

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

TUTKIMUSRAPORTTI N:o 22
REPORT OF INVESTIGATION No. 22

Tapio Lehto ja Veikko Niiniskorpi

Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumat

Summary: The iron-formations of
northern and eastern Finland



Espoo 1977

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
Tutkimusraportti n:o 22

Tapio Lehto ja Veikko Niiniskorpi

POHJOIS- JA ITÄ-SUOMEN RAUTAMUODOSTUMAT
Summary: The iron-formations of northern and eastern Finland

Espoo 1977

Kauppa- ja teollisuusministeriö
Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta
Projekti 10

Lehto, T. & Niiniskorpi, V. 1977. Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumat. Summary: The iron-formations of northern and eastern Finland. *Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti N:o 22*. 49 pages, 23 figures and 3 tables.

The mineralogical and chemical composition, mode of occurrence and host rocks of about 70 deposits of iron-formation in northern and eastern Finland have been investigated. The main purpose of the work is to classify the deposits and to group them according to lithological and stratigraphical features. The critical horizons for iron-formations have been investigated in detail.

The oldest iron-formations belonging to the Archean Prekarelian basement (older than 2500 Ma) are usually distinctly banded and occur in basic volcanics and meta sedimentary rocks. These deposits are situated in Ilomantsi, Kuhmo-Suomussalmi and Inari along the eastern border in Finland. The remainder of the iron-formations are younger (around 2000-2200 Ma) and belong to the Proterozoic Karelidic belt. The oldest of the Proterozoic Karelian iron-formations are clastogene and consist of mica schists with disseminated hematite and magnetite. Stratigraphically higher, in basic volcanics, there are banded iron-formations of different facies. These are chemically precipitated quartz-iron rocks. Quartz-magnetite-banded iron-formations, often with iron silicates, are found in marine Jatulian black schists and carbonate rocks. Some of the iron-formations in this stratigraphic position are magnetite ores rich in skarn and containing iron sulphides. Higher in the Karelian succession there are magnetite-hematite-bearing greywackes, conglomerates and quartzites.

ISBN 951-690-063-1

SISÄLLYS – CONTENTS

	sivu
Esipuhe	5
Johdanto	6
Rautamuodostuman määritelmä	6
Rautamuodostumatyytit	6
Rautamuodostumafasieokset	7
Rautamuodostumien synty	7
Prekarjalaiset (arkeiset) rautamuodostumat	8
Inari	16
Pohjois-Karjalan alue	18
Kuhmo-Suomussalmi-jakso	23
Karjalaiset (proterotsooiset) rautamuodostumat	23
Pohjois-Suomi	23
Kolari	24
Kittilä	28
Sodankylä	32
Pelkosenniemi-Salla	33
Kuusamo	36
Peräpohja	36
Yhteenveto	36
Itä-Suomi	37
Pohjois-Karjalan alue	38
Kainuun liuskealue	38
Yhteenveto	40
Rautamuodostumien taloudellinen ja yleisgeologinen merkitys	42
Summary: The iron-formations of northern and eastern Finland	45
The Prekarelian (Archean) iron-formations	45
The Karelian (Proterozoic) iron-formations	45
Kirjallisuutta – References	47

ESIPUHE

Lapin rautamalmien horisonttisisonnaisuusprojekti on osa Kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman Pohjois-Suomen malmigeologisen toimikunnan johtamaa perustutkimusta, jonka tarkoituksena on edistää kehitysalueiden malminetsintää. Alustavan ehdotuksen projektin toteuttamiseksi esitti toimikunnalle professori Heikki Paarma vuonna 1971. Tutkimustyö aloitettiin marraskuussa 1972 professori Rudyard Frietschin johdolla Åbo Akademin geologian ja mineralogian laitoksella. Tutkijoina ovat olleet 1.11.1972 lähtien FM Tapio Lehto ja 1.12.1972 lähtien FM Veikko Niiniskorpi. Professori Frietschin luovuttua tehtävästään oli projektin johtajana 1.10.74 – 31.12.75 T. Lehto.

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää Pohjois- ja Itä-Suomen horisonttisisonnaisten rautamineralisaatioiden mineralogiset ja kemialliset erikoispiirteet sekä stratigrafinen asema. Itä-Suomen alue valittiin vertailukohteeksi siellä jo ennestään tunnettujen prekarjalaisten esiintymien vuoksi (mm. Huhus ja Naarva). Pohjois-Suomen tutkimuksista on vastannut T. Lehto ja Itä-Suomen tutkimuksista V. Niiniskorpi. Kenttätöissä on ollut apuna geologian opiskelijoita Åbo Akademin geologian ja mineralogian laitokselta: vuonna 1973 Juhani Astala, Bo Lindberg, Carola Lindblad ja Tapani Tukiainen, vuonna 1974 B. Lindberg ja T. Tukiainen ja vuonna 1975 Heikki Markkula.

Varsinkin projektin alkuaikoina tutustuttiin eri yhtiöiltä saatuun aiheeseen liittyvään aineistoon (raportteihin, karttoihin, geofysikaalisiin mittauksiin, kairasydämiin, hieisiin jne.). Näin saatua kuvaa on täydennetty projektin suorittamalla kartoituksilla sekä otamalla näytteitä mikroskooppitutkimuksia ja kemiallisia analyyseja varten. Projektissa on tehty kartoituksia ainoastaan rautamuodostumien lähiympäristössä. Laajempia alueellisia kartoituksia on tehty tunnusteluluonteisesti.

Projektin aikana on Åbo Akademin geologian ja mineralogian laitoksella tehty n. 600 ohuthiettä, 70 pintahiettä ja 45 kiilloitettua ohuthiettä. Kemiallisia analyyseja on tehty kaikkiaan 79 rautamuodostumanäytteestä ja 10 sivukivinäytteestä. Näistä on 24 tehty Geologisen tutkimuslaitoksen kemian osastolla, 33 Rautaruukki Oy:n Raahan terästehtaan laboratoriossa ja 32 Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (näistä tietyt alkuaineet Rautaruukki Oy:n laboratoriossa). Mikroanalyysejä on tehty 71 mineraalista Oulun yliopiston elektronioptiikan laitoksella ja 17 mineraalista Geologisen tutkimuslaitoksen malmiosaston laboratoriossa. Röntgenmääräyksiä on tehty Åbo Akademin röntgenlaboratoriossa. Kartat ovat piirtäneet puhtaaksi piirtäjät Kaarina Virtanen ja Maj-Britt Mecklin. Näytteistä ja ohuthieistä ilman mikroskooppia otetut kuvat ovat preparaattori V. Grönroosin ottamia.

Projektin tutkimusaineisto, päiväkirjat, näytteet ja hieet on arkistoitu Åbo Akademin geologian ja mineralogian laitokselle. Tutkimusten perusteella on kirjoitettu erillinen raportti Pohjois-Suomen rautamuodostumista (Lehto, 1975) sekä Itä-Suomen rautamuodostumista (Niiniskorpi, 1975) ja luovutettu neljänä kappaleena Pohjois-Suomen malmigeologiselle toimikunnalle. Raporttien alkuperäiskappaleet on arkistoitu Geologisen tutkimuslaitoksen informaatiotoimistossa, josta ne on saatavissa kopioina tai mikrofilmeinä. Näissä raporteissa on lyhyt kuvaus kustakin rautamuodostumaesiintymästä. Tämä raportti on yhteenveto kahdesta yllämainitusta erillisraportista.

Haluamme esittää kiitoksemme projektin alkuunpanijalle ja johtajalle, professori R. Frietschille sekä niille monille geologeille Geologisesta tutkimuslaitoksesta, Kajaani Oy:stä, Outokumpu Oy:stä, Paraisten Kalkki Oy:stä ja Rautaruukki Oy:stä, joiden kanssa olemme olleet yhteistyössä. Haluamme lisäksi kiittää Åbo Akademin geologian ja mineralogian laitosta monipuolisesta avusta sekä Stiftelsen för Åbo Akademi -säätiötä, joka on huolehtinut kirjanpidosta.

JOHDANTO

Rautamuodostuman määritelmä

Rautarikkaista sedimenttisyntyisistä kivistä käytetään kirjallisuudessa monia erilaisia nimiä kuten rautamuodostuma, itabiriitti, takoniitti, hematiittikvartsiitti, magnetiittikvartsiitti, jaspiliitti, kvartsiraitainen rautamalmi, rauta-pii-muodostuma jne. Useimmiten näitä käytetään enemmän tai vähemmän synonyymeina. Näistä on nimitys rautamuodostuma (iron-formation) yleisimmin käytössä kirjallisuudessa. Sitä käytetään myös tässä raportissa.

Monien tutkijoiden mielestä rautamuodostumien tulisi olla prekambrisia, kvartsiraitaisia ja sedimenttisyntyisiä. Kuitenkin jo Suomessa olevien esiintymien kohdalla on toisinaan vaikea päätellä klastisen ja kemiallisen sedimentaation osuus. Yllä olevan määritelmän mukaan olisi käytettävä jotain muuta nimitystä niistä rautarikkaista sedimenteistä, jotka eivät ole kvartsiraitaisia ja erät eivät edes kvartsirikkaita. Näin ollen on tässä tutkimuksessa katsottu parhaaksi omaksua rautamuodostuma yleisnimitykseksi kaikille 15 % tai enemmän rautaa sisältäville sedimenttisyntyisille kivilajeille riippumatta siitä, onko aines klastista vai kemiallista alkuperää. Näin on ehdottanut Gross (1965, s. 83). Kukin yksittäinen esiintymä edellyttää kuitenkin tarkemman litologisen kuvauksen.

Koska tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää nimenomaan rautamuodostumahorisontteja sekä niiden sijaintia, on katsottu aiheelliseksi ottaa mukaan myös sellaisia esiintymiä, joiden rautapitoisuus ei yllä 15 prosenttiin, mikäli nämä oleellisesti liittyvät rautamuodostumiin.

Rautamuodostumatyyppit

Rautamuodostumat voidaan yleisesti jakaa klastisiin ja kemiallisiin. Klastiset rautamuodostumat ovat yleensä hiekkakiviä, kvartsiitteja ja konglomeraatteja, joissa rautam mineraali on tavallisesti magnetiitti, hematiitti tai sideriitti. Niillä on vain harvoin taloudellista merkitystä. Sen sijaan noin 80 % maapallon rautavaroista koostuu kemiallissyntyisistä rautamuodostumista (Survey of world iron ore resources, 1970), joista voidaan erottaa neljä erilaista tyyppiä: algoma, superior, clinton ja minette (Gross, 1965). Kukin näistä edustaa omaa erityistä sedimentaatioympäristöä.

Algoma-tyyppinen rautamuodostuma on kvartsirikas ja raitainen. Raidat koostuvat tavallisesti kvartsista, hematiitista ja/tai magnetiitista. Sideriittiä, rautasilikaatteja ja rautasulfideja esiintyy paikoin. Rautamuodostumat, joiden paksuus vaihtelee muutamista senttimetreistä kymmeneen metriin ja joiden pituus on harvoin enemmän kuin pari kilometriä, liittyvät läheisesti vulkaanisiin kiviin kuten tyynylaavarakenteisiin andesiitteihin ja tuffeihin. Algoma-tyyppisten rautamuodostumien oletetaan syntyneen eugeosynkliiniolosuhteissa. Niitä on tavattu kaikilla mantereilla yleensä 2,6 – 3,4 miljardia vuotta vanhoissa muodostumissa. Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumista voidaan tähän tyyppiin kuuluviksi laskea prekarjalaiset (arkeiset) rautamuodostumat sekä iältään todennäköisesti karjalaiset (proterotsoiset) Kittilän vihreäkivialueen esiintymät.

Superior-tyypin rautamuodostumat ovat kuten edellisestkin kvartsirikkaita ja raitaisia. Rautamineraalit ovat oksideja, karbonaatteja, silikaatteja tai sulfideja. Edellisestä poiketen ovat ooliittiset rakenteet yleisiä. Rautamuodostumat esiintyvät kvartsiittien, mustaluskeiden ja dolomiittien yhteydessä muodostaen kymmenien tai satojen kilometrien pituisia horisontteja paksuuden vaihdella kymmenistä metreistä satoihin metriin. Nämä

rautamuodostumat ovat syntyneet miogeosynkliinolosuhteissa. Niitä tavataan kuten algo-ma-tyyppiäkin kaikilla mantereilla, mutta pääasiassa nuoremmissa (1,9 – 2,2 Ma) muodostumissa. Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumista kuuluvat tähän tyyppiin karjalaiset esiintymät lukuunottamatta Kittilän ja Pohjois-Karjalan rautamuodostumia.

Clinton-tyyppi eroaa edellisistä mm. siinä, että chert puuttuu piin esiintyessä pääasiassa rautasilikaateissa. Päämineraalit ovat hematiitti, chamosiitti ja sideriitti, jotka esiintyvät melko kompakteina muutaman metrin paksuisina kerroksina yleensä grafiittiliuskeiden, dolomiittien ja kalkkikiven yhteydessä. Ne ovat syntyneet matalavesi-olosuhteissa ja niitä tavataan yleensä kambri-devoni -ikäisissä muodostumissa, mutta myös prekambrisia esiintymiä tunnetaan. Tähän tyyppiin kuuluvat Pohjois-Karjalan merijätulissa olevat hematiittiesiintymät (Viistola ja Valkeavaara).

Ooliittirakenteiset matalavesi-olosuhteissa syntyneet *minette-tyyppiset* rautamuodostumat koostuvat pääasiassa sideriitistä, rautasilikaateista ja götiitistä. Ne liittyvät läheisesti grafiittiliuskeisiin sekä hiekka- ja kalkkikiviin. Niitä tavataan sekä mesotsooisissa että tertiäärisissä muodostumissa.

Rautamuodostumafasieket

Kemiallissyntyiset rautamuodostumat ovat mielenkiintoinen kivilajiryhmä pyrittäessä selvittämään sedimentaatioalaiden fysikaalis-kemiallisia olosuhteita kerrostamisen tapahtuessa. Tämän mahdollistaa esiintyminen valenssiltaan kahden ja kolmen arvoisena sekä sen esiintyminen oksideina (hematiitti ja magnetiitti), karbonaateina (sideriitti), silikaatteina (mm. grenaliitti) sekä sulfideina (rikkikiisu ja magneettikiisu). Saostumista kontrolloi pääasiassa veden pH ja Eh sekä mainittujen ionien konsentraatiot (mm. Krumbein ja Garrels, 1952; James, 1954). On kuitenkin muistettava, että rautamuodostumafasieksista puhuttaessa on kyse nimenomaan primaarimineraaleista. Ne mineraalit, jotka tätä nykyä esiintyvät, ovat läpikäyneet enemmän tai vähemmän voimakkaan metamorfoosin. Tällöin on kiteytynyt metamorfisia rautarikkaita mineraaleja (amfibolia, pyrokseenia, oliiviinia, granaattia jne.), joiden alkuperää on usein vaikea selvittää. Esimerkiksi gryneriittiä voi metamorfoosissa syntyä sekä primaarisilikaateista että sideriitistä.

Tutkituilla alueilla on tavattu kaikki neljä rautamuodostumafasiesta: oksidi-, karbonaatti-, silikaatti- ja sulfidifasies. Prekarjalaisissa esiintymissä on hematiittia ja sideriittiä vain poikkeuksellisesti. Sen sijaan magnetiittia ja silikaatteja esiintyy runsaasti sekä vähäisessä määrin myös sulfideja. Nykyisten silikaattien alkuperä on epäselvä. Karjalaisissa esiintymissä tavataan myös kaikkia mainittuja fasieksia, mutta prekarjalaisista esiintymistä poiketen hematiitin ja sideriitin esiintyminen on yleisempää.

Rautamuodostumien synty

Rautamuodostumien synnystä on esitetty useita teorioita. Monet tutkijat (esim. Woolnough, 1941; James, 1954; Aleksandrov, 1955; Hough, 1958; Lepp ja Goldich, 1964 ja Govett, 1966) pitävät rautaa ja piitä pääasiassa mantereellisen kemiallisen rapautumisen tuotteina. Havaittu vulkaanisten kivien yleisyys monien rautamuodostumien yhteydessä viittaa kuitenkin vulkaanisen toiminnan ja näiden rautamuodostumien väliseen geneettiseen suhteeseen (esim. Goodwin, 1956, 1962, 1964, 1973; Oftedahl, 1958; Tshernov *et al.*, 1970; Paakkola, 1971; Dzotsenidze, 1972; Gross, 1973). Rautamuodostumien tyyppillisen raitaisuuden katsotaan johtuvan ilmaston (esim. Sakamoto, 1950), organismien aktivitee-

tin (esim. Gruner, 1922; La Berge, 1973) tai vulkaanisten purkausten (Stanton, 1972) säännöllisistä muutoksista.

