, y = 3548145).

6 GEOKEMIA

6.1 Yleistä

Tutkitun alueen kivilajien geokemian tarkaste-lu suoritettiin 38 kokokivianalyysin pohjalta; 19 edustaa pintakivilajeja ja 19 syväkivilajeja. Analyyseista viisi on poimittu kirjallisuudesta (Heinonen 1987), 18 kpl on GTK:n julkisista tie-tokannoista (Rasilainen ym. 2007), kymmenen kokokivianalyysia teetettiin tätä tutkimusraport-tia varten ja viisi edustaa ennen julkaisematonta kokokivianalyysia, jotka saatiin FT Mikko Ni-

roselta. Kemialliset analyysitulokset on esitetty liitteissä 2 ja 3.

Valtaosa kivilajien kemiallisista analyyseistä on tehty Geologian tutkimuskeskuksessa Espoossa. Pääalkuaineet ja joukko hivenalkuaineita mää-ritettiin XRF-menetelmällä (175X). Lantanoidit on analysoitu ICP-MS-tekniikalla (308M). Hei-nosen (1987) analyysit on tehty XRF:llä Rauta-ruukki Oy:n laboratoriossa.

6.2 Pintakivilajit

6.2.1 Biotiitti-paragneissit, psammiittiset liuskeet ja grafiitti-sulfidi-paraliuskeet

Tämän ryhmän analyysit jakaantuvat seuraavasti: kuusi on biotiitti-paragneisseistä, kaksi edustaa psammiittisia liuskeita ja yksi on grafiitti-sulfidi-paraliuskeesta. Puumalan seudun biotiitti-paragneissit ovat Pettijohnin ym. (1973) kuvaaman $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ vs. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -luokituksen mukaan lähinnä grauvakkoja. Niitä yleensä luonnehtii suhteellisen matala $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ja korkea $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$; kivet eivät siten alkuperältään lukeudu kvartsi- ja kalimaasälpävaltaisiin hiekkakiviin. Kohonneet raudan ja magnesiumin pitoisuudet myös tukevat ajatusta gneissien turbiittisesta alkuperästä (Liite 2, sarakkeet 11–16).

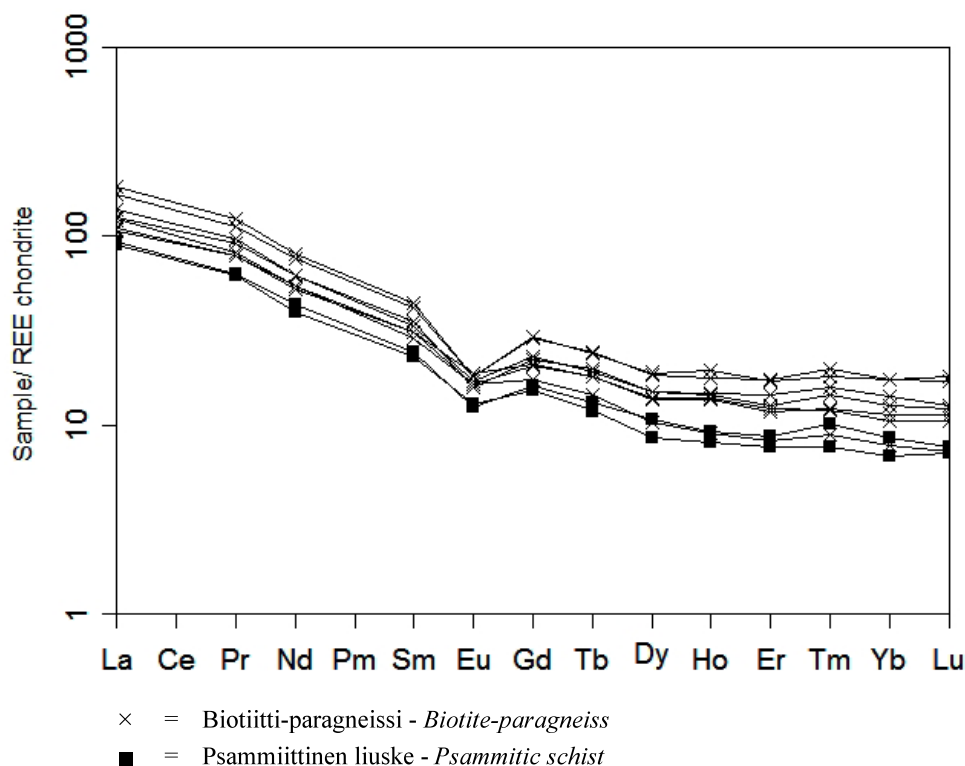
Biotiitti-paragneisseillä alumiinipitoisuus vaihtelee mutta on usein korkeahko (17–21 paino-% Al_2O_3), mitä osoittaa myös kordieriitin iso määrä (~10 %). Psammiittisten kivien SiO_2 -pitoisuus on 77–78 paino-%, ja vastaavasti alumiinipitoisuus niissä on pienehkö (10–11 paino-% Al_2O_3).

Kuvassa 23 on näiden biotiitti-paragneissien lantanoidijakauma, jossa näkyy selvä Eu-mini-

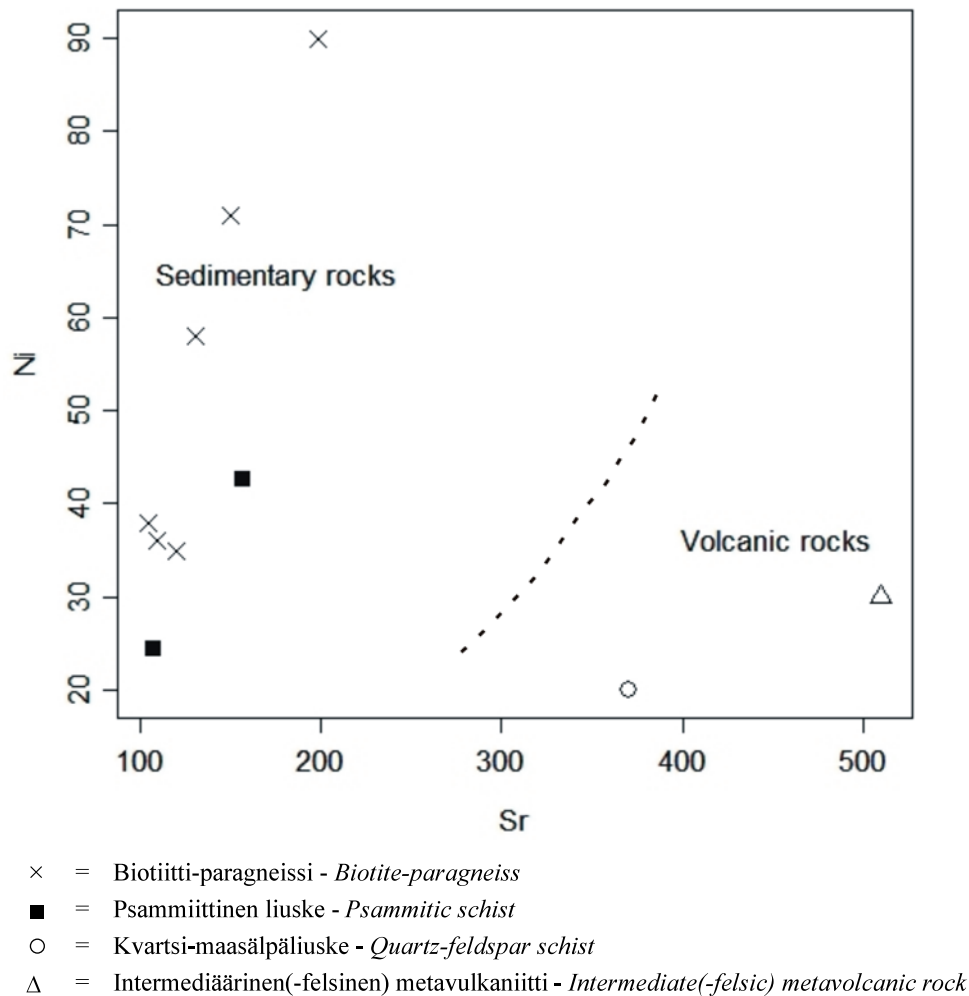
mi. Kevyet lantanoidit ovat rikastuneet kivissä. Psammiittisilla liuskeilla on biotiitti-paragneissejä matalammat lantanoidipitoisuudet. Tämä johtune osaksi siitä, että biotiitti-paragneissit sisältävät enemmän granaattimineraalia kuin psammiittiset liuskeet.

Psammiittiset liuskeet ovat Ni/Sr:n perusteella epiklastisia eli sedimenttisiä kiviä (kuva 24). Toisaalta Tiirismaa-seurueen kvartsi-maasälpäliuskeella – joka paikoin muistuttaa psammiittista kiveä – on puolestaan korkeampi Sr/Ni, mikä Winchesterin ym. (1980) mukaan on tyypillistä vulkaaniselle kivelle.

Rapautuneessa biotiitti-paragneississä olleen noin 10 cm leveän grafiitti-sulfidi-paraliuskeen kemiallinen analyysi on liitteessä 2 (sarake 19). Liuskeen S-pitoisuus on 5,55 paino-% ja C-pitoisuus on 4,01 paino-%. Muista alkuainepitoisuuksista mainittakoon V (280 ppm), Cr (90 ppm), Ni (160 ppm) ja Mo (20 ppm). Kyseistä näytettä luonnehtii $\text{S} > \text{C}$ ja $\text{V} > \text{Cr}$, eli ne muistuttavat tältä osin keskisestä Suomesta kuvattuja grafiitti-sulfidi-paraliuskeita (ks. Sipilä ym. 2008, Västi 2008 ja referenssit siinä).



Kuva 23. Metasedimenttien kondriittinormalisoitu (Nakamura 1974) lantanoidijakauma.
 Fig. 23. Chondrite-normalized lanthanoid diagram (Nakamura 1974) for the metasediments.



Kuva 24. Pintakivilajien Ni-Sr-diagrammi, jossa epiklastisten sedimenttien ja vulkaanisten kivien kentät Winchesterin ym. (1980) mukaan.

Fig. 24. Ni - Sr diagram for supracrustal rocks; epiklastical sedimentary and volcanic fields are after Winchester et al. (1980).

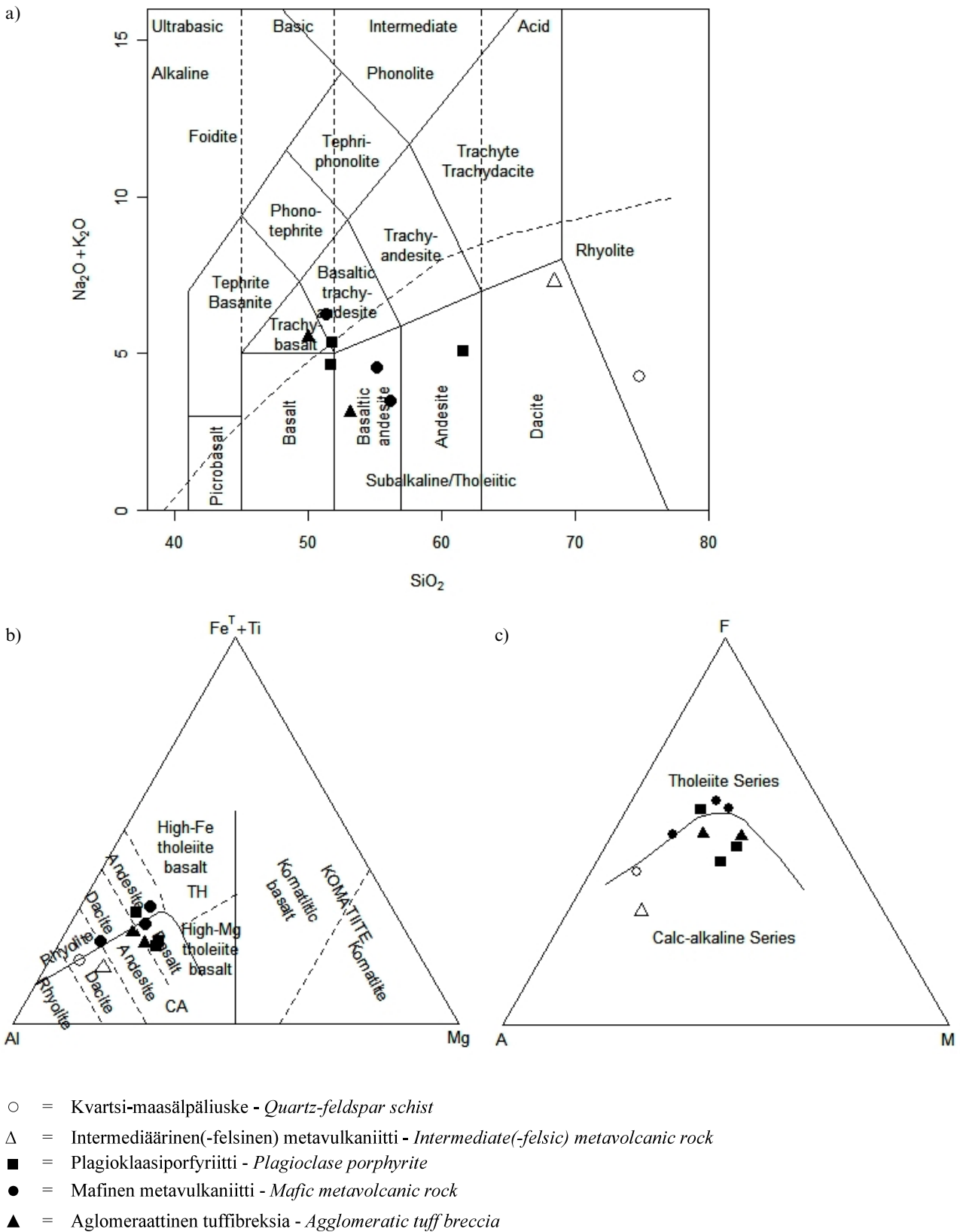
6.2.2 Tiirismaa-seurue

Kymmenen kokokivianalyysia on käytettävissä Tiirismaa-seurueen kivistä. Ne on otettu Otosalon ja Luukkolansaaren väliltä ja jakaantuvat seuraavasti: kolme edustaa mafisia(-intermediäärisiä) metavulkaniitteja, yksi on intermediäärisestä(-felsisestä) metavulkaniitista, kolme on otettu plagioklaasiporfyyriiteista ja kaksi mafisesta agglomeraattisesta kivistä. Lisäksi yksi kokokivianalyysi on jakson kvartsi-maasälpäliuskeesta.