Tässä tutkimuksessa käsiteltyjen rautamuodostumien raudan lähde vaihtelee syntyolosuhteiden mukaan. Klastisten rautamuodostumien (magnetiitti- ja hematiittipirotteiset kiilleliuskeet, grauvakat, kvartsiitit ja konglomeraatit) rautaa on pidettävä pääasiassa mekaanisen mantereellisen rapautumisen tuotteena. Klastisia rautamuodostumia saattaa syntyä aina milloin paikalliset rapautumaolosuhteet ovat suotuisat, joten ne eivät muodosta mitään alueelta toiselle jatkuvaa johtohorisonttia. Kemiällissyntyiset rautamuodostumat jakaantuvat todennäköisesti kahteen ikäryhmään: vanhempiin prekarjalaisiin (arkeisiin) ja nuorempiin karjalaisiin (proterotsoisiin). Yleispiirteenä voidaan havaita vanhemman ikäryhmän rautamuodostumien liittyvän vulkaanisiin kiviin. Rauta on todennäköisimmin vulkaanisen toiminnan tuotetta. Nuoremman ikäryhmän rautamuodostumat esiintyvät yleensä karbonaatti- ja grafiittipitoisissa metasedimenteissä. Raudan oletetaan olevan tällöin lähtöisin mantereelta ja vapautuneen rautapitoisten kivien rapautuessa lähinnä kemiallisesti.

Raudan ja piin saostuminen on tapahtunut sedimentaatioaltaan fysikaalis-kemiallisten olosuhteiden muuttuessa, esim. vulkaanisen toiminnan vaihteluiden, haihtumisen tai happipitoisuuden muutosten vuoksi. Rautamuodostumat ovat saostuneet suhteellisen lyhyenä ajanjaksona, joten niitä voidaan pitää johtohorisontteina ko. sedimentaatioaltaassa. Eri sedimentaatioaltaita toisiinsa rinnastettaessa voidaan rautamuodostumien suurimmalta osalta olettaa syntyneen joko arkeisen emäksisen vulkanismin aikana tai myöhemmin proterotsoisena aikana yhdessä hienorakeisten grafiittipitoisten sedimenttien kanssa.

PREKARJALAISET (ARKEISET) RAUTAMUODOSTUMAT

Prekarjalaisia (arkeisia) rautamuodostumia esiintyy emäksisissä ja ultraemäksisissä vulkaniiteissa, kvartsi-maasälpäliuskeissa sekä kiilleliuskeissa ja -gneisseissä. Niiden paksuus on tavallisesti kymmenisen metriä ja pituus joitakin satoja metrejä. Tällaisia linssejä saattaa olla useita rinnakkain tai peräkkäin.

Rautamuodostumat ovat enemmän tai vähemmän raitaisia ja kvartsirikkaita. Magnetiitti on ainoa päämalmimineraali. Hematiittia, götiittia ja sideriittia esiintyy poikkeuksellisesti ja silloinkin niukasti. Pieni magneetti- ja rikkikiisupirote on tavallista, mutta jalommat sulfidit ovat harvinaisia. Rautamuodostumille on tunnusomaista rautarikkaiden silikaattien runsaus. Yleisimpiä ovat erilaiset amfibolit (gryneriitti, ferroaktinoliitti, Fesarvivälke) ja granaatti (almandiini), mutta myös rautarikasta kloriittia ja biotiittia tavataan melko yleisesti. Epidoottia on useissa esiintymissä ja eräissä kalsiittia jonkin verran. Grafiittia on Pihlajavaarassa ja Tipasjärvellä, pyrokseenia Härmjärvellä ja Vätsärissä (kuva 1). Apatiitti esiintyy aksessorisena kaikissa rautamuodostumissa.

On vaikea päätellä, mikä rautamuodostumien alkuperäinen koostumus on ollut. Nykyinen mineraaliassosiaatio on metamorfoosin tulos, johon on voitu päätyä eri kautta. Magnetiitti lienee, ainakin useimmiten, primaarista ja on metamorfoosin vaikutuksesta ainostaan kiteytynyt uudelleen karkearakeisemmaksi. Rauta- ja alumiinirikkaat silikaatit kuten sarvivälke, kloriitti ja granaatti ovat luultavasti primaaristen rautasilikaattien metamorfisia vastineita. Gryneriitti on alunperin saattanut olla joko karbonaattia tai rautarikasta silikaattia.

Rautamuodostumien totaalirautapitoisuus on yleensä 20-35 % ja SiO₂-pitoisuus 40-50 %, joskin poikkeuksia molempiin suuntiin on. CaO- ja MgO -pitoisuus on tavallisesti

1-4 % ja Na₂O- ja K₂O -pitoisuus alle 1 % (taulukko 1). Tavanomainen P₂O₅-pitoisuus vaihtelee 0,1-0,3 % välillä, mutta poikkeuksellisen korkea pitoisuus on Pihlajavaarassa (1,68 %) ja Tipasjärvellä (1,28 %). MnO-pitoisuus on yleensä alle 1 %. Ti-pitoisuus on muutama sata ppm, paitsi eräissä rautamuodostumissa, joissa se on 600-2900 ppm. Näissä rautamuodostumissa on myös tavallista korkeampi Na- ja K -pitoisuus.

Eri esiintymät poikkeavat toisistaan esiintymistavaltaan ja mineraalikoostumukseltaan, joten niiden luokittelu on vaikeaa. Karkeasti voidaan kuitenkin erottaa kolme päätyyppiä, jotka on nimetty A-, B- ja C-tyypeiksi.

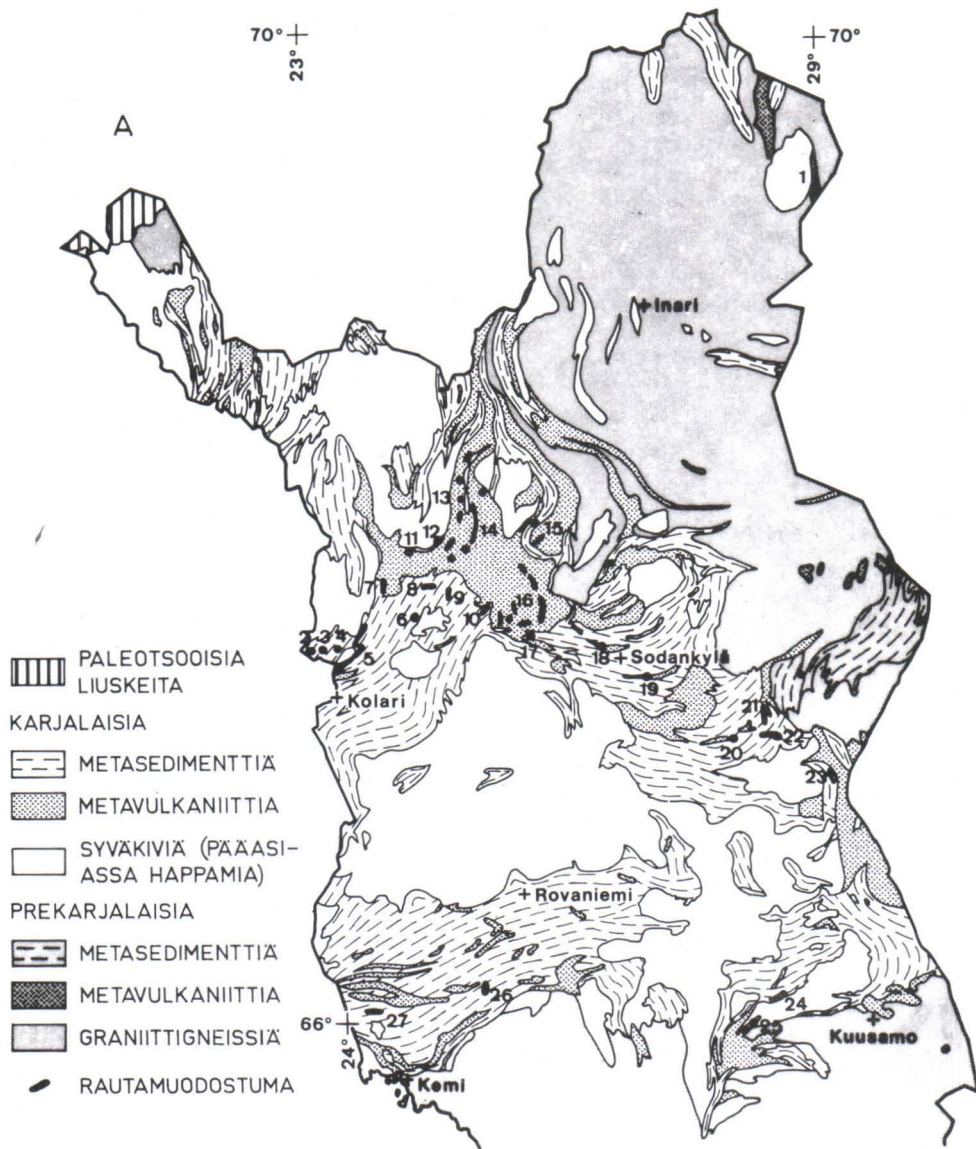
A-tyypille on tunnusomaista gryneriittivaltaisuus (kuva 2). Muut mineraalit ovat kvartsi, Fe-sarvivälke, granaatti ja toisinaan magnetiitti. Paikoin esiintyy hiukan biotiittia, kalsiittia ja grafiittia. Kvartsiraitoja on melko niukasti. Sarvivälke ja gryneriitti saattavat esiintyä yhdessä tai erikseen omina raitoina. Magnetiittia on ohuina raitoina gryneriittiraidoissa tai pirotteena sekä gryneriitti- että sarvivälkeraidoissa. Toisinaan magnetiitti puuttuu kokonaan. Granaatti esiintyy tavallisesti 0,3-1 cm läpimittaisina porfyroblastina sarvivälkeraidoissa epäsäännöllisesti jakautuneena sekä poikkeuksellisesti myös gryneriittiraidoissa. Tähän tyyppiin kuuluvat esiintymät (esim. Vätsäri, Ukkolanvaara ja Petäjäkangas) sijaitsevat kiille- ja kvartsi-maasälpäliuskeissa.

B-tyypille on tunnusomaista rautarikkaan sarvivälkkeen, kloriitin ja biotiitin esiintyminen sekä raitaisuus, joka johtuu tummien silikaattimineraalien ja kvartsin paljousuhteiden vaihtelusta (kuva 3). Magnetiittia on pirotteena sekä kvartsi- että silikaattirikkaissa raidoissa. Sarvivälke esiintyy omamuotoisina, poikiloblastisina kiteinä. Epidootti ja kalsiitti esiintyvät yleisesti päämineraaleina ja joissakin esiintymissä myös gryneriitti. Eräissä esiintymissä on hiukan kalsiittia ja turmaliinia. Apatiitti on tavallinen aksessorisena. Tähän tyyppiin kuuluvat esiintymät sijaitsevat kiilleliuskeissa (esim. Naarva ja Havukkavaara) lukuunottamatta eräitä Repovaaran amfiboliittissa olevia esiintymiä. B-tyyppi eroaa kemialliselta koostumukseltaan kahdesta muusta korkeampien Al-, K-, Na- ja Ti -pitoisuuksien vuoksi.

C-tyyppi on tyypillistä kvartsiraitaista rautamuodostumaa (kuva 4). Päämineraalit ovat kvartsi, amfiboli ja magnetiitti. Paikoin esiintyy myös pyroksenia, kloriittia, karbonaattia ja poikkeuksellisesti granaattia. Amfiboli on tavallisesti hienorakeista ferroaktinoliittia, mutta myös gryneriittia esiintyy joko yksinään tai ferroaktinoliitin kanssa. Magnetiittia on amfibolirikkaissa raidoissa pirotteena tai lähes kompakteina raitoina. C-tyyppiin kuuluvat rautamuodostumat sijaitsevat amfiboliittien, ultraemäksisten kivien ja kvartsi-maasälpäliuskeiden yhteydessä (esim. Siivikkovaara ja Hietajärvi).

Edellä kuvattujen päätyyppien lisäksi on Rasivaarassa melko massamaista magnetiitti-kvartsi-ferroaktinoliittikiveä, Keskijärvellä sideriitti-götiitti-magnetiitti-kvartsikiveä ja Saarikylässä götiittia pirotteena ja raitoina fylliitissä.

Rautamuodostumien sivukivissä on usein havaittavissa merkkejä klastisen sedimentaation kanssa samanaikaisesta kemiallisesta sedimentaatiosta. Tämä ilmenee granaatti- ja/ tai sarvivälkeporfyroblastien sekä chert-kerrosten (kuva 5) ilmestymisenä sivukiveen (esim. Vätsäri, Ukkolanvaara ja Petäjäkangas). Amfiboliitin ja rautamuodostuman välissä on toisinaan biotiitti-kloriitti-sarvivälkekiveä (kuva 6), jossa mainittujen mineraalien keskinäiset paljousuhteet saattavat vaihdella paljonkin. Kvartsia on vain aksessorisesti. Tällaista kiveä on tavattu Repovaarassa, Rasivaarassa ja Siivikkovaarassa.



Kuva 1. Pohjois-Suomen (A) ja Itä-Suomen (B) rautamuodostumien ja rautamuodostumahorisonttien sijainti yksinkertaistetulla geologisella kartalla (piirretty Simosen 1960-kartan perusteella).

Esiintymät Pohjois-Suomessa:

- | | | |
|---|--|---|
| 1. Vätsäri | 7. Linkukero | 16. Mustavaara-Tunturijärvet-Säynäjävuoma-Porkosen-Pahtavaaran alue-Petäjäselkä |
| 2. Mannakorpi | 8. Kätkäjärvä | 17. Mantovaara |
| 3. Valkeajärvi | 9. Nälkävaara | 18. Visasaari |
| 4. Taporova-Suuoja | 10. Pikku-Torsavaara | 19. Outolampi |
| 5. Juvakaisenmaa-Ristimellanjärvi-Sainkangas-Sivakkalehto-Rytijänkä-Rautuhelukka-Rautuvaara-Rautuoja-Hannukainen-Tuohilehto | 11. Kulkujoki | 20. Matalavaara |
| 6. Latvajärvi | 12. Kirjaselkä | 21. Rahkavaara |
| | 13. Sätkenjärvi-Silasjärvi-Silasselkä-Kapsakero, | 22. Jauratsi |
| | 14. Rauduskylä-Vuossavaara-Kiimavaara-Jaukkaranselkä-Kapsajoki | 23. Tuohivaara |
| | 15. Paljukka-Tieva-Seurujärvi-Kuortisoja | 24. Suonna |
| | | 25. Niskavaara-Laivajärvi |
| | | 26. Vähäjoki |
| | | 27. Aapajoki |

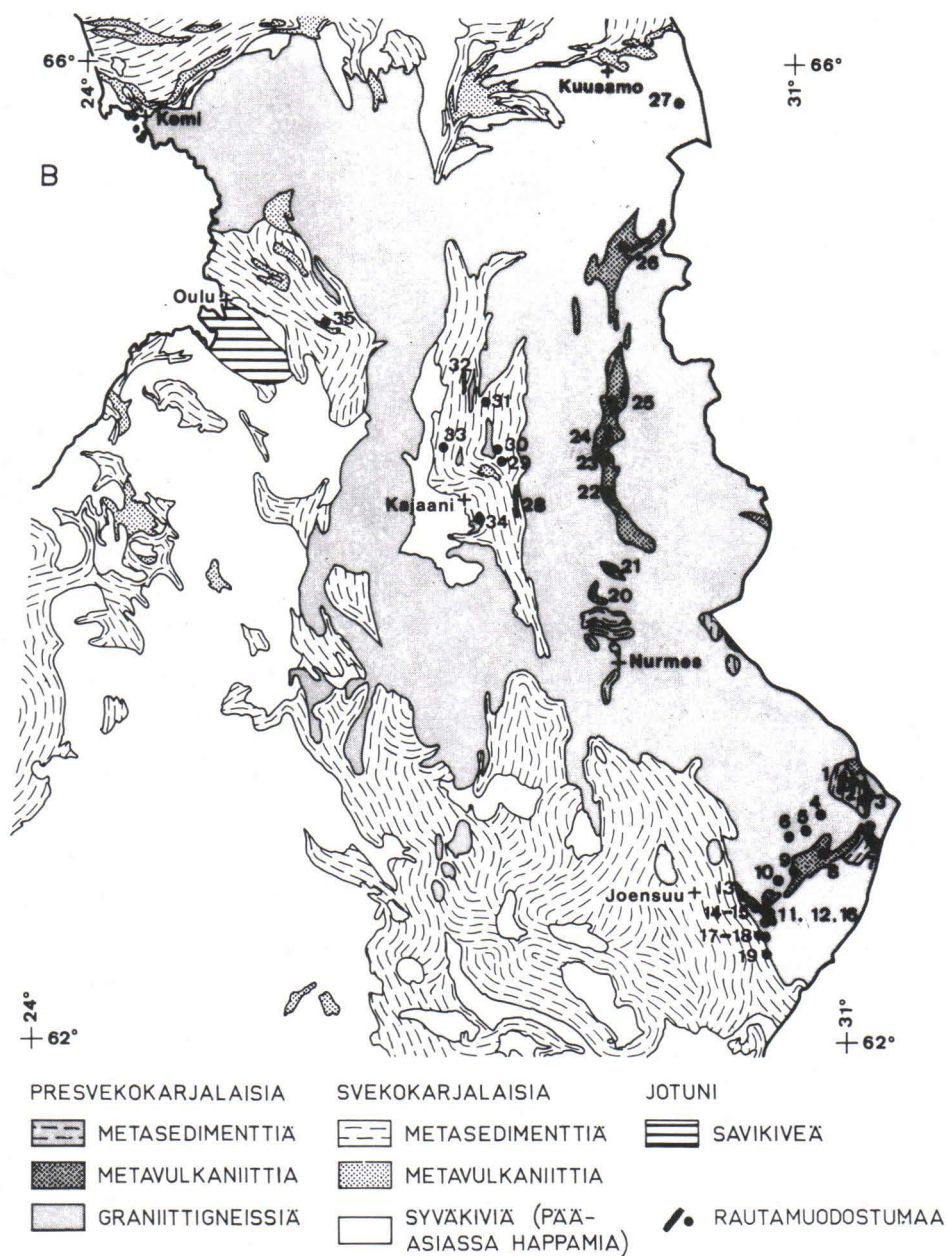


Fig. 1. The location of iron-formations and horizons of iron-information northern Finland (A) and eastern Finland (B). The simplified geological map after Simonen 1960.

Esiintymät Itä-Suomessa:

- | | | |
|-----------------|-------------------|------------------|
| 1. Naarva | 13. Havukkavaara | 25. Honkajärvi |
| 2. Pihlajavaara | 14. Löytöjärvi | 26. Saarikylä |
| 3. Repovaara | 15. Keskijärvi | 27. Lusminki |
| 4. Syväys | 16. Ahvenvaara | 28. Tuomivaara |
| 5. Huhus | 17. Särkilampi | 29. Liskukangas |
| 6. Petäjäkangas | 18. Viistola | 30. Hiisivaara |
| 7. Ukkolanvaara | 19. Valkeavaara | 31. Poskimäki |
| 8. Kirjokallio | 20. Hietajärvi | 32. Väyrylänkylä |
| 9. Hömötti | 21. Tipasjärvi | 33. Kivesvaara |
| 10. Revonkylä | 22. Siivikkovaara | 34. Lauttalahti |
| 11. Rasivaara | 23. Härmäjoki | 35. Vepsä |
| 12. Rahalampi | 24. Härmäjärvi | |

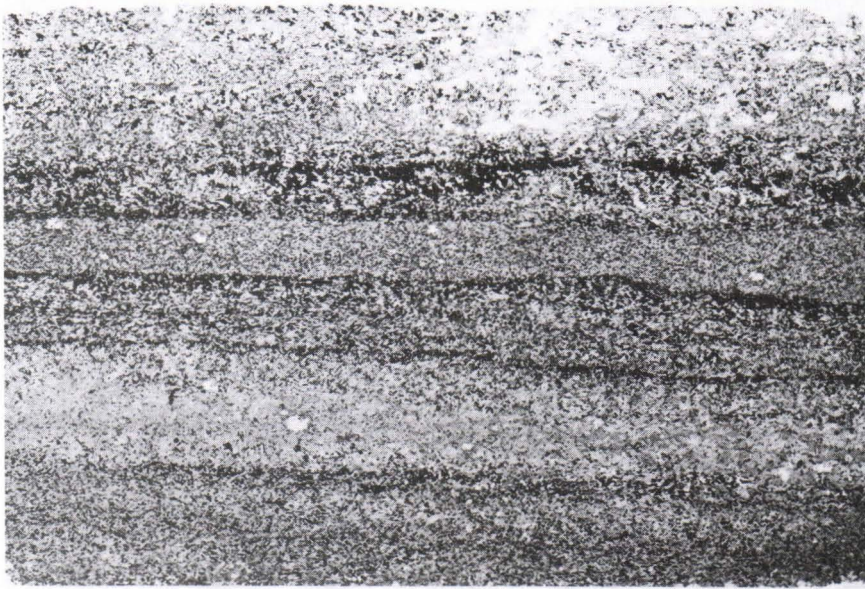
Taulukko 1. Prekarjalaisten rautamuodostumien kemiallisia koostumuksia.
Table 1. The chemical composition of the Prekarelian iron-formation.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	52.90	40.64	51.5	53.6	44.5	49.5	55.1	44.0	41.41	42.10	39.11
Al ₂ O ₃	1.00	7.03	8.81	2.67	6.14	0.61	6.05	5.78	1.84	1.20	0.56
Fe	28.2	31.91	24.29	26.97	30.55	32.53	23.79	30.96	37.28	37.01	35.60
Fe ₂ O ₃	22.34	26.48	4.96	4.22	12.9	29.1	21.4	26.4	13.73	19.96	
FeO	16.34	17.16	26.7	30.8	27.6	15.6	11.3	16.0	35.48	29.55	
MnO	0.09	0.06	0.52	0.39	0.29	0.084	0.068	0.05	0.38	0.27	0.39
MgO	2.69	2.41	1.16	3.28	1.58	2.28	2.11	1.95	3.48	1.27	2.93
CaO	3.36	2.48	2.29	1.80	4.30	1.26	1.52	2.44	1.88	2.98	5.26
Na ₂ O	0.09	0.52	0.024	0.16	0.43	0.099	1.13	2.23	0.18	0.12	
K ₂ O	0.05	0.77	0.63	0.14	0.18	0.024	1.74	0.92	0.07	0.06	0.05
P ₂ O ₅	0.17	0.22	1.68	0.23	0.23	0.28	0.14	0.11	0.32	0.36	0.32
CO ₂	0.00	0.00	0.07	0.29	0.42	0.79	0.30	0.42	0.00	1.17	0.50
H ₂ O ⁺	0.73	0.16	0.45	0.92	0.73	0.26	0.36	0.34	1.43	1.27	
H ₂ O ⁻	0.03	0.36							0.05	0.03	
Li ₂ O	0.00	0.014							0.041	0.045	
S	0.02	0.36	0.14	0.11	0.09	1.61	0.14	0.72	0.04	0.03	0.61
Ti	210	2000	1800	500	1200	100	1300	1300	560	280	100
V	20	120	100	100	100	100	100	100	33	20	100
Ni	20	43							20	20	
Cr	30	140	140	40	50	60	110	170	30	30	20
Co	20	20							20	20	
Ba	0.0	0.05							0.0	0.0	
Sr	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Be		2							2	2	

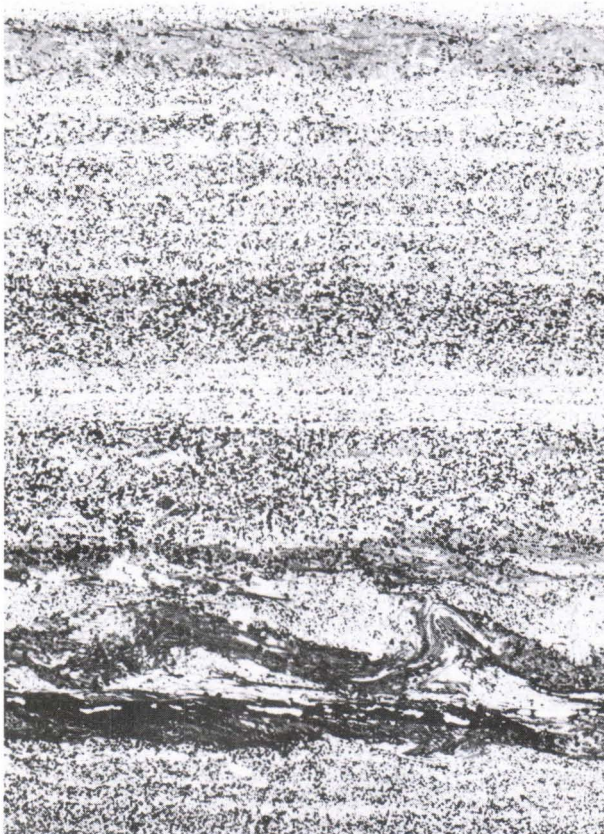
1. Vätsäri, Inari, kvartsi-amfiboli-magnetiittiraitainen rautamuodostuma (anal. Gtl)
2. Naarva, lohcareita (anal. Gtl)
3. Pihlajavaara, uranäyte (anal. VTT ja RR)
4. Repovaara I, uranäyte, A-tyyppi (anal. VTT ja RR)
5. Repovaara III, uranäyte, B-tyyppi (anal. VTT ja RR)
6. Repovaara IV, uranäyte, C-tyyppi (anal. VTT ja RR)
7. Syväys, uranäyte (anal. VTT ja RR)
8. Huhus, kairasydän (anal. VTT ja RR)
9. Petäjäkangas, uranäyte (anal. Gtl)
10. Ukkolanvaara, uranäyte (anal. Gtl)
11. Kirjokallio, uranäyte (anal. RR)

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SiO ₂	55.1	50.06	52.43	45.51	50.7	60.5	59.04	65.9	60.65	51.70	57.75	47.73
Al ₂ O ₃	6.14	0.28	5.13	0.87	3.17	3.64	0.21	0.37	0.38	0.17	1.69	0.17
Fe	24.82	27.27	24.38	34.95	30.28	20.72	20.20	21.50	23.59	29.96	20.24	36.09
Fe ₂ O ₃	11.5	24.93	17.47		24.1	17.8	10.73	12.0	13.11	27.94		34.42
FeO	21.5	12.60	15.60		17.2	10.6	16.28	16.8	18.49	13.35		15.41
MnO	0.074	1.51	0.12	0.18	0.062	0.079	0.75	0.26	0.42	0.22	0.36	0.09
MgO	1.99	5.58	1.55	1.91	1.50	2.84	4.58	1.24	3.24	2.82	4.16	0.19
CaO	2.71	3.34	3.20	3.16	2.19	2.68	5.71	0.35	2.73	2.30	9.14	0.22
Na ₂ O	0.14	0.12	0.57		0.21	0.33	0.07	0.028	0.10	0.06		0.05
K ₂ O	0.21	0.01	0.37	0.02	0.25	0.054	0.02	0.018	0.04	0.03	0.04	0.06
P ₂ O ₅	0.14	0.14	0.29	0.32	0.16	0.11	0.15	1.28	0.13	0.20	0.25	0.17
CO ₂	0.10	0.00	0.00	0.70	0.08	0.04	0.00	0.10	0.02	0.00	0.50	0.40
H ₂ O ⁺	0.45	0.68	1.22		0.13	0.13	1.43	0.35	1.00	1.22		0.70
H ₂ O ⁻		0.02	0.22				0.15		0.04	0.14		0.16
Li ₂ O		0.002	0.004				0.047		0.000	0.000		0.000
S	0.14	1.61	2.10	1.68	0.10	0.10	0.94	0.01	0.00	0.10	1.22	0.00
Ti	600	200	1300	100	700	1000	200	0	190	150	700	150
V	100	20	67	0	0	100	68	100	20	30	100	20
Ni		20	20		20	90	60		30	30		30
Cr	90	30	53	70	40	40	30	50	30	30	40	30
Co		20	20		20	30	20		20	20		20
Ba		0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0
Sr	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ba		2	2				2		3	3		3

12. Revonkylä, uranäyte (anal. VTT ja RR)
13. Rasivaara, uranäyte (anal. Gtl)
14. Havukkavaara, uranäyte (anal. Gtl)
15. Löytöjärvi, uranäyte (anal. RR)
16. Ahvenvaara, uranäyte (anal. VTT ja RR)
17. Särkilampi, uranäyte (anal. VTT ja RR)
18. Hietajärvi, uranäyte (anal. Gtl)
19. Tipasjärvi, uranäyte (anal. VTT ja RR)
20. Siivikkovaara, uranäyte (anal. Gtl)
21. Härmäjoki, uranäyte (anal. Gtl)
22. Härmäjärvi, uranäyte (anal. RR)
23. Honkajärvi, uranäyte (anal. Gtl)



Kuva 2. A-tyyppistä rautamuodostumaa, Ukkolanvaara. Harmaa gryneriittiä ja sarvivälkettä, musta magnetiittia. Ohuthie, n. 4 x suurennos.
 Fig. 2. Iron formation of the A-type in Ukkolanvaara. Grey: grunerite and hornblende.; black: magnetite. Thin section, magnification about 4 x.



Kuva 3. B-tyyppistä rautamuodostumaa. Havukka-vaara, vaalean harmaa kvartsia, tumman harmaa sarvivälkettä, biotiittia, kloriittia ja epidootia, musta magnetiittia. Ohuthie n. 4 x suurennos.
 Fig. 3. Iron-formation of the B-type in Havukka-vaara. Light grey: quartz; dark grey: hornblende, biotite, chlorite and epidote; black: magnetite. Thin section, magnification about 4 x.

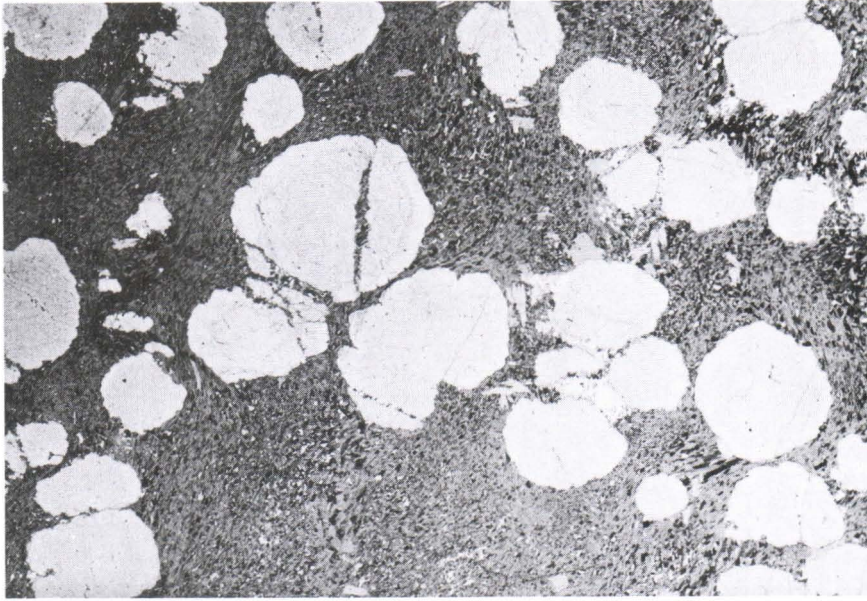
Kuva 4. C-tyyppistä rautamuodostumaa, Siivikko-vaara. Vaalean harmaa kvartssia, tummemman harmaa gryneriittiä ja ferroaktinoliittia, musta magnetiittiä. Ohuthie n. 4 x suurennos.

Fig. 4. Iron-formation of the C-type in Siivikko-vaara. Light grey: quartz; dark grey: grunerite and ferro-actinolite; black: magnetite. Thin section, magnification about 4 x.



Kuva 5. Kiilleliusketta rautamuodostuman kontaktin lähellä, Ukkolanvaara. Vaalea raitainen kivi cherttiä, mustat täplät sarvivälkeporfyroblasteja.

Fig. 5. Mica schist close to the contact of the iron-formation in Ukkolanvaara. The light banded rock is a chert, the black patches are hornblende-porphyroblasts.