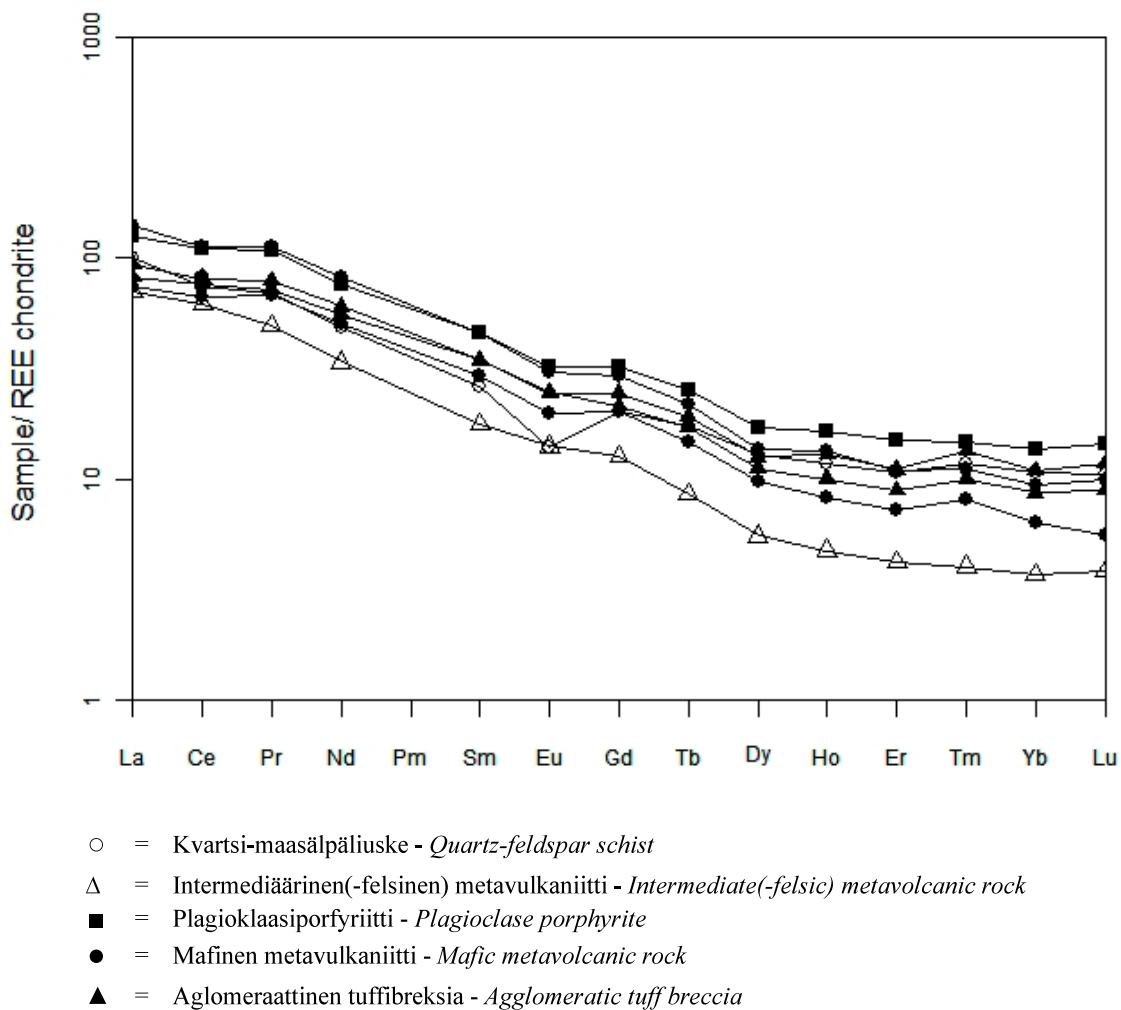
Otasalo-Luukkolansaaren alueen metavulkaniitit vaihtelevat kemialliselta koostumukseltaan trakybasalteista, basalttisten andesiittien kautta, dasiitteihin (kuvat 25A ja 25B). Ne ovat koostumukseltaan pääosin myös subalkalisia. Samojen diagrammien mukaan alueen kvartsi-maasälpä-

liuske – jolla kuvan 24 perusteella on vulkaninen alkuperä – olisi koostumukseltaan ryoliittinen. Pääosa tutkituista metavulkaniiteista on kalkki-alkalisia, mutta mafiset metavulkaniitit ovat tholeiittisia (kuva 25C).

Tummien metavulkaniittien ja plagioklaasiporfyyriittien SiO₂-pitoisuus vaihtelee 48 ja 61 paino-%:n välillä. Niillä on paikoin myös jossain määrin kohonnut alkalipitoisuus (→3,8 paino-% Na₂O ja →2,4 paino-% K₂O). Tämä näkyy myös kivien mineralogiassa; biotiitti on usein päämineraalina. Metavulkaniittien Al₂O₃-pitoisuus on usein myös kohonnut (15,5–21,5 paino-%), mikä puolestaan heijastuu suurena plagioklaasin määränä. Kuvassa 6B oli esitetty plagioklaasi- ja biotiittivaltainen basalttinen trakyandesiitti, jonka SiO₂-pitoisuus on 50,9 paino-% ja K₂O-pitoisuus 2,42 paino-% (ks. Liite 2, sarake 2).



Kuva 25. Tiirismaa-seurueen kvartsi-maasälpäliuskeen ja metavulkaniittien kemiallisia luokitteludiagrammeja. A) $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ -diagrammi (Le Bas ym. 1986). B) $\text{Al}-(\text{Fe}^{\text{T}}+\text{Ti})-\text{Mg}$ -diagrammi (Jensen 1976). C) A-F-M-diagrammi (Irvine & Baragar 1971).
 Fig. 25. Classification diagrams for the Tiirismaa quartz-feldspar schist and metavolcanic rocks. A) $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ diagram (Le Bas et al. 1986). B) $\text{Al}-(\text{Fe}^{\text{T}}+\text{Ti})-\text{Mg}$ diagram (Jensen 1976). C) A-F-M diagram (Irvine & Baragar 1971).



Kuva 26. Tiirismaa-seurueen metavulkaniittien ja kvartsi-maasälpäliuskeen kondriittinormalisoitu (Nakamura 1974) lantanoidijakauma.

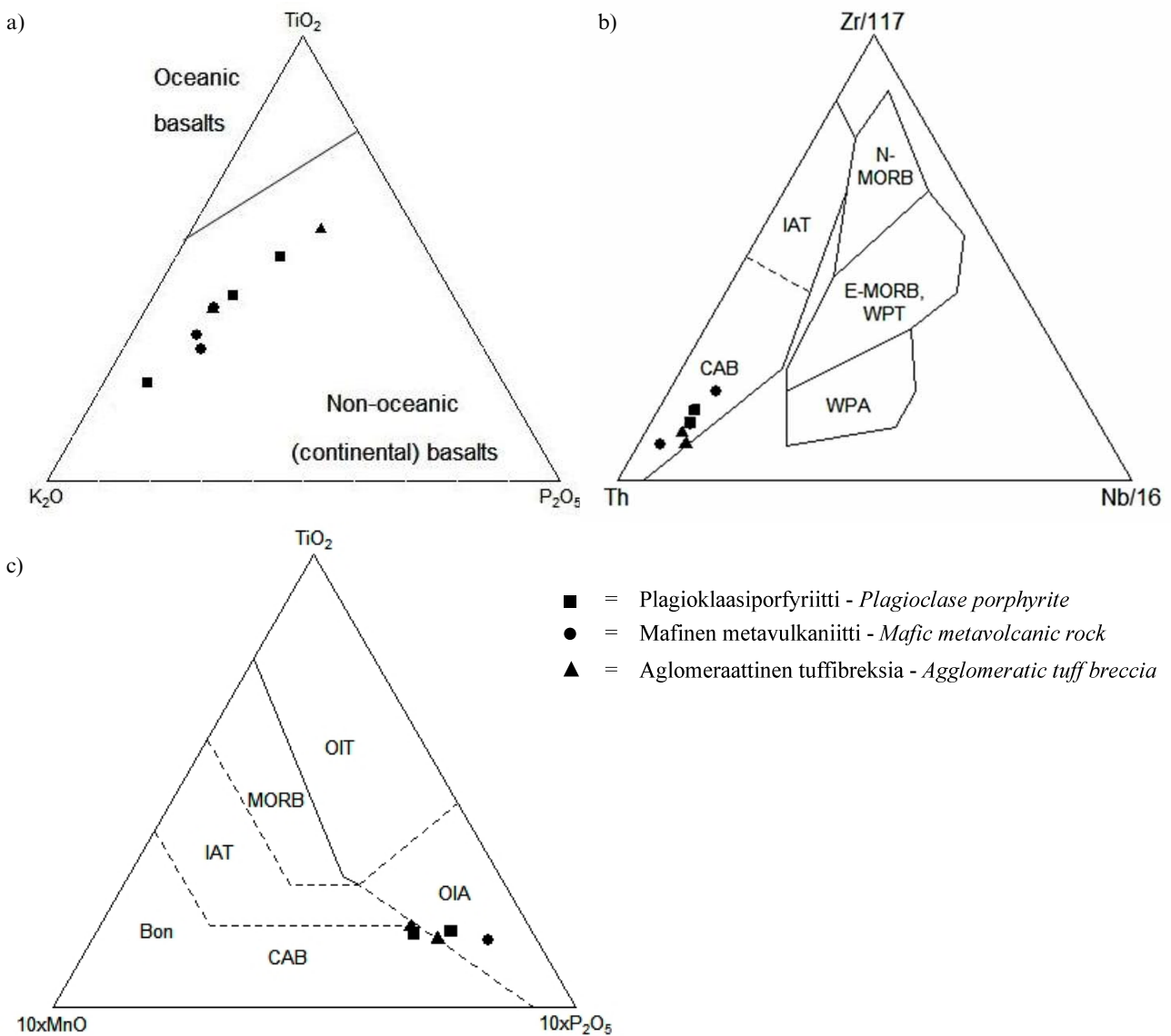
Fig. 26. Chondrite-normalized REE distribution curve (Nakamura 1974) for the metavolcanic rocks and quartz-feldspar schist of the Tiirismaa Suite.

Tiirismaa-seurueen kivien lantanoidijakaumat ovat kuvassa 26. Kvartsi-maasälpäliuskeella on negatiivinen Eu-anomalia. Yleisesti ottaen vulkaniitit ovat kohtalaisesti rikastuneet keveiden lantanoidien suhteen.

Metavulkaniittien geotektonista ympäristöä kuvaavia diagrammeja on esitetty kuvassa 27. Geokemian perusteella – vaikka analyyseja on niukasti – Tiirismaa-seurueen metavulkaniitit Otasalo-Luukkolansaaren alueella eivät kuuluisi merelliseen ympäristöön (kuva 27A). Woodin (1980) esittämät diagrammit tukevat tätä havaintoa (kuva 27B). Myös geotektonisilla Ti-Zr- ja Zr-Y-diagrammeilla (Pearce & Cann 1973, Pearce & Norry 1979) Otasalo-Luukkolansaaren alueen basalttisten kivien kemialliset koostumukset ei-

vät viittaa esimerkiksi MORB- tai saarikaariympäristön vulkaniitteihin. MnO-TiO₂-P₂O₅-diagrammilla analyytit sijaitsevat lähinnä valtameren saarten ja kalkki-alkalisten basalttien kentissä (kuva 27C).

Heinosen (1987) mukaan Luukkolansaaren silimaniittikvartsiittisten, usein myloniittisten kivien, SiO₂-pitoisuus on korkea (85–92 paino-%). Toisaalta kvartsiitin K₂O:n määrä vaihtelee 0,02 ja 3,3 paino-%:n välillä, ja alumiinipitoisuus on 5–15 paino-% Al₂O₃ (Heinonen 1987). Kohonnut kalium viittaa kiven sisältävän hiukan serisiittia ja/tai kalimaasälpää. Tällä kvartsiittisellä kivellä on myös matalammat Zr- ja Sr-pitoisuudet kuin Otasalossa sijaitsevalla kvartsi-maasälpäliuskeella.



Kuva 27. Tiirismaa-seurueen mafisten metavulkaniittien geotektonista ympäristöä erottelevia diagrammeja. A) $K_2O - TiO_2 - P_2O_5$ -diagrammi (Pearce ym. 1975). B) $Th - Zr/117 - Nb/16$ -diagrammi (Wood 1980), jossa CAB on ”kalkki-alkaliset basaltit”. C) $10xMnO - TiO_2 - 10xP_2O_5$ -diagrammi basalttisille kiville ($45 \text{ paino-}\% < SiO_2 < 54 \text{ paino-}\%$), jossa CAB on ”kalkki-alkaliset basaltit” ja OIA on ”valtameren saarten andesiitit” (Mullen 1983).

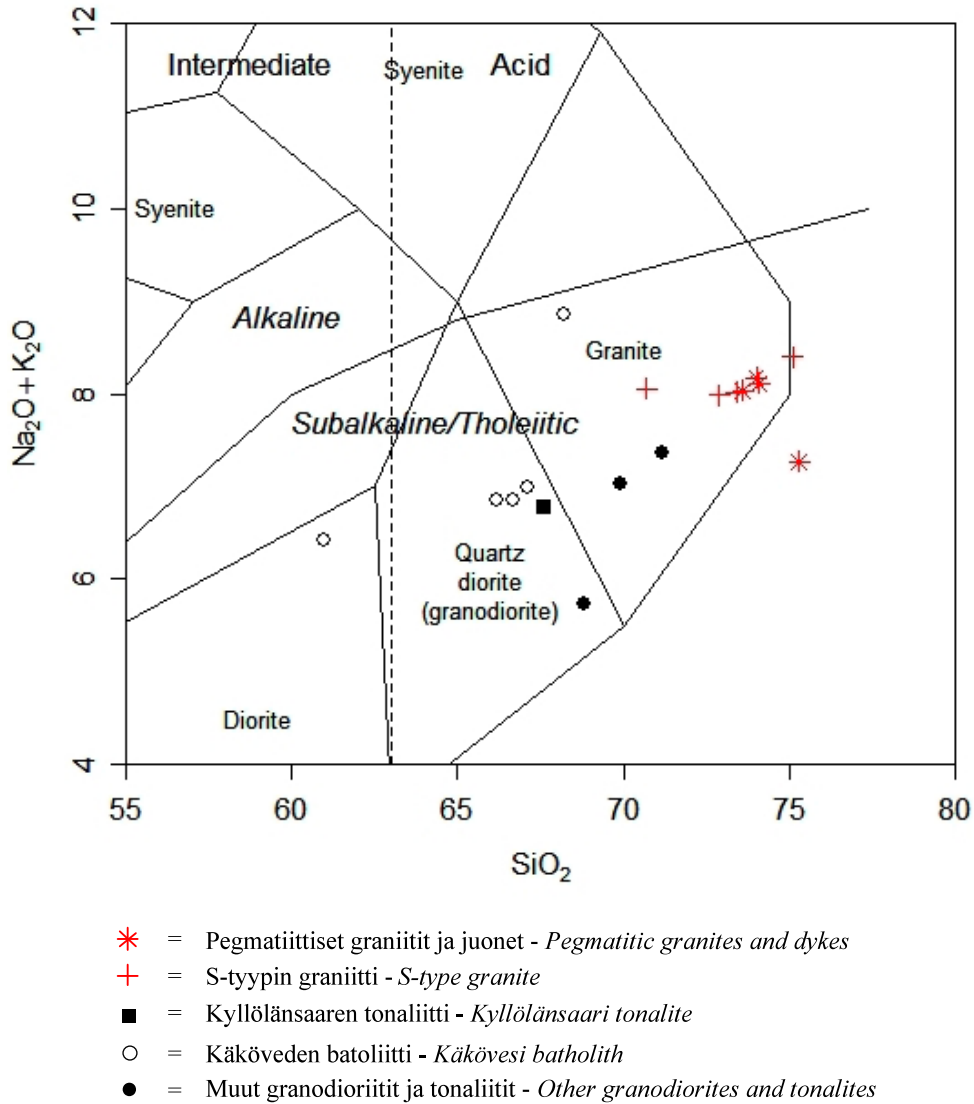
Fig. 27. Geotectonic classification diagrams for metavolcanic rocks of the Tiirismaa Suite. A) $K_2O - TiO_2 - P_2O_5$ diagram (Pearce et al. 1975). B) $Th - Zr/117 - Nb/16$ diagram (Wood 1980), where CAB denotes calc-alkaline basalts. C) $10xMnO - TiO_2 - 10xP_2O_5$ diagram for basaltic rocks ($45 \text{ wt}\% < SiO_2 < 54 \text{ wt}\%$), where CAB denotes calc-alkaline basalts and OIA denotes ocean island andesites (Mullen 1983).