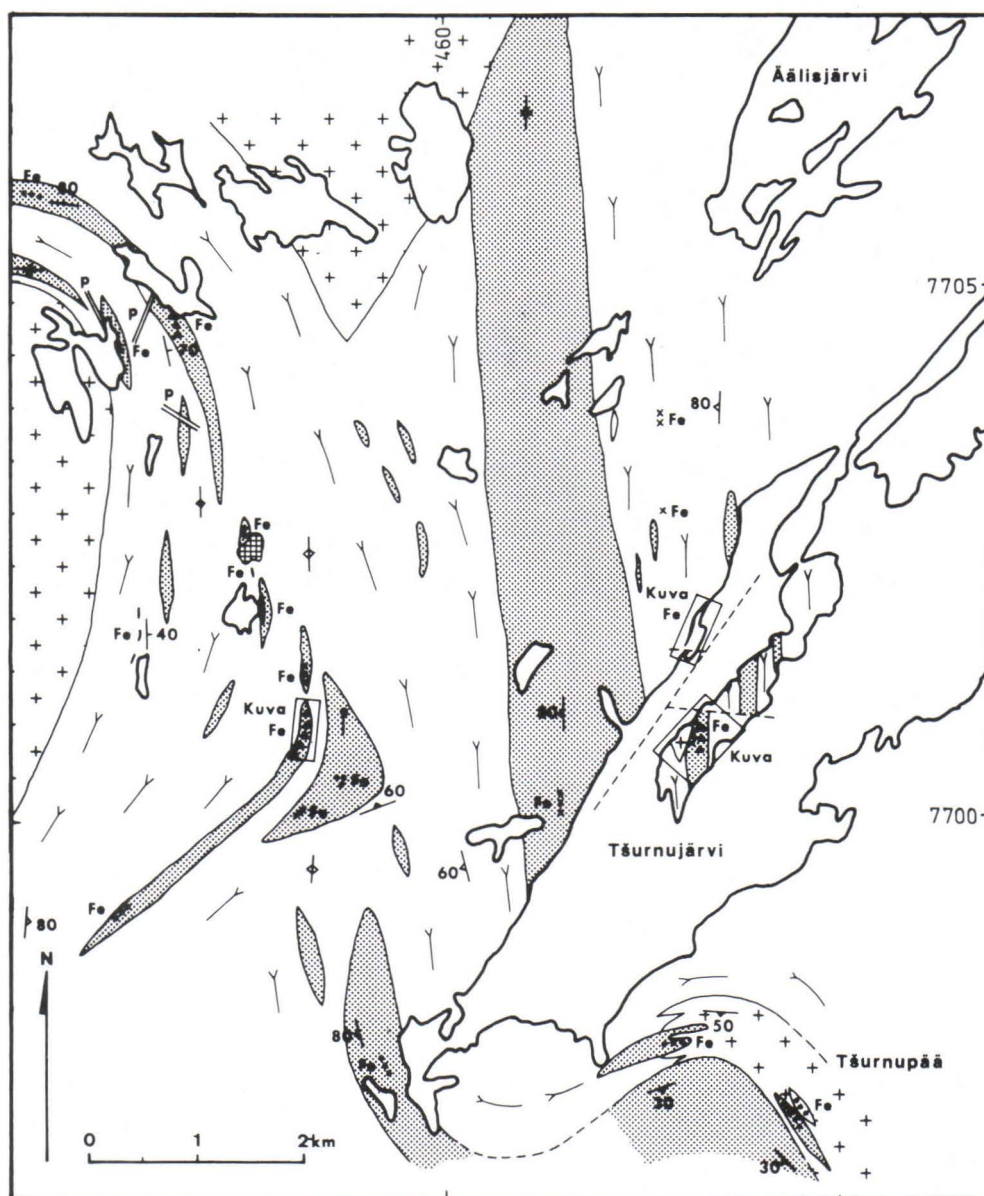
Kuva 6. Rautamuodostuman ja amfiboliitin kontaktikiveä. Siivikkovaara. Vaaleat porfyroblastit granaattia, harmaa perusmassa biotiittia, jossa vähän sarvivälkettä. Ohuthie n. 4 x suurennos.

Fig. 6. The rock-type between the iron-formation and the amphibolite in Siivikkovaara. Light porphyroblasts are garnets and the grey matrix is biotite with some hornblende. Thin section, magnification 4 x.

Inari

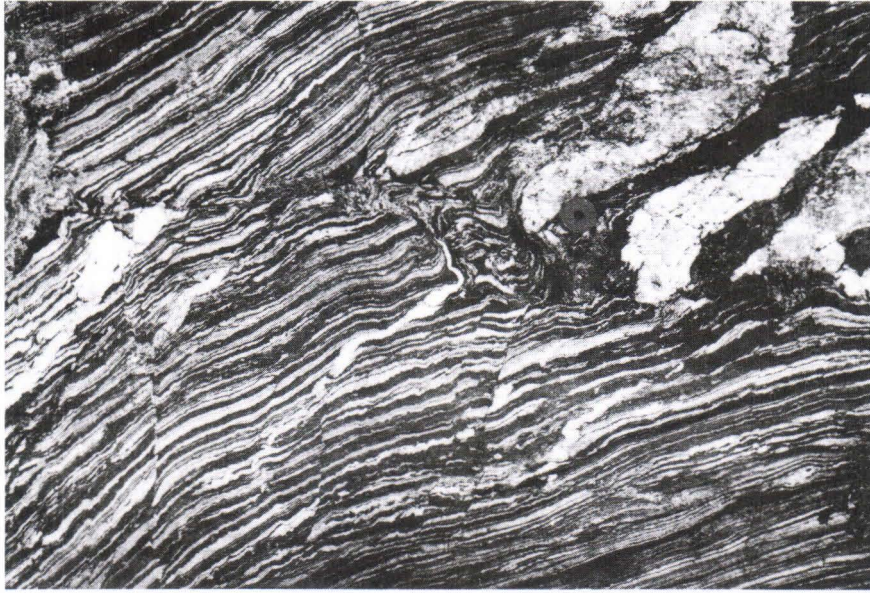
Suomen pohjoisin osa koostuu pääasiassa granuliitista, graniittigneissistä, eri-ikäisistä graniiteista ja liuskejaksoista (Meriläinen, 1965, 1976). Näissä iältään todennäköisesti arkeisissa liuskejaksoissa tunnetaan rautamuodostumia Tsumujärven ympäristössä Vätsärissä. Alueen graniittigneissi on epähomogeenista kiveä, jossa harmaassa keskirakeisessa graniitissa tai granodioriitissa on vaihtelevan paksuisina välikerroksina ja sulkeumina kvartsiittia, kiilleliusketta ja amfiboliittia (kuva 7).

Kvartsi-amfiboli-pyrokseeni-magnetiittiraitaiset rautamuodostumat esiintyvät erillisinä linseinä amfiboliitissa, kiilleliuskeessa (kuva 8) tai fragmentteina granodioriitissa. Rautamuodostumalinssien paksuus on normaalista vain 1-2 m, mutta saattaa poikkeustapauksissa nousta kahteenkymmeneen metriin. Pituutta linseillä voi olla satoja metrejä, usein kuitenkin vain 10-20 m. Rautamuodostumien amfiboli vaihtelee epäsäännöllisesti eri esiintymissä tai esiintymän osissa. Se on gryneriittiä, sarvivälkettä tai ferroaktinoliittia. Hedenbergiittistä pyrokseenia ja granaatteja esiintyy rautamuodostumissa, joiden sivukivi on todennäköisesti alkuperältään karsiutunut kalkkisedimentti. Rautamuodostumien rautapitoisuus vaihtelee 25-30 %:n välillä, mangaanipitoisuus on pieni (0,1 % MnO), fosforipitoisuus on alle 0,2 % P_2O_5 ja rikkipitoisuus alle 0,1 % S (taulukko 1 anal. 1).



- | | |
|--|---------------------|
| P GRANIITTI JA PEGMATIITTI | PERIDOTIITTI |
| AMFIBOLIITTI | GRANIITTIGNEISSI |
| Fe KVARTSI - AMFIBOLI - MAGNETIITTI -
RAITAINEN RAUTAMUODOSTUMA | 70/ LIUSKEISUUS |
| xxx AMFIBOLI: SARVIVALKETTA | 70/ KERROKSELLISUUS |
| ... GRYNERIITTIÄ | - - - SIIRROS |
| — SARVIVALKETTA + GRYNERIITTIÄ | o POIMUAKSELI |
| ▲▲▲ AKTINOLIITTIÄ | |

Kuva 7. Vätsäriin alueen rautamuodostumat Inarissa (Lehto, 1975).
 Fig. 7. The iron-formation in Vätsäri region, Inari (Lehto, 1975).



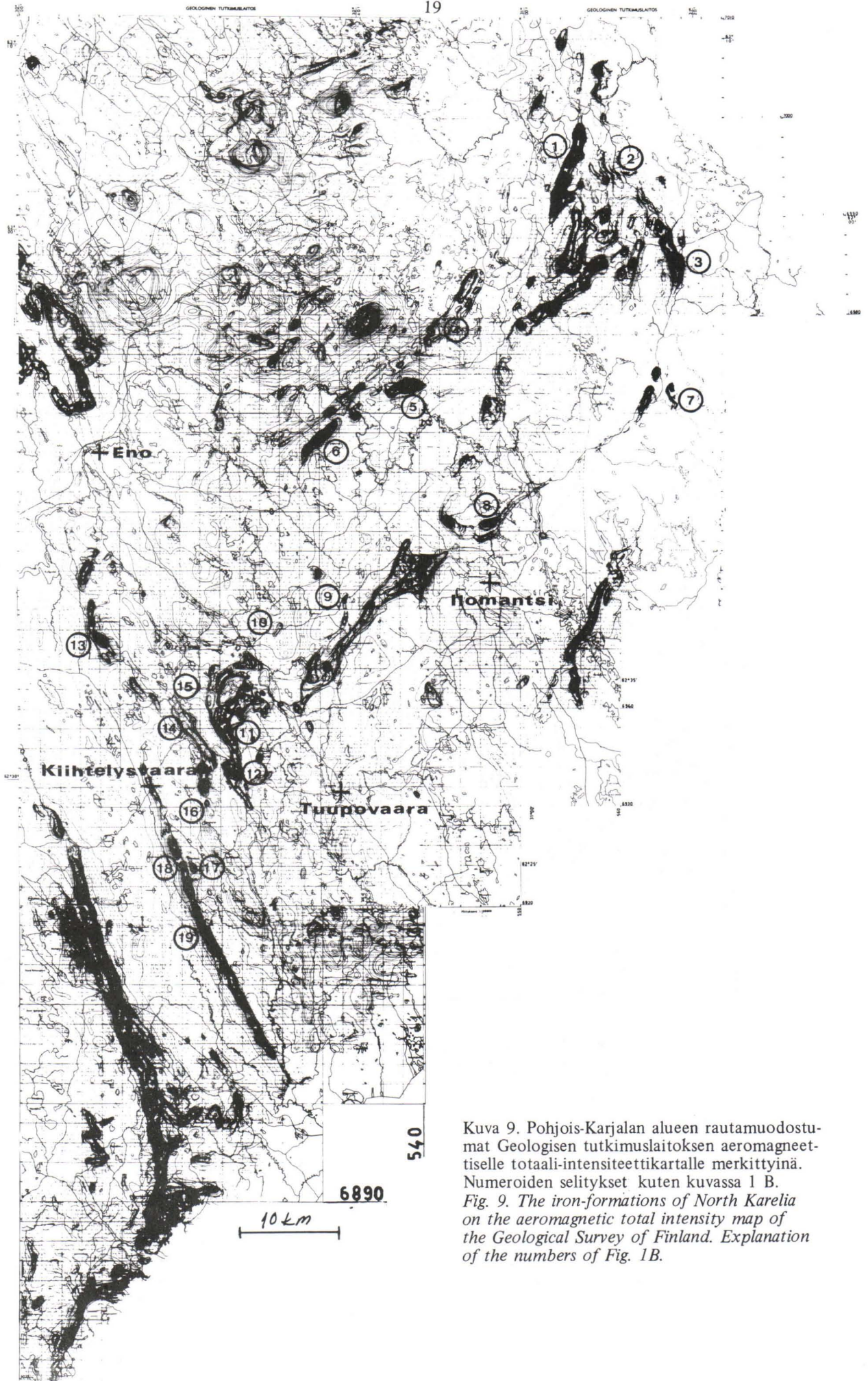
Kuva 8. Kvartsi-amfiboli-magneetiittiraitainen rautamuodostuma, Tsumujärvi, Vätsäri. Tummat raidat koostuvat aktinoliitista ja magneetiitista. Vaalea on kvartssia. (Magneetin läpimitta on 2 cm).

Fig. 8. A quartz-amphibole-magnetite banded iron-formation, Tsumujärvi, Vätsäri region. The dark bands are composed of actinolite and magnetite. White is quartz. 1/4 of natural size.

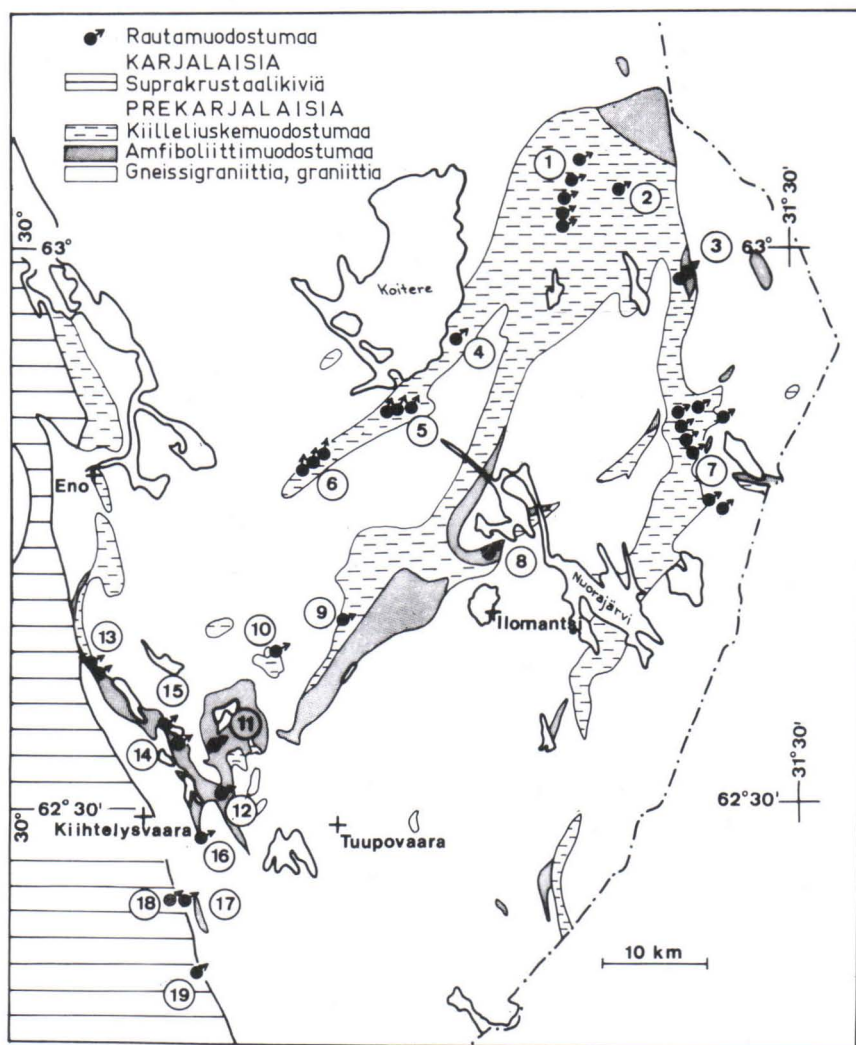
Pohjois-Karjalan alue

Pohjois-Karjalan alueen aeromagneettisella kartalla (kuva 9) näkyy melko voimakkaita ympäristöstään selvästi erottuvia anomaliavyöhykkeitä, jotka aiheutuvat vulkaniiteista, metasedimenteistä sekä näihin molempiin liittyvistä rautamuodostumista (kuva 10). Anomaliavyöhykkeiden väliin jäävät magneettisesti suhteellisen rauhalliset alueet koostuvat kvartsi- ja granodioriitista sekä graniitista (Lavikainen, 1973).

Vulkaniitit ovat enimmäkseen laava- tai tuffisyntyisiä amfiboliitteja ja amfiboli- ja kloriittiliuskeita, mutta myös happamia vulkaniitteja, agglomeraatteja ja ultraemäksisiä kiviä on tavattu. Metasedimentit ovat pääasiallisesti kiilleliuskeita ja -gneissejä sekä kvartsi-maasälpäliuskeita, jotka suureksi osaksi saattavat olla vulkaanista alkuperää. Mustaliusketta esiintyy muutaman metrin paksuisina välikerroksina. Konglomeraattia, joka koostuu liuske- ja kvartsidioriittipalloista grauvakkamaisessa perusmassassa, on tavattu useissa paikoissa kiilleliuskeessa Ilomantsissa. Sen sijaan prekarjalaista pohjakonglomeraattia ei ole tavattu.

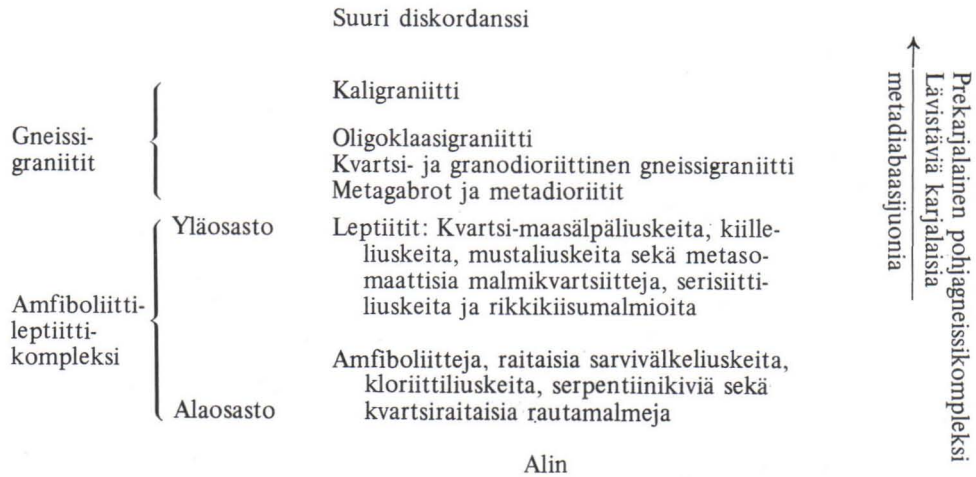


Kuva 9. Pohjois-Karjalan alueen rautamuodostumat Geologisen tutkimuslaitoksen aeromagneettiselle totaali-intensiteetikartalle merkittyinä. Numeroiden selitykset kuten kuvassa 1 B.
Fig. 9. The iron-formations of North Karelia on the aeromagnetic total intensity map of the Geological Survey of Finland. Explanation of the numbers of Fig. 1B.



Kuva 10. Pohjois-Karjalan alueen rautamuodostumat. (Niiniskorpi, 1975).
 Fig. 10. The iron-formations of North Karelia. (Niiniskorpi, 1975).

Nykäsen (1971 s. 54) mukaan stratigrafia Pohjois-Karjalan alueen länsiosassa prekarjalaisessa pohjakompleksissa on seuraava:

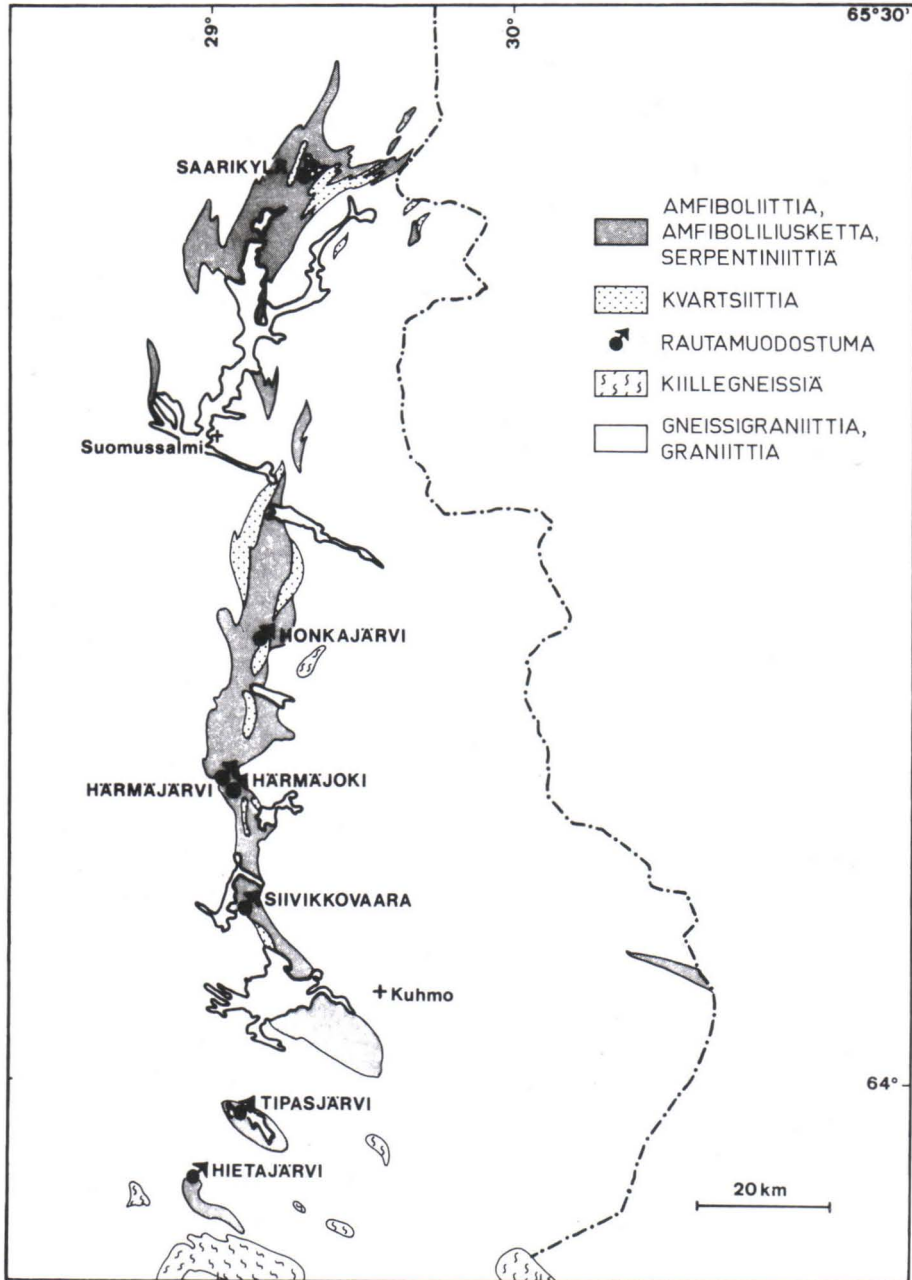


Ylläolevan kaavion suhteen on mainittava, että suurin osa rautamuodostumista sijaitsee metasedimenteissä eikä amfiboliiteissa. Metasedimentit ja amfiboliitit esiintyvät niin kiinteästi yhdessä, että niiden välillä on tuskin mainittavaa ikäeroa. Paikoin vaikuttaa kerrosjärjestys olevan päinvastainen (esim. Repovaara). Alueen rautamuodostumat lienevät suurin piirtein samanikäiset ja niitä voitaneen käyttää johtohorisonttina eri alueiden kivilajeja korreloitaessa. On ratkaisematta, saostuivatko rautamuodostumat yhteen ja samaan suureen altaaseen vai useampaan pienempään sekä kuinka yhtenäisiä vyöhykkeitä ne alun perin muodostivat. Rautamuodostumahorisontit esiintyvät nykyään yhteenpuristuneina synformeina gneissigraniittikupolien välissä.

Pohjois-Karjalan rautamuodostumista kuuluvat A-tyyppiin Ukkolanvaara, Petäjäkangas sekä Repovaaran läntinen jakso. Ukkolanvaarassa ja Repovaarassa on rautamuodostuman kontaktissa myös mustaliusketta. Ukkolanvaaran esiintymä on mittasuhteiltaan suurin, vaikka sillä tulee tuskin olemaan taloudellista merkitystä amfibolivaltaisuuden ja magnetiitin vähäisyyden vuoksi. Sen todellinen koko on tuntematon, koska aeromagneettiset mittaukset kattavat ainoastaan osan alueesta, mutta jakson pituus on useita kilometrejä. Kerrostuma on hyvin voimakkaasti poimuttunut. Petäjäkangas ja Repovaara ovat Ukkolanvaaran esiintymää pienempiä. Petäjäkankaalla on amfibolien lisäksi myös magnetiittia, joka Repovaarasta puuttuu miltei tyystin.

B-tyyppiin kuuluvat Naarva, Huhus, Syväys, Hömötti, Revonkylä, Havukkavaara sekä osa Repovaaran esiintymistä. Näistä Ilomantsissa sijaitsevat Huhuksen ja Naarvan esiintymät ovat kokonsa vuoksi taloudellisesti mielenkiintoisimmat. Huhuksen esiintymä ei ole missään paljastuneena. Syväkairauksista saatujen tietojen perusteella rautamuodostuma sijaitsee gneissigraniitin ympäröimässä leptiittikiilleliuskevyöhykkeessä (Sipilä, 1962). Naarvan esiintymä sijaitsee kiilleliuskeessa n. 25 km Huhuksesta koilliseen. Se aiheuttaa aeromagneettisella kartalla n. 10 km pitkän anomalian. Koska alue on heikosti paljastunut, on mineralisaation todellinen koko toistaiseksi tuntematon.

C-tyyppiin kuuluvat rautamuodostumat ovat kooltaan hyvin pieniä, eikä niillä ole taloudellista merkitystä. Tähän tyyppiin kuuluvat Pohjois-Karjalan esiintymistä mm. Kirjokallio, Rasivaara, Löytöjärvi ja Rahalampi.



Kuva 11. Kuhmo-Suomussalmi-jakson rautamuodostumat. (Niiniskorpi, 1975).
 Fig. 11. The iron-formations of the Kuhmo-Suomussalmi schist belt. (Niiniskorpi, 1975).

Kuhmo-Suomussalmi -jakso

Gneissigraniitin ympäröimä Kuhmo-Suomussalmi -jakso koostuu pääasiassa amfiboliiteista, amfiboli- ja kloriittiliuskeista sekä näihin liittyvistä serpentiniiteistä ja vuolukivistä (Hyppönen, 1973, 1976). Amfiboliitit ovat tasarakeisia, porfyyrisiä tai mantelikivimäisiä. Tyynylaavarakenteita ja agglomeraattia esiintyy paikoin.

Emäksisten ja ultraemäksisten kivien lisäksi tavataan myös kvartsi-maasälpäliuskeita, kvartsiittia ja kiilleliusketta. Kvartsiitti on useimmiten karkearakeista, serisiittirikasta ja breksioitunutta ja poikkeaa ulkonäöltään jatulikvartsiitista.

Kuhmo-Suomussalmi -jaksosta tai sen jatkeista tunnetaan seitsemän rautamuodostumaesiintymää (kuva 11), jotka suurimmaksi osaksi sijaitsevat emäksisissä vulkaniiteissa sekä näiden kanssa vuorokerroksina esiintyvissä kvartsi-maasälpäliuskeissa. Rautamuodostumat ovat Saarikylän esiintymää lukuunottamatta raitaisia ja kvartsirikkaita. Raitojen paksuus vaihtelee muutamasta millimetristä muutamaa senttimetriin. Raidat koostuvat pääasiallisesti kvartsista, amfibolista ja magnetiitista. Poikkeuksellisesti tavataan karbonaattia, epidoottia sekä pyrokseenia (Härmäjärvellä). Amfiboli on ferroaktinoliittia ja/tai gryneriittia tai poikkeuksellisesti sarvivälkettä (Härmäjärvellä). Magnetiitti esiintyy amfibolien yhteydessä pirotteena tai raitoina. Rautamuodostumat ovat esiintymistavaltaan sekä mineralogiselta ja kemialliselta koostumukseltaan C-tyyppiä. Hietajärven esiintymässä on MnO-pitoisuus hieman kohonnut (0,75-1,09 %). Tipasjärvellä on poikkeuksellisen korkea P₂O₅-pitoisuus (1,28 %).

Suomussalmen Saarikylässä tavataan kvartsiraitaista rautamuodostumaa lohkareina. Sen lisäksi tavataan fylliitissä götiittipirotteista ja -raitaista kiveä, jossa on myös kvartsi-raittoja.

Kuhmo-Suomussalmi -jakson pohjoispuolella on Lusmingin esiintymä Kuusamossa. Se sijaitsee gneissigraniitin pirstomassa ja voimakkaasti uudelleen kiteytyneessä kiillegneisissä ja koostuu B-tyyppisestä rautamuodostumasta. Magnetiittia on pirotteena sekä kvartsi-että biotiittirikkaissa kerroksissa.

Kaikki mainitut rautamuodostumat ovat mittasuhteiltaan hyvin vaatimattomia. Niiden leveys vaihtelee muutamasta dm:stä yli kymmeneen metriin ja pituus on korkeintaan muutama sata metriä. Tällaisia linssejä saattaa olla useita peräkkäin kuten Hietajärvellä tai rinnakkain kuten Siivikkovaarassa.

KARJALAISET (PROTEROTSOOISET) RAUTAMUODOSTUMAT

Rautamuodostumatyyppien erilaisuuden vuoksi kuvataan seuraavassa Pohjois- ja Itä-Suomen tutkimusalueet erikseen.

Pohjois-Suomi

Tyypillistä Pohjois-Suomen kemiallissyntyisille rautamuodostumille, jotka Vätsäriä lukuunottamatta on luettu karjalaisiin muodostumiin kuuluviksi, on rautamineraaleista koostuvien raitojen vuorottelu kvartsirikkaiden raitojen kanssa ja chertin yleisyys rautamuodostumahorisonteissa. Rautamuodostumat esiintyvät emäksisissä vulkaniiteissa tai tummissa liuskeissa ja karbonaattipitoisissa metasedimenteissä 2-100 m paksuina ja kymmenien tai satojen metrien mittaisina linsseinä. Rautamuodostumalinssit voivat muodostaa kilometrien pituisia horisontteja. Osa kemiallissyntyisistä rautamuodostumista (Kolarin ja Peräpohjan alueella) on massamaista tai heikosti raitaista, magnetiitti- ja kiisupitoista

karsiutunutta kalkkisedimenttiä. Nämä karsimalmit esiintyvät yhdessä kvartsi-maasälpäliuskeiden tai grafiittipitoisten liuskeiden kanssa. Klastiset rautamuodostumat ovat Lapissa magnetiitti- tai hematiittipitoisia mekaanisia sedimenttejä (grauvackoja, kvartsiitteja ja konglomeraatteja).