6.3 Syväkivilajit

6.3.1 Gabrot ja dioriitit

Kartta-alueella sijaitsevasta Kyläniemestä (3143 07) analysoidulla dioriitilla on melko korkea kaliumpitoisuus (1,87 paino-% K_2O) (Liite 3, sarakke 1), mikä heijastuu kivessä kohtalaisen suurena biotiitin määränä (~15 %). Kivi sisältää vähän enemmän magnesiumia (6,86 paino-% MgO) kuin rautaa (5,56 paino-% FeO_t).

Utulan kylästä (3143 10) analysoidun sarvivälkegneissin(-liuskeen) (Liite 3, sarakke 2) korkeat fosforin ja titaanin arvot (1,1 paino-% P_2O_5 , 2,1 paino-% TiO_2) voisivat indikoida sitä, että kivi on alkujaan gabromainen syväkivi eikä vulkaniitti. Toisaalta sarvivälkegneissin LaN/YbN on huomattavasti pienempi (5,5) kuin edellä mainitulla dioriitilla (28,8) (Liite 3).

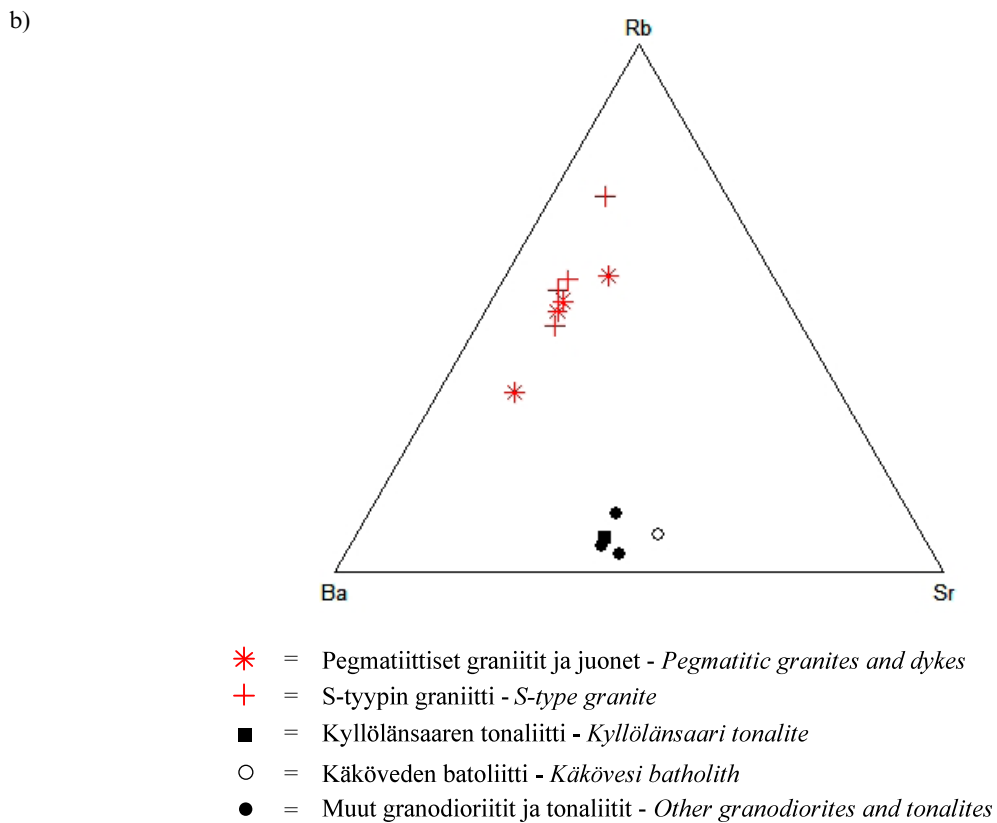
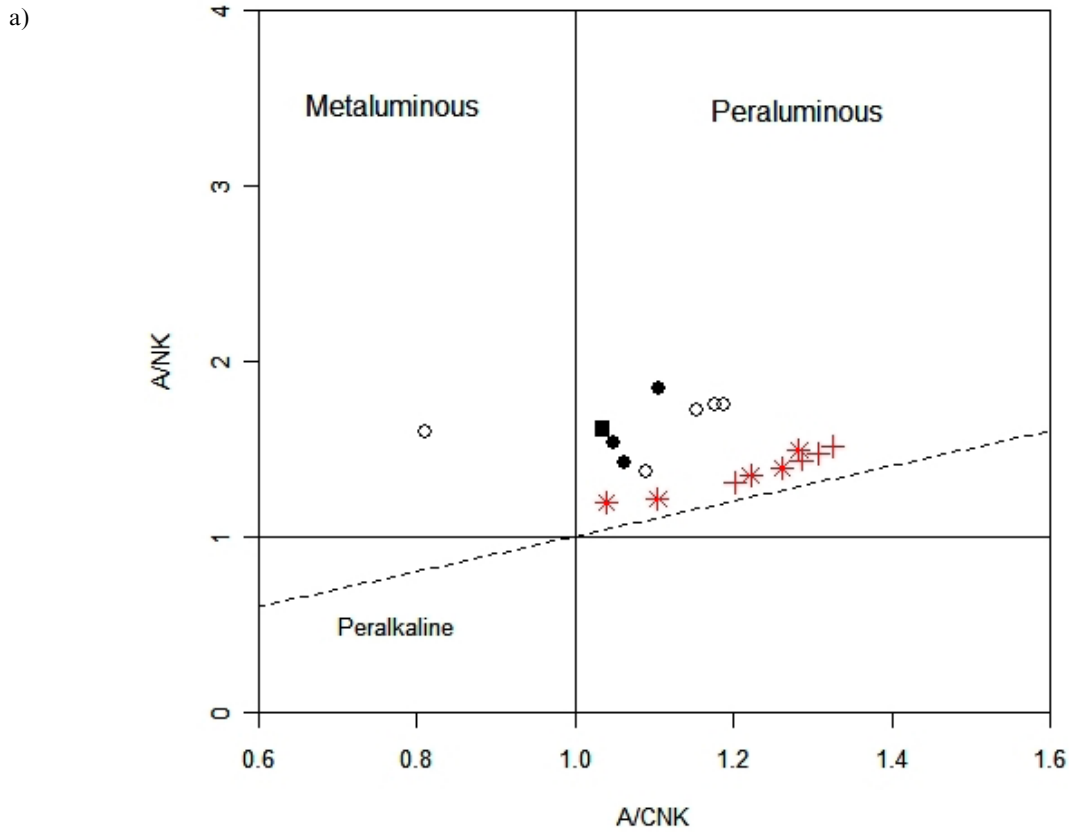


Kuva 28. Puumalan kartta-alueen granitoidien TAS-diagrammi (Cox ym. 1979).
 Fig. 28. *TAS diagram (Cox et al. 1979) for the granitoids of the Puumala map sheet area.*

6.3.2 Granitoidit

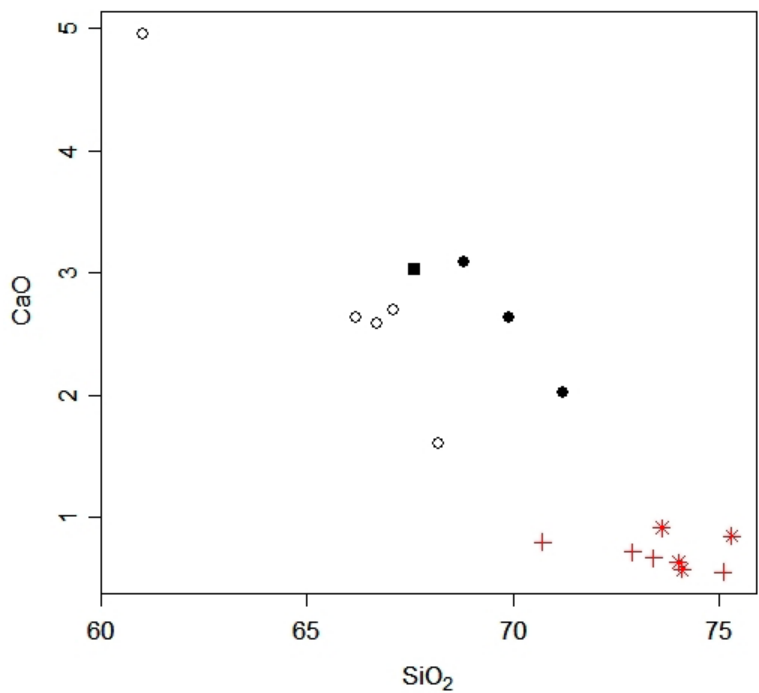
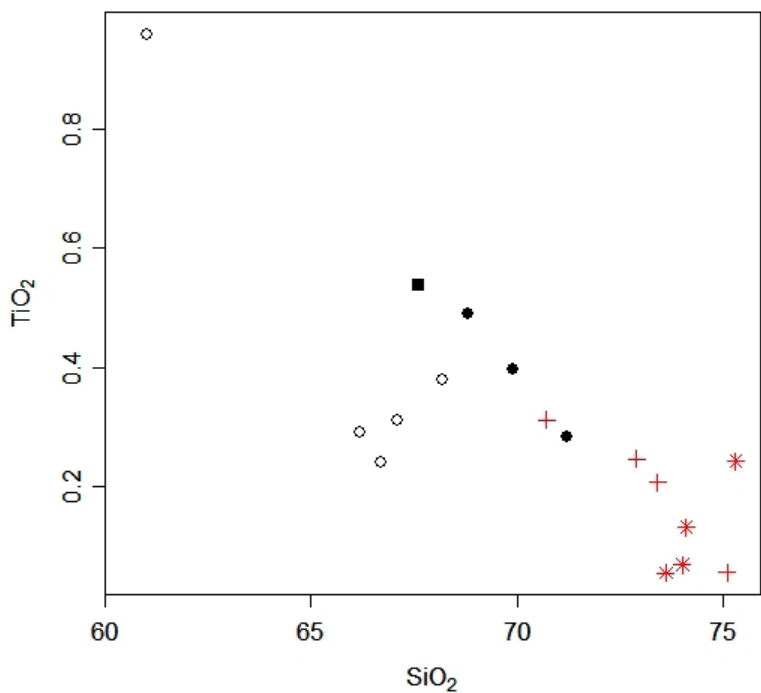
Granitoideja analysoitiin seuraavasti: kahdeksan edustaa synorogeenista kiviä ja yhdeksän näytettä on otettu myöhäisorogeenisista graniiteista ja pegmatiiteista. Valtaosa Puumalan kartta-alueen granitoideista luokituu TAS-diagrammilla granodioriiteiksi ja graniiteiksi (kuva 28), ja ne ovat kemialliselta luonteeltaan peralumiinisia (kuva 29A). Käköveden batoliitin näytteistä pääosa on granodioriittisia (kuva 28), mutta eräs analysoitu kivi on dioriittinen vaikka maastossa se oli nimetty tonaliitiksi. Kuvan 28 perusteella Kyllölänsaaren tonaliitti sijoittuu granodioriittikenttään.

Kuvan 28 diagrammilla osa ryhmästä ”muut granodioriitit ja tonaliitit” on yllättäen graniittikentässä korkeahkojen Na_2O - ja SiO_2 -pitoisuuksien takia. Nämä kivet sisältävät kuitenkin suhteellisen vähän kalimaasälpää (1–10 %) ja K_2O :ta (1,8–2,3 paino-%) tyypilliseen graniittiin verrattuna. Streckeisenin (1976) modaaliseen koostumuksen perustuvassa luokittelussa ne ovatkin granodioriitteja ja tonaliitteja. Tässä yhteydessä on hyvä muistaa, että TAS-diagrammia suositellaan lähinnä vulkaanisten kiven luokitteluun (Zanettin 1984) – keski- ja karkearakeiset syväkivet nimetään yleensä mineraalikoostumuksensa mukaan.



Kuva 29. Puumalan alueen granitoidien kemiallisia luokitteludiagrammeja. A) A/CNK vs. A/NK -diagrammi (Maniar & Piccoli 1989). B) Ba - Rb - Sr -diagrammi.

Fig. 29. Classification diagrams for granitoids of the Puumala area. A) A/CNK vs. A/NK diagram (Maniar and Piccoli 1989). B) Ba - Rb - Sr diagram.



- * = Pegmatiittiset graniitit ja juonet - *Pegmatitic granites and dykes*
- + = S-typin graniitti - *S-type granite*
- = Kyllölänsaaren tonaliitti - *Kyllölänsaari tonalite*
- = Käköveden batoliitti - *Käkövesi batholith*
- = Muut granodioriitit ja tonaliitit - *Other granodiorites and tonalites*

Kuva 30. Harkerin diagrammeja Puumalan alueen granitoideille.
 Fig. 30. Harker diagrams for the Puumala granitoids.

Ainoastaan Käköniemen batoliitin tonaliittiset osat ovat koostumukseltaan metalumiinisia (kuva 29A), ja niillä on samalla korkeammat Ca- ja Na-pitoisuudet kuin muilla granitoideilla (ks. myös Heinonen 1987). Selvimmin peralumiinisia (A/CNK > 1,1) ovat Liimattalansaaren S-tyyppin graniitit, joskin mikrokliinigraniittiset pegmatiittijuonet ovat myös varsin peralumiinisia. Chappell & White (1974) luokittelevat korkean A/CNK-arvon (>1,1) omaavat graniitit ”S-tyyppiksi”, koska niillä olisi sedimenttinen alkuperä.