Kolari

Kolarin alue sijaitsee Länsi-Lapissa, Keski-Lapin graniittimassiivin luoteispuolella. Alueen stratigrafia on yksinkertaistettuna Hiltusen ja Tontin (1976) mukaan seuraava:

kvartsiitti, konglomeraatti (Kumpu-muodostuma)
 amfiboliitteja
 karsi- ja kalkkikiviä, karsimalmeja
 kvartsiraitainen rautamuodostuma
 kvartsi-maasälpäliuskeita, kiilleliuskeita
 vanhempi kvartsiitti
 kalsiumsilikaatti-pitoinen gneissi (vain Hannukaisessa)

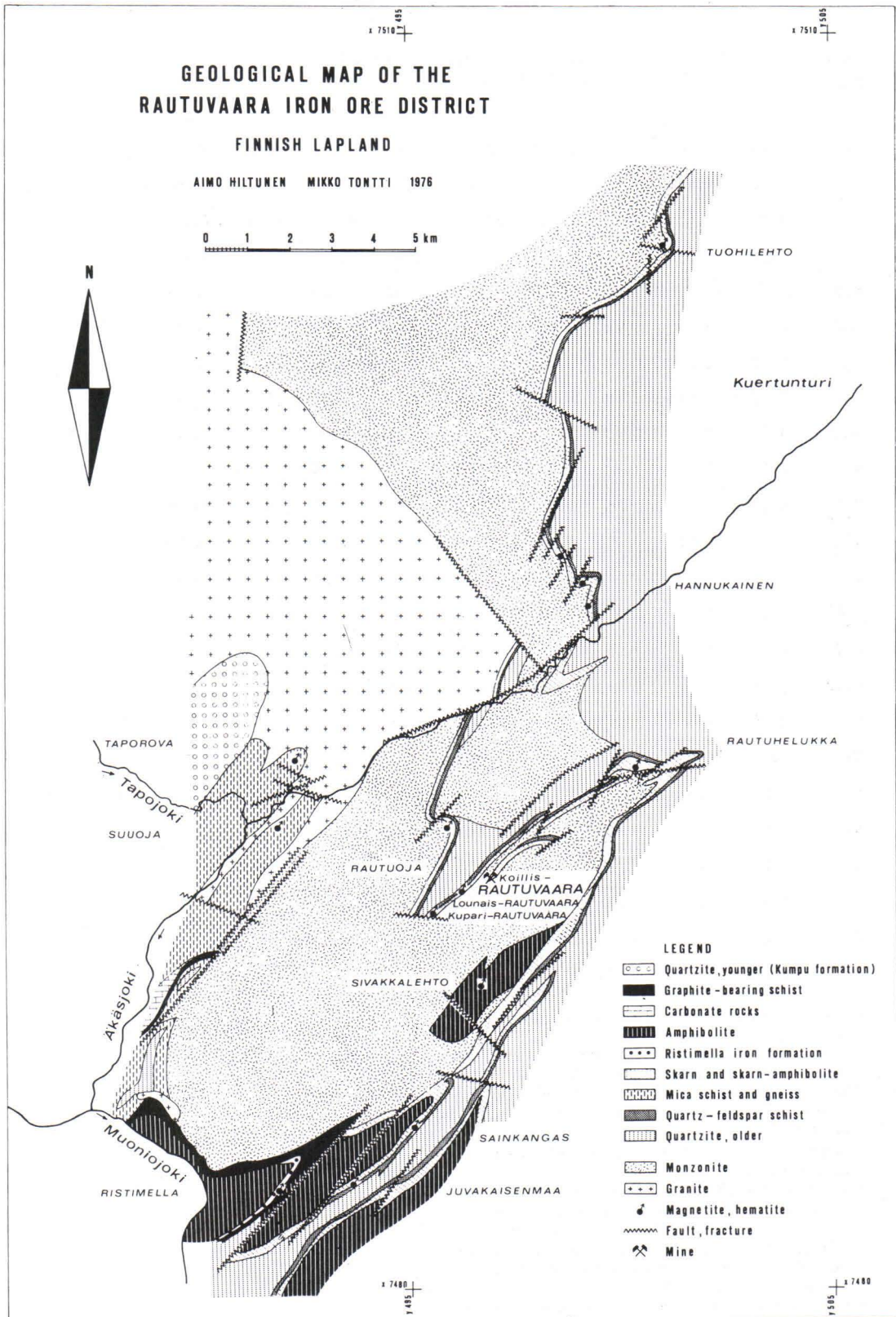
Usein voimakkaasti metamorfoituneihin sedimenttiorisontteihin on tunkeutunut monzoniittisia ja graniittisia intrusiiveja.

Kolarin alueen pohjoisosassa on Taporovalla ja Suuojalla hematiitti- ja magnetiittipirotteisia kiilleliuskeita ja -gneissejä, jotka todennäköisesti kuuluvat vanhempien kvartsiittien päällä olevaan liuskehorisonttiin. Uranäyttestä tehdyn analyysin mukaan on Taporovan mineralisaation rautapitoisuus 29,9 % Fe (taulukko 2, anal. 3). Mangaanipitoisuus on hyvin pieni (0,02 % MnO), samoin fosfori (0,25 % P₂O₅). Baryyttipitoisuudesta johtuu rautamuodostuman korkea barium- (4,75 % Ba) ja rikkipitoisuus (1,06 % S).

Ylempänä kerrosjärjestyksessä tulevat taloudellisesti mielenkiintoiset magneettipitoiset karsi- ja karbonaattikivet. Ne esiintyvät kapeana parinkymmenen kilometrin mittaisena poimuttuneena horisonttina länsipuolelta monzoniitin ja itäpuolelta kiilleliuskeen ja kvartsiitin reunustamana (kuva 12). Karsiorisontin paksuus vaihtelee kymmenestä sataan metriin. Päämineraalit ovat diopsidi, sarvivälke ja skapoliitti. Karsiorisontissa esiintyy 10-30 m paksuina ja noin 50-200 m pitkinä linsseinä magnetiittimalmia Juvakaisenmaalla, Sainkankaalla, Sivakkalehdossa, Rautuhelukassa, Rautuvaarassa, Rautuojalla, Hannukaisessa ja Tuohilehdossa (Hiltunen ja Tontti, 1976). Päämineraali on magnetiitti. Lisäksi esiintyy epäsäännöllisesti magneettikiisua, pyriittiä ja kuparikiisua. Karsimalmien rautapitoisuus vaihtelee huomattavasti, mutta on keskimäärin noin 40-45 % Fe. Mangaanipitoisuus on pieni, korkein arvo on 0,5 % MnO (Rytijänkä). Fosforipitoisuus vaihtelee ollen korkeimmillaan vähän yli 1 % P₂O₅ (Sivakkalehto). Rautamalmien rikkipitoisuus on yleensä alle 5 % S. Titaanipitoisuus on korkeimmillaan 0,5 % Ti (Rytijänkä) ja vanadiini 0,08 % V (Sivakkalehto). Tyyppinäyttestä tehty analyysi on taulukossa 2 (anal. 1).

Karsiorisonttiin liittyy kvartsi-amfiboli-magneittiraitainen rautamuodostuma Ristimellanjärvellä. Rautamuodostuman, jossa amfiboli on kummingtoniittia, keskirautapitoisuus on 26,2 % Fe (taulukko 2, anal. 2).

Kolarin alueen eteläosassa esiintyy vulkaanisia sarvivälkkeestä ja plagioklaasista koostuvia amfiboliitteja, joissa on paikoin tavattu chert-linssejä.



Kuva 12. Kolarin Rautuvaaran alueen geologiaa (Hiltusen ja Tontin mukaan 1976). Rautamuodostumat on merkitty mustin palloin.

Fig. 12. The geology of the Rautuvaara iron ore district in Kolari (after Hiltunen and Tontti 1976). The iron-formations are marked with filled semicircles.

Taulukko 2. Karjalaisten rautamuodostumien kemiallisia koostumuksia.
Table 2. The chemical composition of the Karelian iron-formations.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	17.39	56.44	42.98	74.47	50.99	53.42	59.6	43.26	58.05	
Al ₂ O ₃	2.76	1.65	3.76	0.11	0.06	1.52	5.25	4.15	0.60	
Fe	47.4	26.2	29.9	17.7	33.9	27.3	18.0	24.5	25.5	38.2
Fe ₂ O ₃	42.96	18.63	40.50	25.08	33.95	12.06	25.6		33.80	
FeO	22.33	16.99	1.24	0.18	13.09	24.32	0.04		2.77	
MnO	0.08	0.12	0.02	0.00	0.03	1.81	2.94	0.49	0.01	0.04
MgO	3.67	3.64	0.30	0.09	0.08	3.78	1.39	2.34	0.06	
CaO	5.97	1.03	0.10	0.02	0.44	0.49	0.06	2.51	0.05	
Na ₂ O	0.63	0.22	0.23	0.03	0.02	0.06	0.50		0.03	
K ₂ O	0.06	0.15	1.48	0.02	0.02	0.39	0.73	1.13	0.03	
P ₂ O ₅	0.32	0.10	0.25	0.06	0.47	0.21	0.23	0.87	0.10	0.29
CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.54		0.00	
C							0.58		3.27	
H ₂ O ⁺	0.50	0.81	0.35	0.00	0.45	1.60	1.16			
H ₂ O ⁻	0.38	0.05	0.07	0.01	0.07	0.20				
Li ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
S	3.28	0.02	1.06	0.02	0.00	0.06		7.63		0.03
Ti	960	320	3000	260	200	680		1900	2100	0.08
V	200	20	96	20	20	48		200		600
Ni	150	20	20	20	20	20				
Cr	30	30	130	30	20	30		230		
Co	120	21	20	20	20	20				
Ba	0.0	0.0	4.75	0.0	0.0	0.02				
Sr	0.00	0.00	0.059	0.00	0.00	0.00		0.01		

1. Juvakaisenmaa, Kolari, magnetiittimalmi diopsidikarressa (anal. Gtl)
2. Ristimellanjärvi, Kolari, kvartsi-amfiboli-magnetiittiraitainen rautamuodostuma (anal. Gtl)
3. Taporova, Kolari, hematiittipitoinen kiilleliuske (anal. Gtl)
4. Vuossavaara, Kittilä, rautamuodostuman hematiittifasie (anal. Gtl)
5. Pahtavaara, Kittilä, rautamuodostuman magnetiittifasie (anal. Gtl)
6. Silasselkä, Kittilä, rautamuodostuman silikaatti-karbonaattifasie, kvartsi-minnesotaiitti-magnetiitti-side-riitti-raitainen rautamuodostuma (anal. Gtl)
7. Paljukka, Kittilä, rautamuodostuman silikaatti-karbonaattifasie, kvartsi-götiitti-kloriittiraitainen rautamuodostuma (anal. VTT)
8. Säynäjävuona, Kittilä, rautamuodostuman sulfidifasie, magneetti-kisupitoinen grafiittiliuske (anal. RR)
9. Jauratsi, Pelkosenniemi, grafiittipitoinen kvartsi-gryneriitti-magnetiittiraitainen rautamuodostuma (anal. RR, Rieck 1967, s. 50)
10. Jauratsi, Pelkosenniemi, kvartsi-hematiitti-götiittiraitainen rautamuodostuma (anal. RR, Rieck 1967, s. 51)

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂		39.3	56.53	22.18	13.74	15.47	46.88	44.73	49.5	53.9	40.78
Al ₂ O ₃		12.9	1.46	0.71	0.42	6.90	4.34	2.71	4.30	2.18	0.71
Fe	45.0	27.7	18.7	52.1	57.4	47.85	30.13	28.74	26.94	25.03	30.51
Fe ₂ O ₃			4.75	45.83	56.54	67.40			6.78	19.6	16.09
FeO			19.88	25.82	23.13	0.86			28.5	14.5	24.77
MnO	0.05	0.26	0.14	0.05	0.03	0.02	0.25	0.83	0.50	0.48	0.08
MgO		2.68	1.56	3.09	3.48	1.63	2.43	2.02	10.3	2.12	3.78
CaO		2.1	1.99	0.96	0.66	1.26	2.86	3.98	1.99	1.21	4.12
Na ₂ O			0.21	0.14	0.18	0.05			0.09	0.84	0.10
K ₂ O			0.57	0.15	0.12	2.70		0.16	0.15	0.07	0.12
P ₂ O ₅	0.0	0.60	1.06	0.18	0.32	0.90	2.00	1.24		1.19	2.82
CO ₂			6.97			0.00	0.00		0.06	0.84	2.63
C			1.14								
H ₂ O ⁺			1.59	0.56	0.88	0.72			0.54	2.13	1.86
H ₂ O ⁻			0.01	0.07		0.18					0.06
Li ₂ O			0.00								
S	3.30	0.04	1.80			0.01	2.10	0.16		0.15	1.02
Ti	3200	2500	1300	1200	800	4200	1300	1000		700	410
V	1400	300	88			340	200	200		200	
Ni	343		64								
Cr	280		85					100		120	
Co	103		25								
Ba	0.00		0.02								
Sr	0.00		0.00					0.00		0.00	

11. Rauhavaara, Pelkosenniemi, kvartsi-magneiittiraitainen rautamuodostuma (anal. RR, Hiltunen 1970)
12. Suonna, Posio, hematiittipitoinen serisiittiliuske (anal. RR)
13. Aapajoki, Karunki, grafiittipitoinen kvartsi-sideriittimagneiittiraitainen rautamuodostuma (anal. Gtl)
14. Vähäjoki, Tervola, magneiittimalmi tremoliittikarressa (A. Mikkola 1947, s. 276)
15. Vähäjoki, Tervola, magneiittimalmi dolomiitissa (A. Mikkola 1947, s. 276)
16. Valkeavaara, kairasydän (Hyvärinen ja Siikarla 1971)
17. Tuomivaara, kairasydän (Makkonen 1972)
18. Hiisivaara, uranäyte (anal. VTT ja RR)
19. Liskukangas, uranäyte (anal. VTT ja RR)
20. Poskimäki, uranäyte (anal. VTT ja RR)
21. Väyrylänkylä (Laajoki 1975 (kirjoitettu tiedonanto, 3:n anal. keskiarvo, anal. Saikkonen)

Kittilä

Keski-Lapin graniittimassiivin pohjoispuolen kivilajit E. Mikkola (1941) on jakanut kolmeen stratigrafiseen yksikköön, jotka ovat vanhimmasta nuorimpaan: 1) graniittigneissikompleksi, 2) Lapponium ja 3) Kumpu-Oraniemi-sarja. Lapponium, joka on kerrostunut diskordantisti graniittigneissikompleksin päälle, koostuu kvartsiiteista, kiilleliuskeista, emäksisistä vulkaniiteista ja niihin liittyvistä rautamuodostuma- ja chert-horisonteista, mustaliuskeista ja karbonaattikivistä. Lapponiumin päällä ovat Kumpu-Oraniemi-sarjan karkearakeiset kvartsiitit ja konglomeraatit.

Lapponisten pohjakvartsiittien ja vaaleiden kiilleliuskeiden päällä on emäksisiä vulkaniitteja, jotka muodostavat laajan ns. Kittilän vihreäkivialueen. Alueella, jonka oletetaan olevan emäksisillä vulkaniiteilla täyttynyt allas, esiintyy kymmenien kilometrien mittaisia, epäyhtenäisiä rautamuodostuma- ja chert-horisontteja (kuva 13). Rautamuodostumissa voidaan kemiallisen ja mineralogisen koostumuksen sekä sivukiviassosiaation perusteella erottaa neljä fasiesta: hematiitti-, magnetiitti-, silikaatti-karbonaatti- ja sulfidifasies. Yksinkertaistetussa allasprofiilissa sijaitsee hematiittifasies lähellä altaan reunaa hapettava ympäristössä ja sulfidifasies altaan syvemmissä osissa pelkistävässä olosuhteissa.

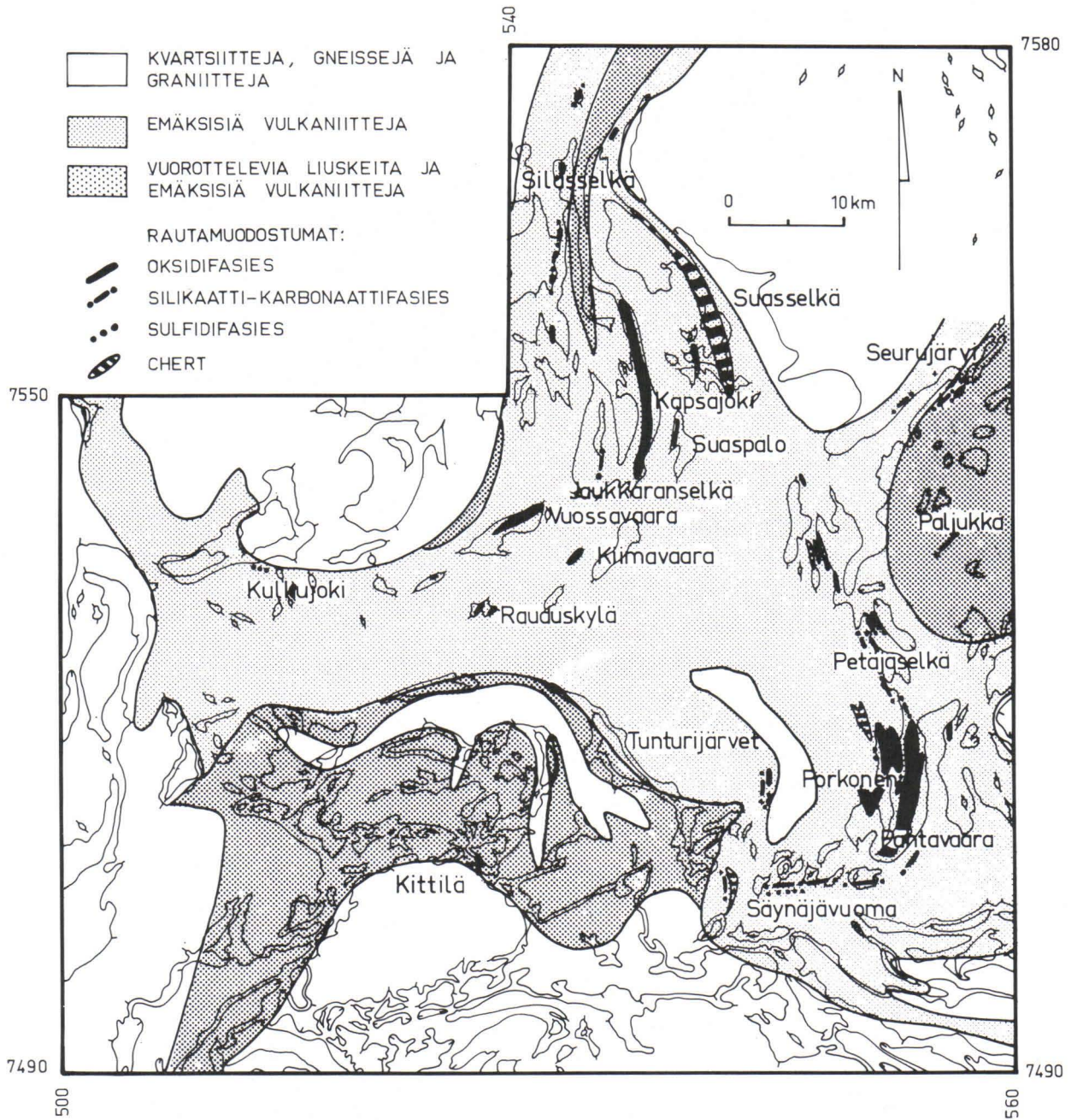
Hematiittifasieksen rautamuodostumat ovat tiivistä, tiilenpunaista kiveä, joka koostuu lähes yksinomaan hyvin hienorakeisesta kvartsista ja hematiitista. Hematiitti esiintyy pölymäisenä pigmenttinä, hienorakeisena pirotteena tai karkeampina juoniina (kuva 14). Magnetiittia esiintyy vähäisessä määrin harvana pirotteena tai joskus hienorakeisina raitoina punaisessa chertissä. Lisäksi on aksessorisina mineraaleina tavattu kloriittia, minnesotaiittia, sideriittia ja apatiittia.