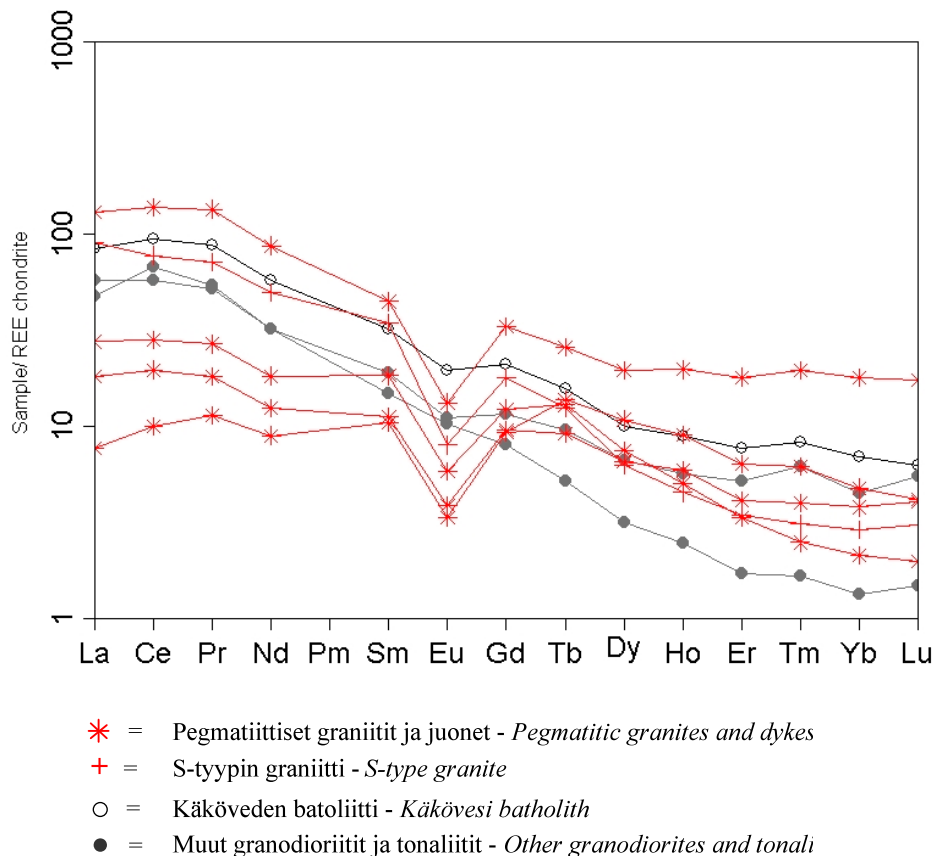
Ba-Rb-Sr-kolmiodiagrammilla (kuva 29B) erottuu eräs mielenkiintoinen seikka. Graniittisilla pegmatiittijuonilla ja Liimattalan S-tyyppin graniiteilla on korkeampi Rb-pitoisuus kuin muilla granitoideilla, ja ne saattavat edustaa ”kehittyntä” (fraktioitunutta) magmatismia (vrt. Thieblemont & Tegye 1994). Muiden granitoidien matalampi Rb-määrä johtuu (ja on heijastus) niiden suuresta plagioklaasipitoisuudesta.

Harkerin diagrammeilla (esim. Ti_2O vs. SiO_2

ja CaO vs. SiO_2) Käköveden batoliitin graniitit erottuvat melko selvästi muista graniittisista kivistä omana kiteytymissarjanaan (kuva 30). Tämä viittaa siihen, että kyseisen batoliitin protoliitti ja kiteytymisolot eroavat muista syväkivistä.

Postorogeenisen Luonterin intruusion geokemiaa ovat viime aikoina tutkineet Rutanen ym. (2008); intruusion granitoidiset faasit ovat kalkki-alkalisia, metalumiinisia tai heikosti peralumiinisia, ja niitä luonnehtii kohonnut Y+Nb-pitoisuus. Pearcen (1996) diagrammilla viimeksi mainitut kivet sijoittuvat ”volcanic arc/post-collisional”-kenttään.

Puumalan alueen granitoidien lantanoidijakaumat näkyvät kuvassa 31. Myöhäisorogeenisilla graniittisilla pegmatiiteilla ja S-tyyppin graniiteilla on varsin samanlainen jakauma, joka poikkeaa synorogeenisista Käköveden ja Suuriniemen granitoideista Eu-miniminsä takia.



Kuva 31. Puumalan alueen granitoidien kondriitti-normalisoitu lantanoidijakauma Nakamuran (1974) mukaan.
 Fig. 31. Chondrite-normalized REE distribution curve for the granitoids of the Puumala area (after Nakamura 1974).

7 TALOUDELLISET AIHEET

7.1 Kitulan Ni-Cu-esiintymä

Puumalan kuntakeskuksen kaakkoispuolella Lajunmäellä (3143 09) sijaitseva pieni Kitulan nikkelimalmi löydettiin vuonna 1951 (Marmo & Hyvärinen 1951, Marmo 1955). Vuonna 1961 tehtyjen lisätutkimuksien nojalla on Hyvärinen (1967) liseniaattityössään kuvannut aihetta varsin tarkasti. Hänen mukaansa malmiutunut vyöhyke on noin 80 m pitkä, muodoltaan kiilamainen ja kokonaistilavuudeltaan 6 000–7 000 m³. Aihetta on tutkittu 1960-luvulla myös Outokumpu Oy:n toimesta syväkairauksin, ja sitä on pidetty taloudellisesti käyttökelpoisena (Viluksela 1969).

Malmimineraalit ovat noriitissa, jossa kiisupitoisuus kohoaa alakontaktiin päin. Esiintymä on loiva-asentoinen ja sisältää 20 000–30 000 tonnia

malmia, jossa on keskimäärin 0,9–1,6 % Ni ja 0,2–0,4 % Cu kirjallisuuslähteestä riippuen. Sitä on louhittu vuonna 1970 (Saltikoff ym. 2006). Päämalmimineraalit ovat magneetikiisu, pentlandiitti ja kuparikiisu. Oksidimalmineraaleja on noin 2 %, ja ne ovat lähinnä ilmeniittä. Nykyisin on Kitulan aiheen kohdalla veden täyttämä louhintamonttu (kuva 32).

Kitulan Ni-Cu-malmi on Hyvärisen (1967) mukaan muodostunut siten, että noriitin avautuneeseen alakontaktiin on tullut sulfidisulaa, jonka kiteytyminen on ollut kuparin suhteen fraktioituvaa. Noriittiin kulkeutuneet ainekset ovat samalla reagoineet silikaattimineraalien kanssa uuttaen niistä nikkeliä ja rautaa.



Kuva 32. Vedellä täyttynyt Kitulan malmiaiheen hylätty louhintamonttu kesällä 2008.

Fig. 32. The abandoned test quarry of Kitula in the summer of 2008.

Kitula, 3143 09, x = 6820501, y = 3566521.

7.2 Luukkolansaaren Mo-Cu-esiintymä

Luukkolansaaren Mo-Cu-esiintymä sijaitsee 13 km Puumalan kirkonkylästä etelään, karttalehdellä 3143 08, Käköveden granitoidibatoliitin länsipäässä (Inkinen 1984, Nurmi ym. 1984). Aihe on löytynyt kansannäytteen perusteella. Outokumpu Oy on tutkinut esiintymää vuosina 1977–1980. Päämalmineraalit ovat molybdeenihohde ja kuparikiisu, joita tavataan paljastumissa noin 1 200 x 1 800 m:n kokoisella alueella. Esiintymässä voidaan erottaa kaksi mineralisaatiotyyppiä: (1) siirrosvyöhykkeisiin liittyvät mineralisaatiot ja (2) graniittijuoniin ja metasomaat-

tisiin saumoihin liittyvät mineralisaatiot (esim. Nironen 1985). Sivukivien muuttumista esiintyy lähinnä mineralisoituneiden leikkausvyöhykkeiden yhteydessä.

Luukkolansaaren aiheen tulkitaan liittyvän lähelle nykyistä eroosiotasoa intrudoituneeseen graniittiin, josta ovat näkyvissä vain kiisupitoiset graniittijuonet. Intrusion katto-osaan kerääntyneet mineralisoivat liuokset purkautuivat siirrosvyöhykkeitä pitkin. Kiteytymisen loppuvaiheessa myös Mo-Cu-rikasta graniittimagmaa tunkeutui granodioriittiin juonina (Nurmi ym. 1984).

7.3 Muita esiintymiä

1800-luvun puolivälissä on magnetiittia louhittu hiukan Kurensalon alueelta (3143 07) kohdasta, jonka karttakoordinaatit ovat suunnilleen $x = 6809250$, $y = 3560650$ (GTK:n tietokannat, ks. myös Puustinen 2003).

Lintusalon Heinäsaarelta on kuvattu 40–50 m leveitä wollastoniittipitoisia kalkkikivi-vyöhykkeitä kiillevaltaisen gneissin ja graniitin kontaktista (Halonen 1958). Esiintymä sijaitsee rantakallioilla ja on siten vaikeasti hyödynnettävissä.

Puumalan karttalehden alueella on havaittu kuparipitoisuutta Otasalon itäosassa (3143 02) ja sinkkipitoisuutta karttalehden 3143 09 pohjoisreunalla (GTK:n tietokannat, ks. myös Saltikoff ym. 2002), mutta kohteita ei ole tarkemmin tutkittu. Lisäksi välittömästi karttalehden 3143 04

eteläpuolelta sijaitsevalta Munaluodolta on kuvattu kiisuuntumia kvartsiittisessa kivessä (Vorma 1965), mutta näiden jatkuminen veden alle estänee mahdollisten jatkeiden tutkimista.

Kohonneita radioaktiivisia anomalioita on raportoitu Hallapellon alueelta (3143 12) (GTK:n tietokannat), jossa kallioperä koostuu migmatiittisista biotiitti-paragneisseistä ja pegmatiiteista. Uraanipitoisuutta on sieltä analysoitu noin 700 ppm:n verran. Tämän tyyppiset radioaktiiviset anomaliat eivät liene ainutlaatuisia, koska viereisen Virtumjoen karttalehden puolelta, Karhukosken seudulta, on samanlaisista kivistä paikoin löytynyt jopa 10 %:n verran monatsiittia (Haapala ym. 1969). Monatsiitti on radioaktiivinen mineraali, joka sisältää runsaasti cerium-, lantaani- ja neodyyni-alkuaineita.

7.4 Kalliokiviaines ja rakennuskivet

Puumalan kartta-alueella on vain muutama murskelouhos. Kantatien 62 varrella, 5 kilometriä Puumalasta etelään, on suurehko murskelouhos, jonka kivilajina on seoksinen biotiitti-paragneissi. Toinen louhos on tekeillä 10 km:n päässä saman valtatievarrella kaakkoon. Hyvin kordieriittipitoista gneissia on näkyvissä pienessä murskelouhoksessa Karkian kylän pohjoispuolella (3143 11). Kiviaineksien järjestelmällistä inventointia on tehty vain kartta-alueen kaakkoisosassa Ruokolahden kunnan alueella (Kajoniemi ym. 2008).

Puumalan kartta-alueen suurimpien teiden läheisyydessä ei ole A-luokan kiviä mursketuotantoa ajatellen. Otasalo-Luukkolansaari-jakson metavulkaniitit ja kvartsi-maasälpäliuskeet olisivat paikoin hyvää raaka-ainetta kiviaineksiksi, mutta parhaimmat kivet esiintyvät kapea-alaisi-

na ja syrjässä valtavyöhyiltä.

Granaattia ja kordieriittia sisältävä seoksinen biotiitti-paragneissi on Puumalan alueen kiinnostavin rakennuskivi. Kyseinen gneissi muodostaa kartta-alueella suuria kalliomäkiä. Kivessä vaihtelevat vaaleat kalimaasälpävaltaiset ja tummat granaatti-, kordieriitti- ja biotiittipitoiset kohdat. Ainakin Karkian Hilamäen (3143 11) ja Kontilan Ahvenlammen (3143 03) alueilla biotiitti-paragneissistä löytyy potentiaalia rakennuskivikohteille (<http://stone.gsf.fi>). Puumalan alueen seoksinen biotiitti-paragneissi on rakennuskivenä ns. kuviollinen monivärikivi (kuva 33), joka hyvälaatuisena on arvokas geologinen luonnonvara. Parhaimmat siniviolettiset granaatti- ja kordieriittipitoiset variaatiot ovat ”Amadeus”-tyyppistä rakennuskiveä.



Kuva 33. Seoksisen granaatti- ja kordieriittipitoisen biotiitti-paragneissin kiillotettua pintaa.
Fig. 33. Polished surface of migmatitic garnet- and cordierite-bearing biotite paragneiss.
Ahvenlampi, 3143 03, x = 6822500, y = 3546200. Kuvan leveys 24 cm.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Puumalan alueen kallioperä on viime vuosiin asti ollut suhteellisen heikosti tunnettu. Liitteessä 1 esitetystä kallioperäkartassa on runsaasti saaria ja muitakin alueita, joissa ei tämän tutkimuksen yhteydessä ole käyty ja joista ei ollut geologista havaintotietoa saatavilla. Sitä ei pidä rinnastaa Geologian tutkimuskeskuksen 1:100 000-mittakaavaisen kartoitusohjelman ns. vakiomuotoisiin kallioperäkarttoihin, jotka on laadittu perusteellisten maastotutkimuksien avulla. Geofysikaalinen aineisto viittaa kuitenkin siihen, että Puumalan kartta-alueella tutkimattomiksi jääneiden alueiden kallioperä koostuu samanlaisista biotiitti-paragneisseistä ja pegmatiittisista graniiteista kuin ympäristössä tavataan.

Kallioperää Otasalosta (3143 02) Luukkolan saareen (3143 08) halkova itä-länsi-suuntainen Tiirismaa-seurueen jakso ei näyttäisi olevan mikään merkittävä ”terraaniraja”, koska sen etelä- ja pohjoispuolella on samanlaisia biotiitti-paragneissejä. Huomioitavaa on lisäksi se, että jakson mafisista metavulkaniiteista ei ole tavattu merellisiä MORB-tyyppin basaltteja. Puumalan kallioperä-

rän valtakivet, migmatiittiset biotiitti-paragneissit, muistuttavat suuresti viereisiltä karttalehdiltä kuvattuja vastaavia gneissejä. Nykyään nämä Puumalan alueen biotiitti-paragneissit on luokiteltu Suomen geologian uusimmassa yksikköjaoittelussa Hämeen migmatiitti-seurueeseen.

Tiirismaa-seurueen kvartsiittisille liuskeille näyttää kulun suunnassa löytyvän jatkeita lounaassa 40 km:n päässä, jossa Savitaipaleen Rautjärven pohjoispuolelta (3132 05) on kuvattu kvartsiittia ja arkoosikvartsiittia (Simonen & Tyrväinen 1965). Myös Käköveden batoliitin itäpuolella, Virtutjoen kartta-alueella, on löydetty pieniä kvartsiittikallioita (Nykänen 1988). Puumalan alueen kvartsiittien ja kvartsi-maasälpäliuskeiden läheisyydessä ei ole grafiitti-sulfidi-paraliuskeita. Täten viimeksi mainitut kivet eivät välttämättä lukeudu Tiirismaa-seurueeseen.

Puumalan kartta-alueella olevat leveät mutta muodoltaan hyvin epäsäännölliset pegmatiittiset graniittijuonet ja toisaalta Liimattalan S-tyyppin melko tasalaatuiset graniitit kuuluvat Etelä-Suomen karakterisoivaan 1,84–1,81 Ga:n ikäiseen

graniittimagmaatistiin (vrt. Korsman ym. 1997). S-tyyppin graniitit ovat paikoin melko parauktonisia ja laaja-alaisia (kuva 17); ne voisivat muodostaa oman litodeemisen kivilajin Etelä-Suomen graniitti-seurueessa.

Uusi litodeeminen yksikkö voisi olla myös Kylölänsaaren tonaliitti (kuva 14), joka on varsin heikosti deformatunut edustaakseen tyypillistä noin 1,88 Ga:n ikäistä synorogeenista magmaatistia. Kyseinen intruusio lienee hiukan nuorempi kuin alueen muut synorogeeniset intrusiot. Toistaiseksi on tutkimatta, kuuluuko kivi edes synorogeenisiin intrusioihin vai esimerkiksi Pajusen ja muiden (2008) esittämän D_E :n varhaisimpiin magmoihin (1,87–1,86 Ga) tai vieläkin nuorempaan termiseen vaiheeseen.

Granitoidien iästä rinnastettaessa svekofennidiin kehitykseen on todettava, että eteläisessä Suomessa on ilmeisesti useita ”terraaneja” (esim. Pajunen ym. 2008), joiden kesken termotektonisen kehityksen ja maankuoren stabiloitumisen iät vaihtelevat. Esimerkiksi Korsmanin ja muiden (1984) mukaan Sulkavan alueen metamorfoosin huippuvaihe oli 1,83–1,81 Ga sitten, mutta Neuvosen ja muiden (1981) mukaan noin 1,84 Ga:n ikäiset lamprofyirit leikkaavat jo stabiloitunutta maankuorta Haukiveden alueella. Myöhäisorogeeninen graniittinen magmaatistia (~1,83 Ga) näyttäisi Savossa olevan vähäisempää kuin Lounais-Suomessa (vrt. Korsman ym. 1997); alue saattaa edustaa ylempää leikkausta maankuoresta verrattuna em. alueeseen.

Puumalan kallioperän voimakkaan metamorfoitumisen vuoksi on stratigrafisten päätelmien teko vaikeaa. Salaterän (1976) mukaan Otasalon alueella (3143 01, 02) vanhinta sedimentaatiota edustavat kiille- ja kordieriittivaltaiset gneissit, joiden päälle kerrostuivat konglomeraatit ja näiden päälle metavulkaniitit. Viimeisintä sedimen-

taatiovaihetta edustavat alueen kvartsiittiset liuskeet. Salaterä (1976) perustelee stratigrafiaansa löytämillään pohjansuunnan havainnoilla.

Ristiinasta, Puumalan kartta-alueen länsipuolelta on kuvattu psammiittisia kiviä, joiden maksimikerrostumisikä on noin 1,91 Ga (Lahtinen ym. 2002). Näitä metasedimenttejä ympäröivät varsin samanlaiset biotiitti-paragneissit kuin Puumalan kartta-lehdellä on valtakivenä.

Puumalan Luukkolansaaren (3143 08) kvartsiittisista metasedimenteistä – jotka on luokiteltu Tiirismaa-seurueeseen – separoitujen zirkonien nuorin ikä on puolestaan $1\ 842 \pm 10$ Ma, mikä mahdollisesti edustaa intraorogeenisen sedimentaatioaltaan ikää (Bergman ym. 2008). Tässä yhteydessä on hyvä todeta, että Luukkolansaaren kvartsiittisissa kivissä on paikoin runsaasti myöhäisorogeenista (1,84–1,81 Ga) graniittista pegmatiittia (kuva 6), joka muodostaa arkoosiittikvartsiittista ”seosmyloniittia”; alueen liuskeita on siten paikoin vaikeaa jaotella ja nimetä.

Puumalan alueen deformatiivisista granodioriiteista (Käkövesi) ja tonaliiteista (Suurinemi) ei ole saatavilla U–Pb-ikä määrityksiä. Ne on tässä raportissa tulkittu edustavan synorogeenista magmaatistia (~1,88 Ga) svekofennialaiseen orogeeniaan nähden. Samantyyppisen johtopäätöksen teki aikoinaan jo Hackman (1933) kutsuessaan näitä granitoideja nimellä ”vanhempi graniitti”. Tiirismaa-seurueen kvartsiittisten kivien ikäarvio (~1,84 Ga, Bergman ym. 2008) on toisaalta nuorempi kuin em. synorogeeninen magmaatistia. Tiirismaan seurueen kvartsiittien alta on havaittu lateriittisiksi tulkittuja paleorapaumia (Lahtinen & Nironen 2010). Puumalan karttalehtialueen biotiitti-paragneissien, deformatiivisten granitoidien ja Otasalo-Luukkolansaarijakson kvartsiittien keskinäiset suhteet vaativat lisätutkimuksia.

9 GEOLOGISIA RETKEILYKOhteITA

Puumalan kartta-alue on luonnonkaunista Saimaan saaristoa, jossa kalliota on lähes kaikkialla näkyvässä. Alueelta onkin kuvattu useita kallioperän suojelu- ja opetuskohteita (Kananoja 2005, Husa & Teeriaho 2007), jotka ovat usein 30–40 metriä korkeita pystysuoria kalliocyrkänteitä. Muista mielenkiintoisista kivikohteista voisi mainita 13 metriä pitkän ”kiikkuvan” lohkarin kartta-alueen itäosassa Hauklappin kylässä (Kejonen 2001). Kartta-alueen hyvä tieverkosto edesauttaa kallioiden tarkastelua ja luontomatkailua. Alla on lueteltu kuusi helposti tavoitetta-

vaa kohdetta, joissa on nähtävillä Puumalan kallioperälle tyypillisiä ja kiintoisia kivilajeja.

Migmatiittinen biotiitti-paragneissi. Kohteen lukuisat kalliit ovat phlebiittistä (seoksisen eli migmatiittisen kiven eräs tyyppi) biotiitti-paragneissiä, jossa on runsaasti punertavaa granaattia ja sinertävänharmaata (tuoreella kalliopinnalla) kordieriittia sormenpäänkokoisina rikkonaisina rakeina sekä vaihtelevan levyisiä graniittisuonia. Kivi oli miljoonia vuosia sitten merenpohjan saava. Lietveden sillan näköalapaikka, KT 62 (x = 6827274, y = 3551343).

Plagioklaasiporfyriitti. Tumma amfiboliittinen kivi, jossa on paikoin 1–2 cm:n kokoisia vaaleita plagioklaasihajarakeita. Kivellä on vulkaaninen alkuperä. Taukopaikka Lintusalontiellä. Halkosaari (x = 6811285, y = 3557622).

Mafinen metavulkaniitti ja pegmatiittijuonia. Muutama kalliopaljastuma raitaista tummaa metavulkaniittia ja leveitä vaaleanpunertavia pegmatiittijuonia metsäautotien varressa. Summalansaari (x = 6811027, y = 3547400).

Tonaliitti. Kallioinen kukkula Käköveden batiittin tasalaatuista, harmaata biotiitti- ja sarsivälkepitoista tonaliittia, joka sisältää joitakin graniittisuonia. Mäntylä, KT 62 (x = 6815799, y = 3578396).

S-tyyppin graniitti. Melko tasalaatuudessa graniittisessa kivessä on vaaleanpunertavia 1–2 cm:n kokoisia kalimaasälpähajarakeita ja hiukan punaista granaattia pieninä rikkonaisina kiteinä. Lähikalliot edustavat vähän epätasalaatuisempaa S-tyyppin graniittia. Taukopaikka Lintusalontiellä. Virtasaari (x = 6812925, y = 3559670).

Ni-Cu-esiintymä. Kohteessa on malmin koulouhintaan liittyvä vanha hylätty avolouhos, jonka viereisistä pienistä raakkukasoista voi vielä löytyä tummia, painavia magneettikiisu-, pentlandiitti- ja kuparikiisupitoisia malmilohkareita. Kitula, KT 62:n vieressä (x = 6820501, y = 3566521).

KIITOKSET

Käsikirjoituksen on ennakkotarkastanut FT Mikko Nironen, joka myös luovutti tekijälle viisi ennen julkaisematonta kokokivianalyysiä. FT Pekka Sipilältä ja FL Markus Vaarmalta sain hyviä kommentteja tekstin ja liitekartan parantamiseksi. Liitekartan GIS-toteutuksen suoritti

geologi Merja Janhila. Selityskirjan suomen kielen tarkasti kielenhuoltaja Marja Muittari. Englanninkielisen tekstin kielentarkastuksen teki geologi Graeme Waller. Tutkimusavustaja Pirkko Surakka viimeisteli raportin julkaisukuntoon. Esitän kaikille heille lämpimät kiitokseni.

SUMMARY: Pre-Quaternary rocks of the Puumala map sheet area

Introduction

The Puumala map sheet area (3143) is located in south-eastern Finland, 200 km NE of the capital Helsinki. Previous bedrock mapping in the area was done in the 1970s as part of ore exploration made by the Outokumpu Company (Salaterä 1976). There are also several M.Sc theses dealing with various rocks in the region (Hyvärinen 1967, Inkinen 1984, Heinonen 1987). The Puumala map sheet was the last area in southern Finland lacking a 1:100 000 scale geological map and, accordingly, the Geological Survey of Finland decided

to remedy this with limited fieldwork in 2007–2008. This explanatory text and the 1:100 000 scale bedrock map of the Puumala map sheet area are the results of this project (Appendix 1).

Administratively, most of the Puumala map sheet area belongs to the Southern Savonia Region. Geographically, the area is part of the extensive Lake Saimaa Archipelago, which is characterised by numerous irregular peninsulas and islands. The bedrock outcrops well in the Puumala map sheet area.

General geological outline

The bedrock of the Puumala map sheet area belongs to the Paleoproterozoic Svecofennian (1.9–1.8 Ga) domain of Finland (Lehtinen et al. 2005). It is dominated by migmatitic biotite paragneisses and slightly younger granitic intrusions. The biotite paragneisses typically comprise abundant granitic dykes and veins. Moreover, the bedrock contains an E-W trending, 0.1–1.5 km wide, volcanic-sedimentary sequence, in which the

rocks differ from the biotite paragneisses nearby. This sequence is called the “Otasalo-Luukkolansaari Unit”, and it is part of the larger Tiirismaa Suite of southern Finland. By tectonic setting, the plutonic rocks of the Puumala area can be divided into synorogenic (~1.88 Ga) and late-orogenic (1.84–1.81 Ga) magmatic bodies and minor ~1.80 Ga postorogenic rocks (Table 1).

Supracrustal rocks

The biotite paragneisses are invariably migmatitic in texture. In more detail, they are phlebitic and contain numerous garnet and cordierite porphyroblasts (Figs. 3 and 16). According to Lehtinen et al. (2005), they have a clear turbiditic origin. The outcrops of biotite paragneisses are also characterised by cross-cutting granite pegmatite dykes and very irregularly shaped anatectic veins. Psammitic schists occur in many places, but usually only as intercalations less than 50 m wide (Fig. 4). Graphite-sulphide paraschists outcrop on Haapasaari Island (Fig. 5), while elsewhere they are rarely exposed. However, an electromagnetic map indicates that sulphide-graphite paraschists should be common, particularly in the SW part of the map sheet area (Fig. 2).

The Tiirismaa Suite is composed of various mafic to intermediate metavolcanic rocks, quartzites and quartz-

feldspar schists (or gneisses). It forms an elongated E-W trending, irregular, locally up to 1.5 km wide sequence in the middle of the map sheet area. The mafic metavolcanic rocks are often banded and there are also agglomeratic tuff breccias and variants containing phenocrystic plagioclase (Figs. 6–9). The quartzites are up to 20 m wide and are often sillimanite and/or sericite bearing. Locally conglomeratic layers have also been reported (Salaterä 1976). The quartz-feldspar gneisses and schists are most common in the Otasalo area (Fig. 11) in the western part of the Tiirismaa Suite. Scarce diopside gneisses and related rocks and amphibolites occur in the southern part of the Puumala map sheet area, but these do not apparently belong to the Tiirismaa Suite.

Plutonic rocks

The Käkövesi Batholith forms the largest granitoid (110 km²) in the studied area. It is mainly composed of deformed granodiorite (Fig. 13) with subordinate tonalite and granite phases. The granodiorite is hornblende and biotite bearing (mode 10–15 vol% by total). The tonalitic phase also contains orthopyroxene. Texturally the granodiorite is mostly even-grained, but locally there are K-feldspar phenocrysts. The inner part of the batholith is less deformed than the margins.

Relative small tonalite, granodiorite and granite intrusions, 1–10 km² in size, are common in the Puumala map sheet area. These can be divided into synorogenic even-grained tonalite-granodiorite intrusions, late-orogenic coarser S-type granites and pegmatite dykes. A typical tonalite intrusion containing rare orthopyroxene occurs in the Suuriniemi area (Fig. 15). The Kyllölän-saari tonalite in the western part of the map sheet area is a rather homogeneous, weakly or non-foliated rock

(Fig. 14). It may represent plutonism slightly younger than that represented by the other tonalites, which contain more biotite than hornblende. There are also one hornblende gabbro and one diorite body (Fig. 12): the former appears to be associated with the nearby tonalite intrusion.

Metamorphism and stratigraphy

Garnet-cordierite pairs and anatectic veins in the biotite paragneisses (Fig. 21) and orthopyroxene in some metavolcanic rocks (Fig. 19A) indicate that the bedrock of the Puumala map sheet area has undergone upper amphibolite to granulite-facies metamorphism. Many biotite paragneisses in the Puumala area are petrographically similar to the granulite grade mica gneisses described by Korsman (1977) from the Sulkava area immediately to the north of the present map sheet area. According to Korsman et al. (1984), the peak metamorphic conditions at Sulkava were ~ 750 °C and 4 kbar and were associated with the formation of voluminous anatectic magmas ~ 1.83 Ga ago. In the Puumala area, the anatectic melts generated have clearly been concentrated locally (Fig. 21) to form parautochthonous granitic bodies, which were mapped as S-type granites (Fig. 17). Some textures in the biotite paragneisses indicate a clockwise metamorphic P-T path (Fig. 19B). Most of the deformed tonalite and granodiorite intrusions have

The S-type granites usually contain garnet as an accessory mineral (Fig. 17). The granite pegmatite dykes are very irregular in appearance and may grade into inhomogeneous pegmatite granite bodies that are tens of metres wide.

undergone high-grade regional metamorphism, which is indicated by metamorphic orthopyroxene and granitic patches in places.

The stratigraphic position of the quartzitic rocks of the Tiirismaa Suite at Luukkolansaari (3143 08) is problematic. According to Bergman et al. (2008), the detrital zircons in these quartzites indicate depositional ages of 1842 ± 10 Ma, which is younger than the presumed age (~ 1.88 Ga) for the synorogenic Käkövesi Batholith. Some deformed quartzitic rocks at Luukkolansaari also contain late-orogenic, 1.84–1.81 Ga pegmatitic material; this has resulted in “quartz-feldspar schists” that are difficult to distinguish from the quartzites. Moreover, a lateritic paleosol overlain by the quartzite is reported (Lahtinen & Nironen 2010). The youngest rock observed is the postorogenic ~ 1.80 Ga Luonteri granodiorite (Korsman et al. 1984), which extends into the Puumala map sheet area in the NW.