Hematiittifasiesta edustavien rautamuodostumien rautapitoisuus on yleensä 15-20 % Fe (taulukko 2, anal. 4) usein allekin, jolloin rautamuodostuma vaihtuu chertiksi. Rautamuodostumahorisontit, jotka koostuvat lukuisista 2-10 m leveistä ja 20-200 m pitkistä linsseistä, sijaitsevat emäksisissä laavakivissä, joissa voi usein havaita tyynylaava- tai agglomeraattirakennetta. Fragmentteina on tällöin rautamuodostumaa ja erilaisia emäksisiä vulkaniitteja. Hematiittifasieksen rautamuodostumia ja cherttejä tavataan ainoastaan vihreäkivialueen luoteisosassa Rauduskylässä, Vuossavaarassa, Kiimavaarassa, Kapsajoella ja Suaspalossa.

Vihreäkivialueen kaakkoisosassa Porkosen-Pahtavaaran alueella esiintyy selvästi raitaisia, *magnetiittifasiesta* edustavia rautamuodostumia, joissa usean millimetrin paksuiset magnetiittiraidat vuorottelevat vaaleanharmaiden chert-raitojen kanssa. Chert-raidat sisältävät hyvin hienorakeisen (\varnothing 0,03 mm) kvartsin lisäksi vähän magnetiittia, götiittia, minnesotaiittia, grafiittia ja apatiittia (kuva 15).

Magnetiittirautamuodostumien rautapitoisuus vaihtelee välillä 15-35 % Fe. Mangaanipitoisuus on yleensä alle 0,1 MnO. Fosforipitoisuus on suhteellisen korkea (0,4-0,7 % P_2O_5). Rikkipitoisuus on alle 0,1 % S ja Ti- ja V-pitoisuudet hyvin pieniä (taulukko 2, anal. 5).

Magnetiittifasieksen rautamuodostumat esiintyvät muutamasta metristä kymmeneen metreihiin paksuina ja 10-500 m pitkinä linsseinä emäksisissä laavakivissä tai tuffiiteissa. Tuffiitit ovat joko hienorakeisia fylliittimäisiä tai karkeampia grauvalkamaisia kiviä, jotka koostuvat pääasiassa kloriitista, albiitista, kvartsista, karbonaateista ja kiilleistä (Paakkola, 1971). Pohjoiseen Porkosen-Pahtavaaran alueelta, Petäjälässä ja Suasselässä vaihettuvat magnetiittiraitaiset rautamuodostumat harmaiksi grafiitti- ja gryneriittipitoisiksi cherteiksi.

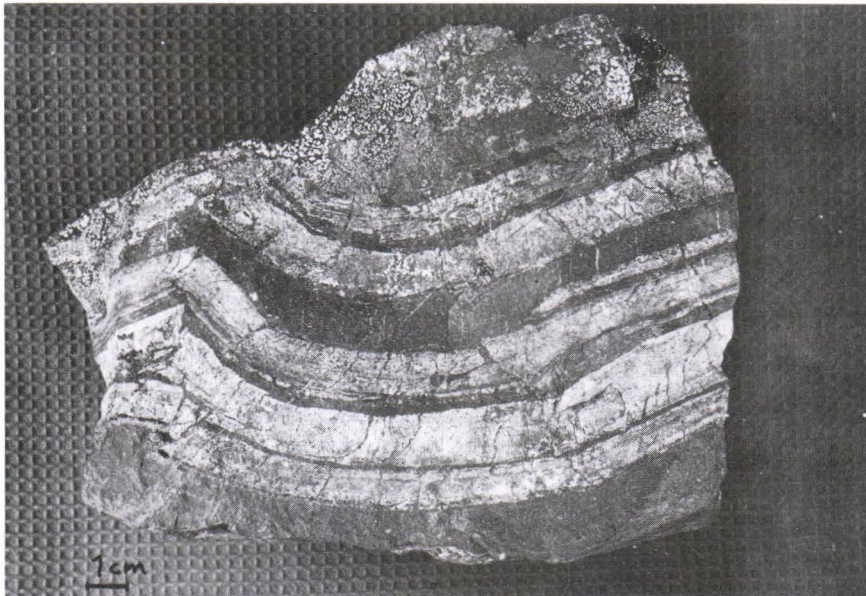


Kuva 13. Kittilän alueen rautamuodostumat. E. Mikkolan (1937) mukaan yksinkertaistetun geologisen kartan alla aeromagneettisen kartan sama-arvokäyrät 5500 ja 6000 r.
 Fig. 13. The iron-formations of the Kittilä region. Geological map simplified after E. Mikkola, 1937. Combined with the aeromagnetic map, contours 5500 and 6000 r.



Kuva 14. Rautamuodostuman hematiittifasies, Vuossavaara, Kittilä. Musta on hematiittia ja vaalea kvartsia. Huomaa munuaismaiset geelirakenteet (esim. kuvan vasemmassa reunassa). Ohuthie, 4 x suurennos.

Fig. 14. Hematite facies of iron-formation, Vuossavaara, Kittilä. Black hematite, white quartz. Note the kidney-like texture (e.g. in the left corner of the picture). Thin section, without microscope, magnification about 4 x.



Kuva 15. Rautamuodostuman magnetiittifasies, Pahtavaara, Kittilä. Musta on magnetiittia ja vaalea kvartsia.

Fig. 15. Magnetite facies of iron-formation, Pahtavaara, Kittilä. Black magnetite, white quartz.



Kuva 16. Rautamuodostuman silikaatti-karbonaattifacies, Ranta-Mäntypää, Kittilä, Götiitin (musta) ja sideriitin (tummanharmaa) breksioima chert-raita (kuvan yläosa) rajoittuu sideriitistä, kloriitista, muskoviitista ja grafiitista koostuvaan raitaan. Ohut-hie, n. 4 x suurennos.

Fig. 16. Silicate-carbonate facies of iron-formation, Ranta-Mäntypää, Kittilä. Bands of chert (upper part of the picture) brecciated by goethite (black) and siderite (grey) intercalate with bands composed of siderite, chlorite, muscovite and graphite. Thin section, without microscope, magnification about 4 x.



Kuva 17. Rautamuodostuman sulfidifacies, Säynäjävuoma, Kittilä. Magneettikiisu (vaalea) breksioi kiisupiroitteista mustaliusketta. Luonnollinen koko.

Fig. 17. Sulphide facies of iron-formation, Säynäjävuoma, Kittilä. Black schist impregnated with iron sulphides and brecciated by pyrrhotite (grey). Natural size.

Kittilän rautamuodostumissa ei ole pystytty selvästi erottamaan Jamesin (1954) fasiesjaottelun mukaisesti silikaatti- ja karbonaattifasiesta erikseen. Rautamuodostumat, joista hematitiitti puuttuu ja joissa magnetiittia on hyvin vähän verrattuna silikaatteihin (kloriitti, minnesotaiitti, gryneriitti) ja sideriittiin, luetaan kuuluviksi *silikaatti-karbonaattifasiekseen*. Tämän fasieksen rautamuodostumat ovat useimmiten raitaisia vaaleiden chert-raitojen vuorotellessa sideriitistä, götiitistä, ja/tai eri rautasilikaateista koostuvien raitojen kanssa (kuva 16). Sideriitti on paikoin mangaanipitoista, jolloin koko rautamuodostuman mangaanipitoisuus voi kohota noin 5 prosenttiin, korkeimmillaan 15 prosenttiin Mn (Silmänpaistama) ja rautapitoisuus 25 prosenttiin Fe. Fosforipitoisuus vaihtelee, mutta on yleensä alle 0,5 % P_2O_5 . Titaani- ja vanadiinipitoisuudet ovat edellisiin tyyppeihin verrattuna jonkin verran korkeampia. Kaksi tyyppianalyysiä on esitetty taulukossa 2 (anal. 6 ja 7).

Silikaatti-karbonaattifasieksen rautamuodostumat esiintyvät 5-50 m leveinä ja 100-800 m pitkinä linsseinä emäksisissä tuffiiteissa vihreäkivialueen etelä-, itä- ja pohjoisosassa (Tunturijärvet, Säynäjävuoma, Silmänpaistama, Petäjäselkä, Paljukka, Tieva, Seurujärvi, Kuortisoja, Jaukkaranselkä ja Silasselkä).

Vihreäkivialueen eteläreunalla esiintyy magneettikiisupitoisia grafiittirikkaita liuskeita, jotka edustavat rautamuodostuman *sulfidifasiesta*. Magneettikiisu ja vähemmässä määrin pyriitti esiintyvät kivessä hienona pirotteena ja breksioivana aineksena (kuva 17). Jalompia sulfideja ei rautamuodostumissa ole tavattu. Rautapitoisuus voi nousta yli 30 % Fe. Mangaanipitoisuus on alle 0,5 % MnO ja fosforipitoisuus vähän alle 1 % P_2O_5 . Titaani- ja vanadiinipitoisuus on suhteellisen korkea (taulukko 2, anal 8).

Sulfidifasieksen rautamuodostumien sivukivi on grafiitti- tai tuffiittiliuske, joka vuorostaan esiintyy välikerroksina emäksisissä laavakivissä. Sulfidifasiesta tavataan vihreäkivialueen etelä- ja länsiosassa Säynäjävuomassa, Tunturijärvillä ja Kulkujoella.

Rautamuodostumafasiesten jakautumisesta Kittilän vihreäkivialueella voi yleisesti todeta hematitiittifasieksen sijoittuvan todennäköisesti aktiivisen vulkaanisen toiminnan läheisyyteen (vulkaaniset breksiat, agglomeraatit ja tyynytaavat) luoteessa ja silikaatti-karbonaatti- sekä sulfidifasieksen rauhallisempaan sedimentoitumisympäristöön (tummat liuskeet) etelässä. Emäksisten vulkaniittien päällä olevissa grauvakoissa ja Kumpu-Oraniemi-sarjan konglomeraateissa on yleisesti magnetiittipirotteita, mutta rautapitoisuus nousee hyvin harvoin rautamuodostuman tasolle. Kumpukvartsiiteissa on lisäksi hematitiittia pirotteena ja kompakteina juonina.

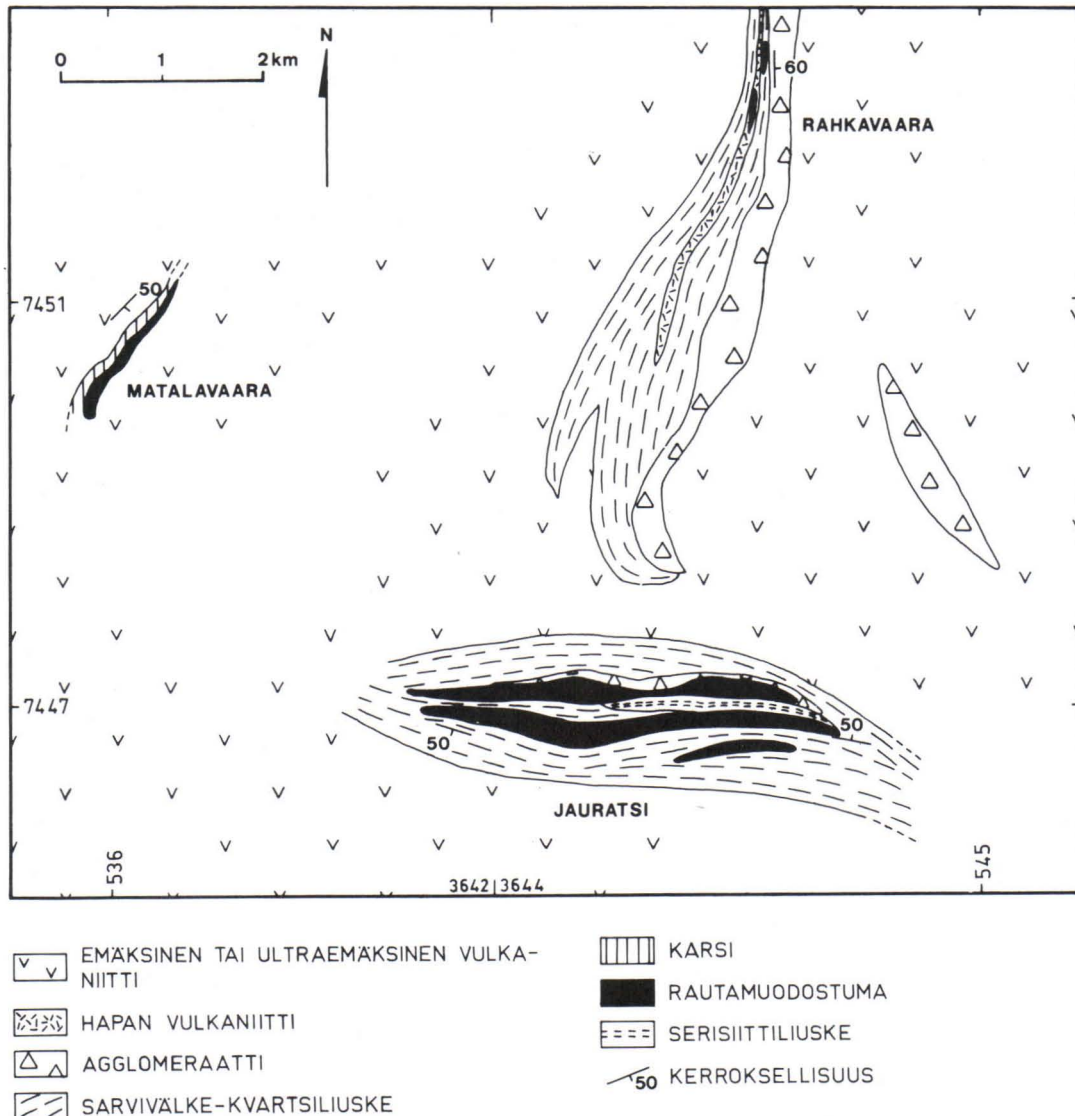
Sodankylä

Keski-Lapin graniittimassiivin koillislaidalla sijaitsevalla Sodankylän liuskealueella ei ole tavattu kemiallissyntyisiä rautamuodostumia. Tummissa liuskeissa on kuitenkin paikoin runsaasti magneettikiisua, jolloin näiden liuskeiden voidaan ajatella edustavan rautamuodostuman sulfidifasiesta. Rautaa esiintyy yleisimmin magnetiittipirotteena alueen emäksisissä tai ultraemäksisissä vulkaniiteissa (Visasaari ja Outolampi). Projekti on tarkistanut mineralisaatioiden aiheuttamat magneettiset anomaliat horisonttisidonnaisten rautamalmien esiintymistodennäköisyyden vuoksi.