Chemical composition

In total 38 chemical analyses were performed on the rocks (Appendices 2 and 3). The biotite paragneisses are relatively Al-rich (17–21 wt% Al_2O_3). However, chemical compositions vary between samples due to their migmatitic textures. The psammitic schists have SiO_2 contents of about 75–80 wt%, and are relatively poor in potassium (1.5–2.0 wt% K_2O). One of the graphite-sulphide paraschist analyses yielded C and S concentrations of 40100 ppm and 55550 ppm respectively.

The metavolcanic rocks studied in the Tiirismaa Suite range in classification from trachybasalts to basaltic andesites to dacites (Fig. 25). Chemically they are

tholeiitic and calc-alkalic. Some of the metavolcanic rocks almost grade into felsic types with a SiO_2 content of ~ 68 wt%. Locally, the mafic metavolcanic rocks are slightly enriched in potassium (2.4 wt%) and sodium (3.8 wt%; Appendix 2, column 2).

The granitoids are mostly peraluminous in composition (Fig. 29A; Appendix 3). The granitic pegmatites (with associated pegmatitic granites) and the S-type granites appear to represent more evolved magma relative to the other intrusive rocks (Fig. 29B). They also have more pronounced Eu minima than the synorogenic intrusive rocks.

Economic geology

The two most interesting metallic mineral deposits in the Puumala map sheet area are a Ni-Cu occurrence at Kitula and a Mo-Cu occurrence at Luukkolansaari. Both of the deposits are rather small but were studied earlier, for example by deep drilling. At Kitula, 8 km SE of the Puumala municipal centre, there is a small noritic rock body containing disseminated pentlandite, chalcopyrite and pyrrhotite (Marmo 1955). Moreover, the rock contains 2 % opaques, which are mostly ilmenite. The gently dipping ore cluster is 80 m long. The deposit was quickly mined in 1970, yielding some 0.02 Mt ore at 0.67 % Ni and 0.24 % Cu (Saltikoff et al. 2006). Today, it is a water-filled test quarry (Fig. 32).

The Mo-Cu occurrence of Luukkolansaari is located about 13 km south of the Puumala municipal centre, at the western tip of the large granodioritic Käkövesi Batholith. In the area, outcrops containing visible molybdenite and chalcopyrite form a two square kilometre wide section (Nurmi et al. 1984). Two types of mineralizations are reported at Luukkolansaari: one is associated with shear zones, the other with granitic veins (Nurmi et al. 1984). The Outokumpu Company studied the deposit during 1977–1980.

The garnet- and cordierite-bearing biotite paragneisses in the Puumala map sheet area have natural stone potentials (Fig. 33), although no quarries have been opened so far.

KIRJALLISUUSVIITTEET – REFERENCES

- Aapola, R. 1984.** En koncentrisk zonerad granodioritintrusion in Ruokolahti kommun, SE Finland. Pro gradu avhandling, Åbo Akademi, Geologiska-mineralogiska institutionen. 56 s.
- Bergman, S., Högdahl, K., Nironen, M., Ogenhall, E., Sjöström, H., Lundqvist, L. & Lahtinen, R. 2008.** Timing of Palaeoproterozoic intra-orogenic sedimentation in the central Fennoscandian Shield : evidence from detrital zircon in metasandstone. *Precambrian Research* 161, 231–249.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R. 1974.** Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8, 173–174.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979.** The Interpretation of Igneous Rocks. Allen and Unwin, London. 450 s.
- Elo, S. 1997.** Interpretations of the gravity map of Finland. In Pesonen, L. (ed.): *The Lithosphere in Finland – a geophysical perspective*. *Geophysica* 33, 51–80.
- Haapala, I., Ervamaa, P., Löfgren, A. & Ojanperä, P. 1969.** An occurrence of monazite in Puumala, eastern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 41, 117–124.
- Hackman, V. 1933.** Savonlinna. Suomen Geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartan selitys, lehti D2. Suomen geologinen toimikunta. 175 s.
- Hackman, V. & Berghell, H. 1931.** Savonlinna. Suomen geologinen yleiskartta 1:400 000, kivilajikartta, lehti D2. Suomen geologinen toimikunta.
- Halonen, O. 1958.** Vollaioniittitutkimus Puumalan kunnan Lintusalon kylän Heinäsensalossa. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M17/Puu-58/1/89. 4 s.
- Heinonen, R. 1987.** Ruokolahden Käköveden batoliitin petrologia ja geokemia. Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto, geologian ja mineralogian laitos. 51 s.
- Husa, J. & Teeriaho, J. 2007.** Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kalliialueet Etelä-Savossa ja Päijät-Hämeen itäosassa. Suomen ympäristökeskus, Luonto-yksikkö. 257 s.
- Hyvärinen, L. 1958.** Selostus aeromagneettisten häiriöiden tutkimisesta Säamingin, Sulkavan, Puumalan ja Ruokolahden pitäjissä syksyllä 1958. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M17/Sää-Su-Puu-Rkl-59/1. 2s.
- Hyvärinen, L. 1967.** Puumalan Kitulannikkeli-kupari-esiintymän geologiasta ja mineralogiasta. Filosofian lisensiaattitutkielma, Helsingin yliopisto, Geologian ja mineralogian laitos. 76 s.
- Inkinen, E. 1984.** Malmimineraalit ja sivukivien muuttuminen Etelä- ja Länsi-Suomen svekorkarjalaisissa, porfyryrityyppisissä Mo- ja Cu-esiintymissä. Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto, Geologian ja mineralogian laitos. 97 s.
- Irvine, T. & Baragar, W. 1971.** A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–547.
- Jensen, L. S. 1976.** A new method of classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Division of Mines. Misc Paper 66, 1–21.
- Kajoniemi, M., Eskelinen, A., Keskitalo, K., Rajamäki, R., Rautanen, H., Sahala, L., Sääksniemi, E., Timperi, J., Tossavainen, J., Vallius, P. & Vuokko, J. 2008.** Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen – Etelä-Karjalan loppuraportti. Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 57 s.
- Kananoja, T. 2005.** Kallioperän suojelu- ja opetuskohteita Etelä-Savossa. Abstract: Sites subject to conservation and used for education in the bedrock of the province of South Savo. Suomen ympäristö 800. Helsinki: Ympäristöministeriö. 191 s.
- Kejonen, A. 2001.** Kiikkuvia lohkareita eri puolilta Suomea. *Geologi* 53, 138–142.
- Korja, A., Korja, T., Luosto, U. & Heikkinen, P. 1993.** Seismic and geoelectric evidence for collisional and extensional events in the Fennoscandian Shield - implications for Precambrian crustal evolution. *Tectonophysics* 219, 129–152.
- Korsman, K. 1977.** Progressive metamorphism of the metapelites in the Rantasalmi-Sulkava area, southeastern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 290. 82 s.
- Korsman, K. & Lehijärvi, M. 1973.** Sulkavan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Sulkava map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartan selitykset, lehti 3144. Geologinen tutkimuslaitos. 24 s.
- Korsman, K., Hölttä, P., Hautala, T. & Wasenius, P. 1984.** Metamorphism as an indicator of evolution and structure of the crust in Eastern Finland. Geological Survey of Finland. Bulletin 328. 40 s.
- Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. & Pekkala, Y. (eds.) 1997.** Suomen kallioperäkartta 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus.
- Lahtinen, R., Huhma, H. & Kousa, J. 2002.** Contrasting source components of the Paleoproterozoic Svecofennian metasediments: detrital zircon U-Pb, Sm-Nd and geochemical data. *Precambrian Research* 116, 81–109.
- Lahtinen, R., Korja, A. & Nironen, M., 2005.** Paleoproterozoic tectonic evolution. In: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (eds.), *Precambrian geology of Finland. Key to the evolution of the Fennoscandian Shield. Developments in Precambrian geology* 14. Amsterdam: Elsevier, pp. 481–531.
- Lahtinen, R. & Nironen, M. 2010.** Paleoproterozoic lateritic paleosol-ultra-mature/mature quartzite-meta-arkose successions in southern Fennoscandia-intra-orogenic stage during the Svecofennian orogeny. *Precambrian Research* 183, 770–790.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. 1986.** A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lehijärvi, M. 1966.** Sulkava. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 3144. Geologinen tutkimuslaitos.
- Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (eds.) 1997.** Suomen Kallioperä – 3 000 vuosimiljoonaa. Gummerus Oy. 375 s.
- Lehtinen, M., Nurmi, P. A. & Rämö, O. T. (eds.) 2005.** Precambrian geology of Finland : key to the evolution of the Fennoscandian Shield. *Developments in Precambrian Geology* 14. Amsterdam: Elsevier. 736 s.
- Maniar, P. D. & Picoli, P. M. 1989.** Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America. Bulletin 101, 635–643.
- Marmo, V. 1955.** A small nickeliferous subsilicic cluster at Puumala in Southeast Finland. Bulletin de la Commission géologique de Finlande 168, 1–12.
- Marmo, V. & Hyvärinen, L. 1951.** Selostus tutkimuksista Puumalan Kitulassa kesällä 1951. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M17/Puu-51/1. 3 s.
- Mehnert, K. R. 1971.** Migmatites and the origin of granitic rocks. *Developments in Petrology* 1. Amsterdam, London, New York: Elsevier. 405 s.

- Mullen, E. D. 1983.** MnO/TiO₂/P₂O₅; a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53–62.
- Nakamura, N. 1974.** Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38, 757–775.
- Neuvonen, K. J., Korsman, K., Kouvo, O. & Paavola, J. 1981.** Paleomagnetism and age relations of rocks in the Main Sulphide Ore Belt in central Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 53, 109–133.
- Nironen, M. 1985.** Eräiden svekokarjalaisten granitoidien intruusiomekanismit ja tektoninen asema sekä niihin liittyvien porfyrytyyppisten Mo- ja Cu-esiintymien rakenne. Filosofian lisensiaatti -tutkielma, Helsingin yliopisto, Geologian ja mineralogian laitos. 97 s.
- Nurmi, P. A. 1985.** Litho-geochemistry in exploration for Proterozoic porphyry-type molybdenum and copper deposits, southern Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 23, 163–191.
- Nurmi, P. A., Front, K., Lampio, E. & Nironen, M. 1984.** Etelä-Suomen svekokarjalaiset porfyrytyyppiset molybdeeni- ja kupariesiintymät, niiden granitoidi-isäntäkivet ja litogeokemiallinen etsintä. Summary: Svecofennian porphyry-type molybdenum and copper occurrences in southern Finland: their granitoid host rocks and litho-geochemical exploration. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 67. 88 s.
- Nykänen, O. 1987.** Virtutjoki. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 4121. Geologian tutkimuskeskus.
- Nykänen, O. 1988.** Virtutjoen kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Virtutjoki map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset, lehti 4121. Geologian tutkimuskeskus. 64 s.
- Pajunen, M., Airo, M., Elminen, T., Mänttari, I., Niemelä, R., Vaarma, M., Wasenius, P. & Wennerström, M. 2008.** Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland. In: Pajunen, M. (ed.): Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland – a basis for characterizing bedrock technical properties. Geological Survey of Finland, Special Paper 47, 15–160.
- Pearce, J. H. 1996.** Sources and settings of granitic rocks. *Episodes* 19, 120–125.
- Pearce, J. H. & Cann, J. R. 1973.** Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290–300.
- Pearce, J. H., Gorman, B. E. & Birkett, T. C. 1975.** The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: A method of discriminating between oceanic and non-volcanic basalts. *Earth and Planetary Science Letters* 24, 419–426.
- Pearce, J. H. & Norry, M. J. 1979.** Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 69, 33–47.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R. 1973.** Sand and Sandstone. New York: Springer Verlag. 618 s.
- Pitkänen, P. 1985.** Anttolan Luoterin postorogeenisen intruusion petrologia ja geokemia. Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto. Geologian ja mineralogian laitos. 81 s.
- Puustinen, K. 2003.** Suomen kaivosteollisuus ja mineraalisten raaka-aineiden tuotanto vuosina 1530–2001, historiallinen katsaus erityisesti tuotantolukujen valossa. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, M10.1/2003/3. 578 s.
- Rasilainen, K., Lahtinen, R. & Bornhorst, Th. J. 2007.** The Rock Geochemical Database of Finland Manual. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 164. 38 s. Saatavissa: <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr164/tr164.pdf>.
- Rutanen, H., Andersson, U. B., Väisänen, M., Johansson, Å. & Eklund, O. 2008.** Sources and setting of c. 1.8 Ga magmatism in the Fennoscandian Shield : examples from post-tectonic intrusions in southern Finland. In: 33rd International Geological Congress, 6–14 August 2008, Oslo, Norway : abstract CD-ROM. 1 s.
- Salaterä, T. 1976.** Otasalo-områdets berggrund och stratigrafi i Puumala, SE Finland. Pro gradu avhandling. Åbo Akademi. 79 s.
- Saltikoff, B., Tontti, M. & Puustinen, K. 2002.** Metallogenic map of Finland 1:1 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland.
- Saltikoff, B., Puustinen, K. & Tontti, M. 2006.** Metallogenic zones and metallic mineral deposits in Finland : explanation to the Metallogenic map of Finland. Geological Survey of Finland. Special Paper 35. 66 s.
- Simonen, A. & Tyrväinen, A. 1965.** Savitaipale. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 3132. Geologinen tutkimuslaitos.
- Sipilä, P., Kujala, H. & Torssonen, M. 2008.** Oravaisten-Lapuan-Alahärmän kallioperä. Abstract: Pre-Quaternary rocks of the Oravainen-Lapua-Alahärmä area. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 170. 40 s. Saatavissa: <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr170.pdf>.
- Spear, F. 1993.** Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America. BookGrafters. Monograph. 799 s.
- Streckeisen, A. 1976.** To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews* 12, 1–33.
- Säävuori, H. & Hänninen, R. 1997.** Finnish petrophysical database. In: Petrophysics in potential field interpretation : First Workshop for the Finnish Geophysical Crustal Model Program, 15–16 August 1997, Espoo, Finland : abstracts. Espoo: Geological Survey of Finland, 53.
- Thieblemont, D. & Tegyey, M. 1994.** Une Discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alkalins. [Geochemical discrimination of differentiated magmatic rocks attesting for the variable origin and tectonic setting of calc-alkaline magmas]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planètes* 319, 87–94.
- Tyrväinen, A. 1990.** Ristiina. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 3141. Geologian tutkimuskeskus.
- Tyrväinen, A. 1991.** Ristiinan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Ristiina map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset, lehti 3141. Geologian tutkimuskeskus. 36 s.
- Viluksela, E. 1969.** Selostus Puumalan Kitulan nikkelimalmiesiintymän tutkimuksista ja niiden tuloksista. Outo-kumpu Oy, Malminetsintä. 4 s. (julkistamaton raportti)
- Vorma, A. 1964.** Lappeenranta. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta, lehti 3134. Geologinen tutkimuslaitos.
- Vorma, A. 1965.** Lappeenrannan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Lappeenranta map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset, lehti 3134. Geologinen tutkimuslaitos. 72 p.
- Västi, K. 2008.** Chemical composition of metamorphosed black shale and carbonaceous metasedimentary rocks at selected targets in the Vihanti area, western Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 173. 22 s.

Saatavissa: <http://arkisto.gtk.fi/tr/tr173.pdf>

Winchester, J. A., Park, R. G. & Holland, J. G. 1980. The geochemistry of Lewisian semipelitic schists from the Gairloch District, Wester Ross. *Scottish Journal of Geology* 16, 165–179.

Wood, D. A. 1980. The application of a Th–Hf–Ta diagram

to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters* 50, 11–30.

Zanettin, B. 1984. Proposed new chemical classification of volcanic rocks. *Episodes* 7, 19–20.

Liite 1. Kallioperäkartta 1:100 000
Appendix 1. Pre-Quaternary rocks 1:100 000

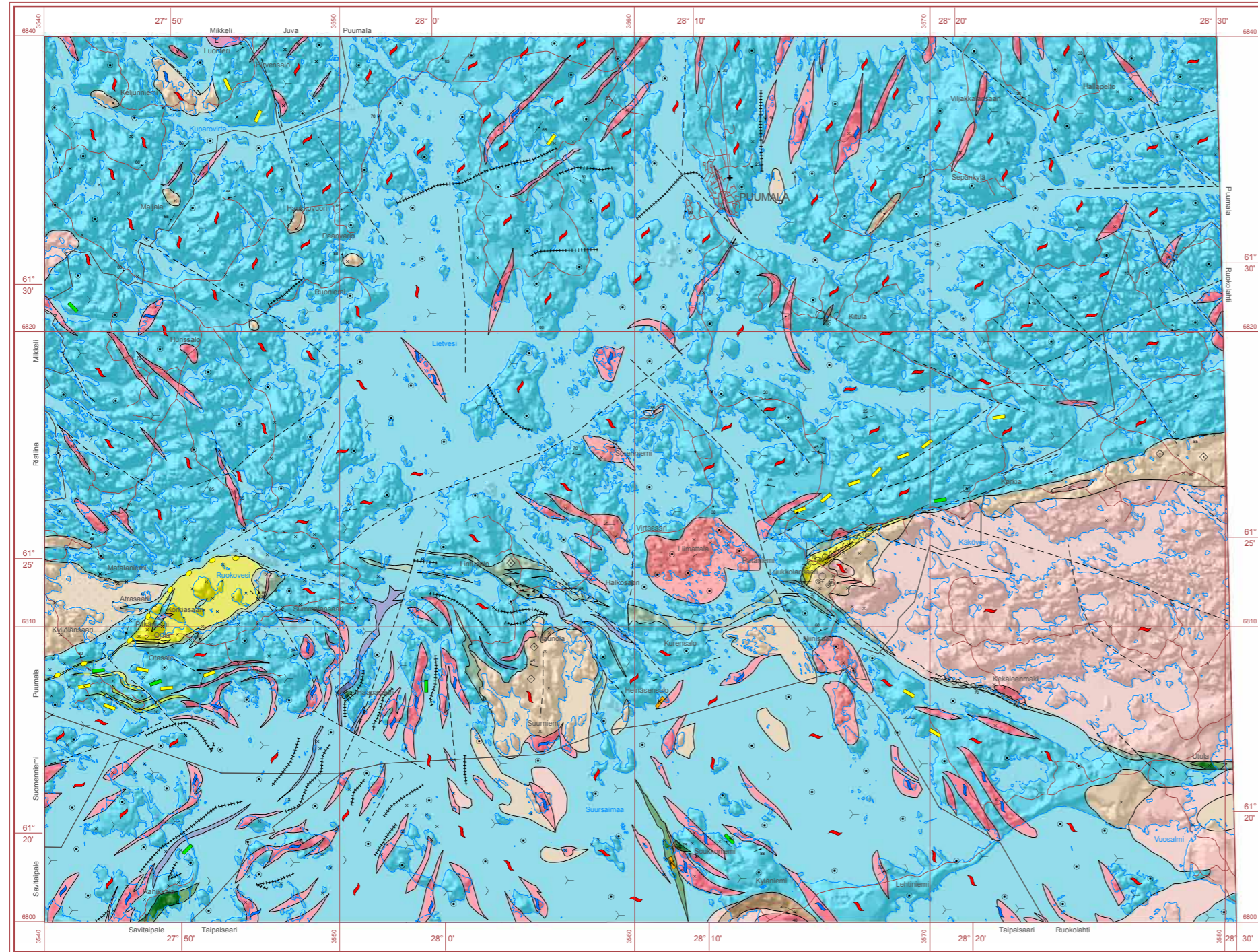
SUOMEN GEOLOGINEN KARTTA
KALLIOPERÄKARTTA
 GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

GEOLOGICAL MAP OF FINLAND
PRE-QUATERNARY ROCKS
 GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

Lehti — 3143 — Puumala

Sheet — 3143 — Puumala

MERKKIEN SELITYS - LEGEND



SYVÄKIVÄÄ – INFRACRUSTAL ROCKS

- POSTOROGEENISIA – 1.80 Ga INTRUSIOITA**
POSTOROGENIC – 1.80 Ga INTRUSIONS
- Luonterin granodioritti
Luonteri granodiorite
- MYÖHÄISOROGEENISIA 1.84 – 1.81 Ga INTRUSIOITA**
LATE-OROGENIC 1.84 – 1.81 Ga INTRUSIONS
- S-tyyppin graniittia
S-type granite
 - Pegmatittista graniittia, osaksi apliittia
Pegmatitic granite, partly apfite
- SYNOROGEENISIA – 1.88 Ga INTRUSIOITA**
SYNOGENIC – 1.88 Ga INTRUSIONS
- Kyllölänsaaren tonaliitti
Kyllölänsaari tonalite
 - Käköveden granodioritti
Käkövesi granodiorite
 - Käköveden tonaliitti
Käkövesi tonalite
 - Granodiorittia
Granodiorite
 - Tonaliittia
Tonalite
 - Gabroa ja diorittia
Gabbro and diorite

PINTASYNTYISIÄ KIVIÄ – SUPRACRUSTAL ROCKS

- TIIRISMAA-SEURUEEN KIVIÄ**
ROCKS OF THE TIIRISMAA SUITE
- Kvartsiittia
Quartzite
 - Kvartsi-maasälpällusketta
Quartz-feldspar schist
 - Intermediääristä metavulkanittia
Intermediate metavolcanic rock
 - Mafista metavulkanittia
Mafic metavolcanic rock
- MUITA PINTAKIVILAJEJA**
OTHER SUPRACRUSTAL ROCKS
- Ambioliittia ja sarviväkegneisiä
Amphibolite and hornblende gneiss
 - Grafiitti-sulfiidi-paraliusketta
Graphite-sulphide parashist
 - Seoksista biotiitti-paragneisia
Migmatitic biotite paragneiss

MUITA KARTTAMERKKEJÄ – OTHER MAP SYMBOLS

- Mafista ja intermediääristä metavulkanittia välikerroksina
Mafic and intermediate metavolcanic rock intercalations
- Psammiittista lusketta välikerroksina
Psammitic schist intercalations
- Kalkkikiveä ja diopsidigneisiä välikerroksina
Carbonate rock and diopside gneiss intercalations
- Grafiitti-sulfiidi-paraliusketta välikerroksina
Graphite-sulphide parashist intercalations
- Biotiitti-paragneisistä relikteinä ja sulkeumina
Biotite paragneiss relicts and inclusions
- Granittisia suonia ja juonia
Granitic veins and dykes
- Tuffibreksiaa
Tuff breccia
- Plagioklaasihajaraketta
Plagioclase phenocrysts
- Konglomeraattia
Conglomerate
- Myloniittia
Mylonite
- Granaattia
Garnet
- Kordieriittia
Cordierite
- Sillimaaniittia
Sillimanite
- Ortopyrokseenia
Orthopyroxene
- Molybdeenihohdetta
Molybdenite
- Kuparikisua
Chalcopyrite
- Magneettikisua
Pyrrhotite
- Pentlandiittia
Pentlandite
- Pysty liuskeisuus
Vertical foliation
- Liuskeisuus
Foliation
- Poimukseli
Fold axis
- Vivaus
Lineation
- Ruhje tai siirros
Fracture or fault
- Louhos
Quarry
- Hylätty louhos
Abandoned quarry
- Kairauskohde
Diamond drill hole
- Havaintopaikka
Observation point

Liite 2

Puumalan kartta-alueen pintakivilajien kemiallisia koostumuksia. n.d. = alle määrittäysrajan; – = ei määritetty.

Appendix 2

Chemical compositions of supracrustal rocks from the Puumala map sheet area. n.d. = not detected, nd; – = not determined.

Tiirismaa seurue - <i>Tiirismaa Suite</i>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂ wt%	54.2	50.9	55.9	50.4	51.0	60.9	48.2	52.5	68.2	74.6
TiO ₂	1.23	1.29	0.96	1.07	1.57	0.63	1.39	1.17	0.56	0.50
Al ₂ O ₃	15.4	21.5	15.5	17.7	17.1	15.4	18.2	15.9	15.7	12.7
FeOt	11.05	8.14	8.94	8.49	10.57	7.00	8.61	6.75	3.96	3.35
MnO	0.18	0.08	0.17	0.15	0.15	0.16	0.18	0.15	0.05	0.04
MgO	3.61	2.26	3.64	5.47	3.14	4.64	3.54	4.03	2.21	0.89
CaO	7.73	8.08	10.50	9.29	8.94	4.76	10.46	14.73	1.53	3.15
Na ₂ O	2.93	3.77	1.86	3.43	4.35	3.03	3.56	2.69	4.91	3.43
K ₂ O	1.52	2.42	1.59	1.10	0.92	1.99	1.75	0.38	2.37	0.81
P ₂ O ₅	0.42	0.67	0.37	0.40	0.64	0.25	0.47	0.52	0.19	0.17
Total	98.26	99.09	99.43	97.49	98.38	98.76	96.36	98.81	99.67	99.64
Ba ppm	258	1140	500	232	200	1210	547	190	620	60
Sr	343	560	600	584	470	440	447	611	510	370
Rb	99	131	80	45	30	–	116	13	158	50
Zr	130	170	144	107	187	240	152	112	180	262
S	2457	n.d.	173	–	n.d.	–	–	–	n.d.	n.d.
Cr	31	40	180	152	60	–	110	385	60	90
Ni	20	50	90	80	30	–	47	98	30	20
Zn	136	100	120	92	130	–	134	128	70	60
Co	–	23	–	–	33	–	n.d.	n.d.	12	7
C	198	n.d.	1160	242	n.d.	–	2180	791	n.d.	n.d.
Ce	71.0	97.9	58.3	68.0	95.3	–	70.0	66.0	53.5	65.2
Dy	5.0	4.7	3.4	4.3	5.8	–	4.3	3.8	1.9	4.4
Er	2.8	2.4	1.6	2.6	3.4	–	2.5	2.0	0.9	2.4
Eu	1.9	2.4	1.5	1.8	2.5	–	1.9	1.9	1.1	1.1
Gd	6.9	8.1	5.6	6.8	8.9	–	6.8	5.9	3.5	5.6
Hf	3.1	4.2	3.6	3.4	4.7	–	4.3	3.5	4.6	6.8
Ho	1.1	0.9	0.6	0.9	1.2	–	0.9	0.7	0.3	0.8
La	29.2	46.9	24.8	30.0	42.0	–	31.0	27.0	23.2	33.0
Lu	0.5	0.3	0.2	0.3	0.5	–	0.4	0.3	0.1	0.4
Nb	11.0	12.1	9.3	9.0	11.6	–	14.0	18.0	9.0	8.3
Nd	38.0	51.3	31.7	36.0	48.3	–	38.0	35.0	21.3	30.7
Pr	8.6	12.6	7.6	8.3	12.1	–	8.8	8.1	5.5	7.8
Sm	7.2	9.4	5.9	6.6	9.3	–	7.1	7.0	3.6	5.3
Ta	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	–	0.9	2.3	0.6	0.6
Tb	1.0	1.0	0.7	0.9	1.2	–	0.9	0.8	0.4	0.8
Th	7.0	15.8	4.4	5.7	7.8	–	10.0	10.0	9.8	9.0
Tm	0.5	0.3	0.2	0.4	0.4	–	0.4	0.3	0.1	0.4
U	4.4	3.2	3.0	2.6	3.7	–	4.7	7.0	3.5	2.4
V	n.d.	193	2 400	n.d.	322	–	n.d.	n.d.	67	49
Y	26.0	23.7	16.0	25.0	30.4	–	27.0	22.0	9.3	22.8
Yb	2.7	2.1	1.4	2.2	3.0	–	2.4	1.9	0.8	2.4
LaN/SmN	2.5	3.1	2.6	2.8	2.8	–	2.7	2.4	4.0	3.8
LaN/YbN	7.2	15.2	11.9	9.1	9.3	–	8.6	9.5	19.1	9.3

	x	y
1. Mafinen metavulkaniitti - <i>Mafic metavolcanic rock</i>	Luukkola	6813347 3567998 GTK: MAN-2004-35
2. Mafinen metavulkaniitti - <i>Mafic metavolcanic rock</i>	Lintusalo	6812204 3556067 GTK: HMM\$-2007-89
3. Mafinen metavulkaniitti - <i>Mafic metavolcanic rock</i>	Otasalo	6809399 3543845 GTK: MAN-2004-130
4. Plagioklaasiporfyriitti - <i>Plagioclase porphyrite</i>	Luukkola	6813033 3567193 GTK: MAN-2004-39
5. Plagioklaasiporfyriitti - <i>Plagioclase porphyrite</i>	Lintusalo	6811285 3557623 GTK: HMM\$-2007-94
6. Plagioklaasiporfyriitti - <i>Plagioclase porphyrite</i>	Luukkola	6866590 3510570 Heinonen (1987)
7. Agglomeraattinen tuffibreksia - <i>Agglomeratic tuff breccia</i>	Luukkola	6812460 3565920 GTK: MAN-2004-R43
8. Agglomeraattinen tuffibreksia - <i>Agglomeratic tuff breccia</i>	Luukkola	6813470 3568365 GTK: MAN-2004-32
9. Interm.(-felsinen) metavulkaniitti - <i>Interm.(-felsic) metavolcanic rock</i>	Luukkola	6810821 3566718 GTK: HMM\$-2007-163
10. K vartsi-maasälpäliuske - <i>Quartz-feldspar schist</i>	Otasalo	6810007 3543984 GTK: HMM\$-2007-220

Liite 2 Jatkuu *Appendix 2* Continues

<i>Muita pintakivilajeja - Other supracrustal rocks</i>									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂ wt%	65.8	64.4	60.5	57.0	63.4	70.9	78.2	77.1	64.4
TiO ₂	0.61	0.68	0.79	1.03	0.70	0.53	0.55	0.56	0.52
Al ₂ O ₃	16.8	15.2	20.4	21.0	19.5	13.2	10.6	10.9	5.3
FeOt	4.54	6.34	6.70	8.61	6.08	3.91	3.62	3.17	12.20
MnO	0.05	0.10	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03
MgO	1.93	2.34	2.44	3.50	2.19	1.44	1.33	0.99	0.67
CaO	3.65	2.48	0.33	0.19	0.31	1.36	0.81	1.80	2.75
Na ₂ O	3.51	3.73	1.41	0.99	1.50	3.02	1.51	2.38	0.85
K ₂ O	1.52	1.87	4.64	4.23	4.05	3.42	1.88	1.70	0.55
P ₂ O ₅	0.11	0.73	0.06	0.05	0.08	0.12	0.06	0.10	1.18
Total	98.52	97.86	97.33	96.64	97.85	97.93	98.59	98.72	88.42
Ba ppm	203	310	818	776	690	616	268	244	40
Sr	163	186	95	92	104	186	106	206	60
Rb	92	211	230	268	208	160	120	94	50
Zr	155	153	168	204	151	244	205	184	70
S	905	1980	899	918	140	2430	196	136	55500
Cr	110	105	150	199	131	120	157	108	90
Ni	36	38	71	90	58	35	43	24	160
Zn	122	115	160	213	157	91	89	70	370
Co	8	15	17	18	12	11	9	7	n.d.
C	n.d.	n.d.	n.d.	2800	1000	n.d.	n.d.	n.d.	40100
Ce	83.1	74.8	107.0	114.0	89.5	79.2	61.8	58.2	n.d.
Dy	5.2	4.8	6.5	6.3	5.2	3.6	3.7	2.9	–
Er	3.2	2.8	3.9	3.9	2.8	1.9	2.0	1.7	–
Eu	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0	1.0	–
Gd	6.1	5.8	8.1	8.0	6.3	4.8	4.4	4.2	–
Hf	4.2	4.4	5.1	5.4	4.3	5.9	5.3	4.4	–
Ho	1.0	1.0	1.4	1.3	1.0	0.6	0.6	0.6	–
La	41.6	36.2	54.9	60.5	46.0	40.5	30.9	29.7	–
Lu	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.2	–
Nb	11.6	12.8	13.3	16.8	12.5	10.2	8.2	9.1	20
Nd	38.7	34.2	48.3	50.8	39.0	34.2	27.4	25.1	–
Pr	10.2	8.9	12.7	13.8	10.8	9.2	7.1	6.9	–
Sm	7.2	6.4	8.4	9.0	6.8	5.8	4.9	4.6	–
Ta	1.0	1.0	0.9	1.2	1.0	0.7	0.5	0.7	–
Tb	0.9	0.9	1.1	1.2	0.9	0.7	0.6	0.6	–
Th	13.2	10.2	16.0	16.7	13.2	12.5	9.6	8.9	–
Tm	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	–
U	3.1	3.1	2.3	1.9	2.8	2.8	2.4	2.6	–
V	79	82	139	187	117	60	70	60	280
Y	32.5	30.0	38.2	37.0	28.7	19.9	19.8	17.7	50
Yb	3.1	2.3	3.8	3.8	2.8	1.7	1.9	1.5	–
LaN/SmN	3.6	3.5	4.0	4.2	4.2	4.3	3.9	3.9	–
LaN/YbN	9.0	10.4	9.5	10.6	11.1	15.9	11.0	13.2	–

	x	y	
11. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Sopata	6828120	3576350 Rasilainen ym. (2007)
12. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Hurissalo	6823080	3547280 Rasilainen ym. (2007)
13. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Suusalmi	6818390	3570690 Rasilainen ym. (2006)
14. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Puumala	6826580	3563020 Rasilainen ym. (2007)
15. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Luukkola	6815560	3566350 Rasilainen ym. (2007)
16. Biotiitti-paragneissi - <i>Biotite paragneiss</i>	Maunola	6808460	3554260 Rasilainen ym. (2007)
17. Psammiittinen liuske - <i>Psammitic schist</i>	Liimattala	6814290	3557160 Rasilainen ym. (2007)
18. Psammiittinen liuske - <i>Psammitic schist</i>	Otasalo	6809420	3545930 Rasilainen ym. (2007)
19. Grafiitti-sulfidi-paraliuske - <i>Graphite-sulphide parashist</i>	Haapasaari	6807702	3549994 GTK: HMM\$-2008-258

Liite 3

Puumalan kartta-alueen syväkivien kemiallisia koostumuksia. n.d. = alle määrittämissrajat; – = ei määritetty.

Appendix 3

Chemical compositions of intrusive rocks from the Puumala map sheet area. n.d. = not detected; – = not determined.

Synorogeenisia intrusiivikiviä - <i>Synorogenic intrusive rocks</i>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂ wt%	55.6	50.7	61.0	66.7	66.2	67.1	68.2	69.9	68.8	71.2
TiO ₂	1.01	2.13	0.96	0.24	0.29	0.31	0.38	0.40	0.49	0.28
Al ₂ O ₃	13.6	15.6	14.8	17.4	16.8	17.1	15.4	16.0	15.5	15.4
FeOt	5.56	11.16	5.30	1.82	2.21	2.39	2.58	2.08	2.95	2.40
MnO	0.10	0.18	0.09	0.05	0.05	0.06	0.05	0.03	0.06	0.03
MgO	6.86	3.38	3.70	1.79	2.98	2.36	1.89	0.96	1.65	0.77
CaO	7.33	6.03	4.96	2.59	2.63	2.70	1.60	2.64	3.09	2.02
Na ₂ O	3.82	4.62	4.06	4.51	4.18	4.26	2.88	5.04	3.94	5.08
K ₂ O	1.87	1.78	2.36	2.33	2.67	2.73	5.98	1.99	1.78	2.28
P ₂ O ₅	0.93	1.07	0.32	0.11	0.12	0.13	0.11	0.12	0.13	0.07
Total	96.68	96.64	97.54	97.54	98.13	99.14	99.07	99.15	98.39	99.53
Ba ppm	735	356	556	990	970	1 060	1 010	740	612	650
Rb	47	132	90	–	–	–	–	49	140	60
Sr	1 210	373	639	1 390	1 090	1 150	560	649	520	500
Zr	248	171	249	350	330	330	510	172	183	120
Cr	380	n.d.	161	–	–	–	–	26	60	30
Ga	22	34	26	–	–	–	–	24	27	20
Nb	17	14	17	–	–	–	–	10	12	10
S	148	153	n.d.	–	–	–	–	96	n.d.	3 170
V	147	127	134	–	–	–	–	39	61	30
Zn	98	84	77	–	–	–	–	70	65	70
Co	16	11	17	–	–	–	–	6	10	n.d.
Ni	102	n.d.	53	–	–	–	–	6	24	n.d.
Ce	156	90	81	–	–	–	–	58	50	–
Dy	4.8	9.4	3.4	–	–	–	–	1.1	2.3	–
Er	1.8	5.2	1.7	–	–	–	–	0.4	1.2	–
Eu	3.5	3.2	1.5	–	–	–	–	0.8	0.9	–
Gd	9.8	11.7	5.8	–	–	–	–	2.2	3.2	–
Hf	3.7	3.5	5.3	–	–	–	–	3.6	3.8	–
Ho	0.8	2.0	0.6	–	–	–	–	0.2	0.4	–
La	70	40	38	–	–	–	–	33	26	–
Lu	0.2	0.7	0.2	–	–	–	–	0.1	0.2	–
Nd	81	51	36	–	–	–	–	20	20	–
Pr	19.7	11.9	9.8	–	–	–	–	6.1	5.8	–
Sc	17.6	42.3	15.8	–	–	–	–	4.6	7.8	–
Sm	12.8	10.8	6.5	–	–	–	–	3.0	3.9	–
Tb	1.2	1.7	0.7	–	–	–	–	0.2	0.5	–
Th	8.6	1.7	8.3	–	–	–	–	6.0	9.0	–
Tm	0.2	0.8	0.2	–	–	–	–	0.1	0.2	–
U	4.2	1.6	2.4	–	–	–	–	1.2	3.2	–
Y	23	55	19	–	–	–	–	5	13	–
Yb	1.6	4.8	1.5	–	–	–	–	0.3	1.0	–
LaN/SmN	3.4	2.4	3.6	–	–	–	–	6.7	4.2	–
LaN/YbN	28.8	5.5	16.4	–	–	–	–	75.1	17.9	–

	x	y	
1. Dioriitti - <i>Diorite</i>	Kyläniemi	6800520	3564960 Rasilainen ym. (2007)
2. Sarvivälkegneissi - <i>Hornblende gneiss</i>	Utula	6805310	3579460 Rasilainen ym. (2007)
3. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	Käkövesi	6815210	3578580 Rasilainen ym. (2007)
4. Granodioriitti - <i>Granodiorite</i>	Käkövesi	6810480	3570770 Heinonen (1987)
5. Granodioriitti - <i>Granodiorite</i>	Käkövesi	6878110	3578110 Heinonen (1987)
6. Granodioriitti - <i>Granodiorite</i>	Käkövesi	6875370	3510340 Heinonen (1987)
7. Graniitti - <i>Granite</i>	Käkövesi	6807600	3572650 Heinonen (1987)
8. Granodioriitti - <i>Granodiorite</i>	Niemelä	6822380	3550260 Rasilainen ym. (2007)
9. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	Suuriniemi	6806470	3556790 Rasilainen ym. (2007)
10. Tonaliiitti - <i>Tonalite</i>	Hurissalo	6823489	3548529 GTK: HMM5-2007-191

Liite 3 Jatkuu *Appendix 3* Continues

Myöhäisorogeenisia intrusiivikiviä - <i>Lateorogenic intrusive rocks</i>									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂ wt%	67.6	74.0	75.3	73.6	74.1	70.7	73.4	72.9	75.1
TiO ₂	0.54	0.07	0.24	0.05	0.13	0.31	0.21	0.25	0.06
Al ₂ O ₃	15.9	14.6	12.5	15.2	14.5	15.6	14.9	15.2	14.6
FeOt	4.22	1.36	2.50	0.69	1.12	2.14	1.87	2.03	0.81
MnO	0.05	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
MgO	1.39	0.22	0.26	0.15	0.27	0.66	0.44	0.52	0.14
CaO	3.03	0.63	0.85	0.91	0.58	0.80	0.67	0.71	0.55
Na ₂ O	4.48	3.48	4.64	2.66	2.96	2.85	3.01	2.99	3.65
K ₂ O	2.29	4.69	2.63	5.37	5.15	5.20	5.00	5.00	4.75
P ₂ O ₅	0.19	0.25	0.04	0.46	0.27	0.25	0.21	0.18	0.19
Total	99.69	99.33	98.99	99.12	99.08	98.54	99.72	99.79	99.86
Ba ppm	570	154	210	96	195	259	190	220	90
Rb	70	215	134	199	249	300	310	320	320
Sr	450	50	49	60	60	83	60	60	40
Zr	160	41	363	34	72	125	80	100	20
Cr	40	19	19	n.d.	19	46	30	30	n.d.
Ga	30	24	31	26	25	35	30	30	30
Nb	10	12	25	n.d.	14	18	10	10	10
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	–
V	60	9	12	9	n.d.	36	n.d.	–	–
Zn	n.d.	50	87	18	56	93	80	–	–
Co	n.d.	n.d.	2	n.d.	1	4	n.d.	–	–
Ni	n.d.	4	5	n.d.	n.d.	13	n.d.	–	–
Ce	–	17.0	119.0	8.7	24.4	67.0	–	–	–
Dy	–	2.2	6.7	3.7	2.6	2.2	–	–	–
Er	–	0.9	4.1	1.4	0.8	0.8	–	–	–
Eu	–	0.3	1.0	0.3	0.5	0.6	–	–	–
Gd	–	2.7	9.1	2.6	3.4	4.9	–	–	–
Hf	–	1.5	8.5	1.3	2.2	3.6	–	–	–
Ho	–	0.4	1.4	0.6	0.4	0.3	–	–	–
La	–	7.9	59.0	3.3	11.1	31.0	–	–	–
Lu	–	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	–	–	–
Nd	–	7.9	54.8	5.6	11.5	31.4	–	–	–
Pr	–	2.0	15.1	1.3	3.0	8.0	–	–	–
Sc	–	6.1	4.4	6.1	3.7	5.6	–	–	–
Sm	–	2.3	9.1	2.1	3.7	7.0	–	–	–
Tb	–	0.4	1.2	0.6	0.6	0.6	–	–	–
Th	–	3.6	11.5	0.5	5.1	15.8	–	–	–
Tm	–	0.1	0.6	0.2	0.1	0.1	–	–	–
U	–	10.6	5.5	18.9	7.0	16.0	–	–	–
Y	–	13.4	35.8	21.7	12.0	10.0	–	–	–
Yb	–	0.8	3.9	1.1	0.5	0.6	–	–	–
LaN/SmN	–	2.1	4.0	1.0	1.8	2.7	–	–	–
LaN/YbN	–	6.3	10.0	2.1	15.6	32.5	–	–	–

11. Granodioriitti - *Granodiorite*
 12. Pegmatiittinen graniitti - *Pegmatitic granite*
 13. Pegmatiittinen graniitti - *Pegmatitic granite*
 14. Pegmatiittinen graniitti - *Pegmatitic granite*
 15. Pegmatiittinen graniitti - *Pegmatitic granite*
 16. S-tyyppin graniitti - *S-type granite*
 17. S-tyyppin graniitti - *S-type granite*
 18. S-tyyppin graniitti - *S-type granite*
 19. S-tyyppin graniitti - *S-type granite*

	x	y
Kyllölänsaari	6809748	3540553
Hurissalo W	6820830	3543770
Kutveleen kanava N	6804150	3572240
Raatosaaari	6811610	3558490
Pitkämäki	6821660	3564720
Niinisaari	6812960	3562000
Liihattalansaari	6814027	3562401
Liihattalansaari SE	6812858	3562553
Pataniemi	6808785	3567064

GTK: HMM\$-2007-20
 Rasilainen ym. (2007)
 Rasilainen ym. (2007)
 Rasilainen ym. (2007)
 Rasilainen ym. (2007)
 Rasilainen ym. (2007)
 Rasilainen ym. (2007)
 GTK: HMM\$-2007-86
 GTK: HMM\$-2007-95
 HMM\$-2007-161

Raportissa on kuvattu Kaakkois-Suomessa sijaitsevan Puumalan kartta-alueen (3143) kivilajit. Liitteenä on 1:100 000 -mittakaavainen kallioperäkartta. Laatumisen yhteydessä on hyödynnetty sekä vanhaa tietoa että suoritettu uusia maastotutkimuksia. Kallioperäkarttoja ja niiden selityksiä käytetään mm. ohjaamaan malminetsintää, luonnonkivitutkimuksia ja rakentamista. Niitä tarvitaan myös tieteelliseen tutkimukseen.

This report describes the bedrock in the Puumala map sheet area, which is located in southeastern Finland. A bedrock map at the scale of 1:100,000 is presented as an appendix. The text and compilation of the map are based on old data and recent fieldwork. Bedrock maps and their explanations are useful in ore exploration, rock aggregate and natural stone studies, construction, and in scientific research.