Pelkosenniemi-Salla

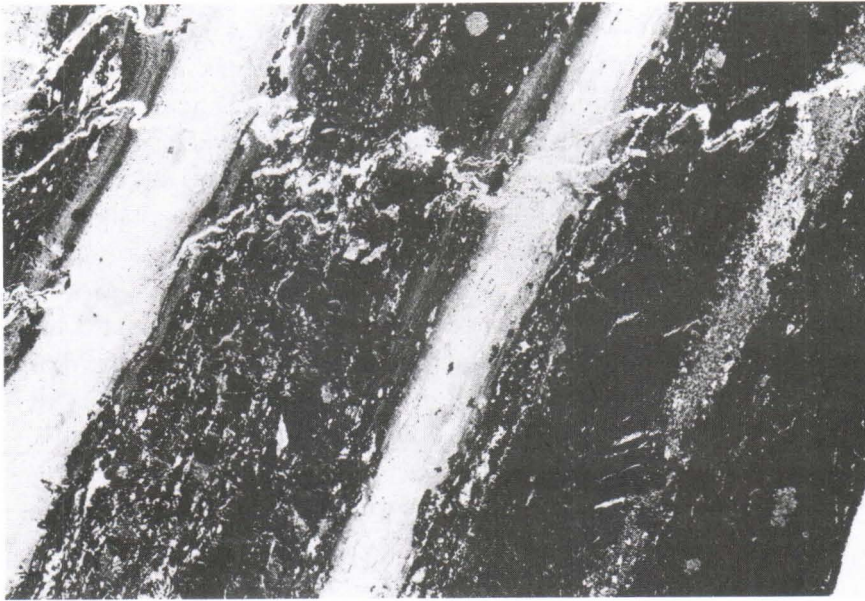
Alue sijaitsee Kolari-Kittilä-Sodankylä -suprakrustaalijakson kaakkoispäässä graniitigneissikompleksin ja Keski-Lapin graniittimassiivin yhtymäkohdassa. Suprakrustaalisarja alkaa alueella kvartsiiteilla ja kvartsi-albiittikivillä. Ylempänä kerrosjärjestyksessä on vulkaanisia amfiboliitteja, joihin liittyy hienorakeisia, runsaasti sarvivälkettä sisältäviä tummia kvartsi-maasälpäliuskeita. Tummat liuskeet sisältävät välikerroksina kalkkikiveä, karsikiveä, grafiittiliuskeita ja rautamuodostumaa. Niiden päälle tulee todennäköisesti ultraemäksistä vulkaniittia.

Ultraemäksisen vulkaniitin ja tremoliitti-aktinoliitista, kvartsista, karbonaatista ja biotiitista koostuvan karren välissä on Matalavaarassa, Pelkosenniemen kirkolta noin 15 km



Kuva 18. Pelkosenniemen alueen rautamuodostumat (Rieckin, 1967 ja Rautaruukki Oy:n havaintomateriaalin mukaan).

Fig. 18. The iron-formation in Pelkosenniemi region (after Rieck, 1967 and the material from the Rautaruukki Company).



Kuva 19. Rautamuodostuma, Jauratsi, Pelkosenniemi. Vaaleat chert-raidot vuorottelevat tummien grafiitista, gryneriitistä, magnetiitista ja granaattiporfyroblastista koostuvien raitojen kanssa. Ohuthie, n. 4 x suurennos.

Fig. 19. Iron-formation, Jauratsi, Pelkosenniemi. Bands of chert (white) intercalate with dark bands composed of graphite, grunerite, magnetite and porphyroblasts of garnet. Thin section, without microscope, magnification about 4 x.

koilliseen, hiekaksi rapautunutta kvartsi-götiitti-rautamuodostumaa 50-70 metrin paksuisena kerroksena (kuva 18). Siitä noin 5 km kaakkoon on Jauratsilla sarvivälke-kvartsi-liuskeen ja osittain karsiutuneen ja breksioituneen karbonaattipitoisen kiven välissä noin 5 km pitkä ja 200-700 m leveä kvartsi-götiitti- ja kvartsi-magnetiitti-gryneriittiraitainen rautamuodostumahorisontti. Raitaisuuden aiheuttaa 1-10 mm:n paksuisten gryneriitistä, magnetiitista ja grafiitista koostuvien raitojen ja saman vahvuisten vaaleiden chert-raitojen vuorottelu (kuva 19). Gryneriitin lisäksi on rautamuodostumassa tavattu granaattia, oliviinia ja Al-rikkaita mineraaleja. Jauratsilta noin 6 km pohjoiseen on Rahkavaarassa sarvivälke-kvartsiliuskeessa todennäköisesti happamaan vulkaniittiin läheisesti liittyviä, alle kymmenen metrin paksuisia kvartsi-magnetiittiraitaisia, paikoin magneettikiisupitoisia rautamuodostumalinssejä.

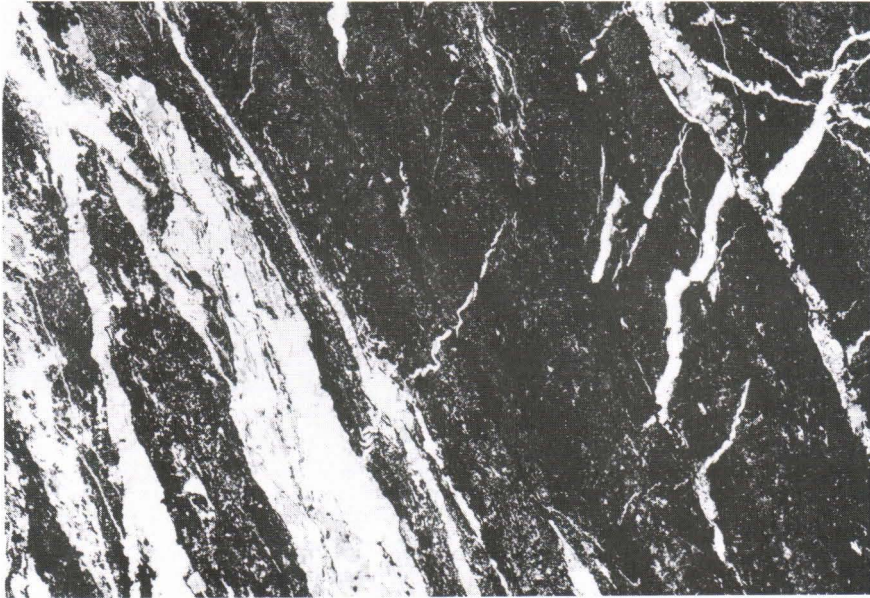
Matalavaaran kvartsi-götiitihiekan keskimääräinen rautapitoisuus jää alle 15 %:n Fe. Jauratsin kvartsi-gryneriitti-magnetiitti-raitaisen rautamuodostuman rautapitoisuus vaihtelee ollen keskimäärin 20 % Fe. Mangaanipitoisuus on hyvin pieni (0,02-0,05 % MnO), mutta fosforipitoisuus saattaa nousta 2,4 prosenttiin P_2O_5 . Grafiittipitoisuus on suhteellisen korkea (3,3 % C), mutta rikkipitoisuus pieni (0,06 % S). Jauratsin kvartsi-hematiitti-götiitti-raitaisen rautamuodostuman keskimääräinen rautapitoisuus on noin 20 % Fe. Mangaani- ja fosforipitoisuudet ovat pieniä (0,04 % MnO ja 0,29 % P_2O_5). Rahkavaaran kvartsi-magnetiittiraitaisen rautamuodostuman rautapitoisuus on noin 45 % Fe, rikkipitoisuus on suhteellisen korkea (3,3 % S), samoin Ti- ja V-pitoisuus. Tyyppinäytteiden kemiallinen koostumus on taulukossa 2 (anal. 9, 10 ja 11).

Pelkosenniemen rautamuodostumien kanssa vastaavassa stratigrafisessa asemassa ultraemäksisen vulkaniitin alla esiintyy Sallan Tuohivaarassa sideriitti-, götiitti-, grafiitti- ja kloriittipitoisia chert-linssejä grafiittiliuskeessa.



Kuva 20. Hematiitti- ja magneettipitoista serisiittiliusketta, Suonna, Posio. Vaaleat liistakkeet ovat hematiittia, tummempi porfyroblasti on magnetiittia. Pintahie, n. 50 x.

Fig. 20. Sericite schist impregnated with hematite (white laths) and magnetite (darker). Polished section, magnification about 50 x.



Kuva 21. Rautamuodostuma, Aapajoki, Karunki. Tummat sideriitistä, graniitista, gryneriitistä ja ohuista magnetiitti-magneettikiisunauhoista koostuvat raidat vuorottelevat vaaleiden kvartsista, sideriitistä ja apatiitista koostuvien raitojen kanssa. Ohuthie, n. 4 x suurennus.

Fig. 21. Iron-formation, Aapajoki, Karunki. Light bands consisting of quartz, siderite and apatite intercalate with dark bands composed of siderite, graphite and grunerite. The dark bands contain thin bands of magnetite-pyrrhotite (black). Thin section, without microscope, magnification about 4 x.

Kuusamo

Kuusamon suprakrustaalialueen stratigrafia alkaa konglomeraattisella pohjamuodostumalla tai suoraan prekarjalaisen graniittigneissikompleksin päälle kerrostuneella vulkaniit-tibreksiällä, joka ylöspäin muuttuu homogeeniseksi laavaksi. Laavapatjojen päällä on arkoosikonglomeraatteja, arkoosikvartsiitteja ja serisiittiliuskeita (Piispanen, 1972, Silvennoinen, 1972). Serisiittiliuskeissa on Posion Suonnassa tiheää hematiittipiroetta epäselvinä kerroksina ja magnetiittia harvana karkeana pirotteena (kuva 20). Serisiittiliuskeen rautapitoisuus on keskimäärin 28 % Fe, mangaanipitoisuus on 0,3 % MnO ja fosforipitoisuus 0,6 % P₂O₅ (taulukko 2, anal. 12). Noin 20 km pitkässä ja NE-SW-suuntaisessa serisiittiliuskejaksossa häviää hematiitti magnetiitin määrän pysyessä suunnilleen ennallaan siirryttäessä lounaaseen Niskavaaraan ja Laivajärvelle. Serisiittiliuskehorisontin päälle tulee kerrossarjassa merijatulia vastaavia fylliittejä ja karbonaattikiviä sekä emäksisiä vulkaniitteja (Piispanen, 1972). Päälimmäisenä stratografiassa on todennäköisesti Kalevaa vastaavia kvartsiitteja ja konglomeraatteja. Näissä ei ole tavattu rautamuodostumia.

Peräpohja

Kemin ja Rovaniemen välissä kulkee pääasiassa E-W-suuntainen suprakrustaalijakso, jota tässä yhteydessä nimitetään Peräpohjan alueeksi. Suprakrustaalisarja alkaa paikoin konglomeraattisella pohjamuodostumalla. Tavallisesti kuitenkin prekarjalaisen graniittigneissikompleksin päällä on intermediaarista tuffiittia tai klastista ortokvartsiittia (Perttunen, suullinen tiedonanto, 1972). Kvartsiittien päällä niiden kanssa vaihdellen on emäksistä mantelikiivilaavaa. Ylempänä kerrosjärjestyksessä on tuffiittia, dolomiittia ja mustaliusketta. Tässä sedimenttisarjassa on tavattu kvartsiraitaista rautamuodostumaa Karungin Aapajoella ja karsimalmia Tervolan Vähäjoella. Aapajoen grafiittipitoisessa fylliitissä sijaitseva rautamuodostuma koostuu muutaman millimetrin paksuisista vaaleista chert-raidoista, jotka vuorottelevat tumman harmaiden sideriittistä, grafiitista, magnetiitista, gryneriitistä ja kvartsisista koostuvien raitojen kanssa (kuva 21). Rautamuodostuman keskimääräinen rautapitoisuus on 19,2 % Fe. Rikin ja fosforin määrät ovat suhteellisen korkeita, korkein tavattu rikkipitoisuus on 4,0 % S ja korkein fosforipitoisuus on 2,3 % P₂O₅ (Airas, 1971). Mangaanipitoisuus on alle 0,8 % MnO (tyyppianalyysi taulukossa 2, anal. 13).

Dolomiitin ja kiilleliuskeen välissä on Vähäjoella tumman vihreässä, karkearakeisessa tremoliittikarressa magnetiittipiroetta. Magnetiitin lisäksi tavataan myös vähän muita oksideja (ilmeniittiä, hematiittia ja götiittiä) sekä jonkin verran kiisuja (Vornanen, 1963). Rautamuodostuman rautapitoisuus on keskimäärin 25-35 % Fe, mutta saattaa paikoin nousta yli 50 %:n. Karsimalmin mangaanipitoisuus on pieni (0,05 % MnO), samoin fosforipitoisuus (0,18 % P₂O₅, taulukko 2, anal. 14).

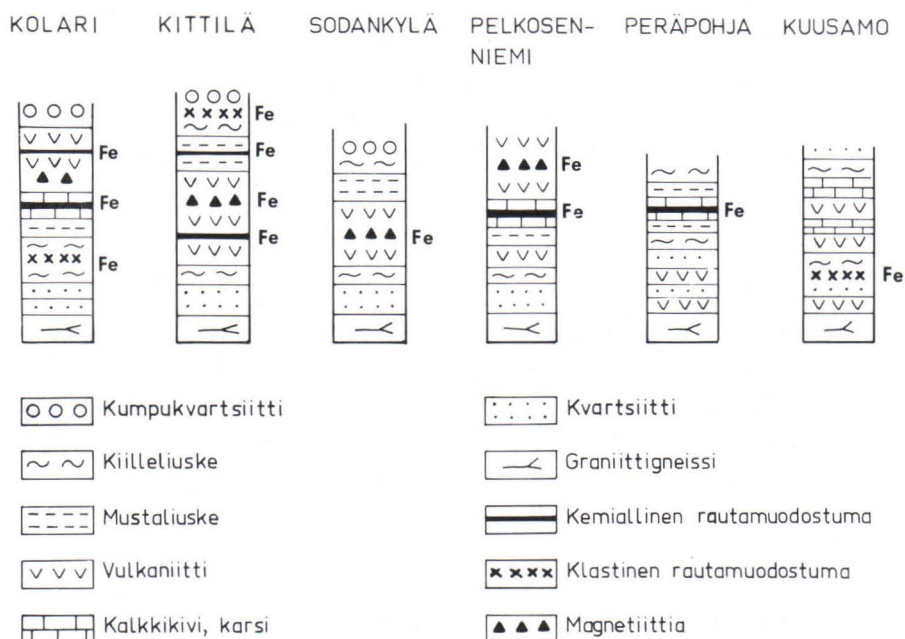
Yhteenveto

Pohjois-Suomen karjalaiset (proterotsooiset) rautamuodostumat esiintyvät eri suprakrustaalialueilla vaihtelevassa geologisessa ympäristössä, Kolarin rautamuodostumat sijaitsevat kolmessa eri horisontissa, pohjakvartsiittien päällä olevissa kiilleliuskeissa (Taporova), ylempänä karsikivissä (jakso Juvakaisenmaa—Rautuvaara—Hannukainen) ja emäksisissä vulkaniiteissa. Rautamuodostumien väliset erot johtunevat siitä, että nämä muodostumat ovat syntyneet eri osissa sedimentaatioallasta erilaisessa ympäristössä pääosin kuitenkin

samanaikaisesti. Kittilän kemiallissyntyiset rautamuodostumat sijaitsevat kvartsiittien ja liuskeiden päällä olevissa emäksisissä vulkaniiteissa ja niihin liittyvissä tuffiiteissa ja mustaliuskeissa. Rautamuodostumien sivukiven säännöllinen vaihtelu johtuu sedimentaatioaltaan vähittäisestä syvenemisestä ja samanaikaisista vulkaanisen toiminnan muutoksista. Klastiset rautamuodostumat esiintyvät vulkaniitteja nuoremmissa grauvakoissa, kvartsiiteissa ja konglomeraateissa. Sodankylän alueella ei ole tavattu sedimentaarisia rautamuodostumia. Rauta on pääasiassa magnetiittipirotteena emäksisissä vulkaniiteissa. Pelkosenniemen-Sallan alueen kemialliset rautamuodostumat esiintyvät tuffiliuske-mustaliuske-karsikivihorisontissa, joka sijoittuu stratigrafiassa emäksisten ja ultraemäksisten vulkaniittien väliin. Kuusamon alueella on tavattu vain klastisia rautamuodostumia alimmassa serisiittikvartsiiteissa ja -liuskeissa. Peräpohjan alueella on kemiallisia rautamuodostumia fylliitissä, mustaliuskeissa ja dolomiitissa. Nämä kivilajit sijaitsevat stratigrafiassa vuorottelevista kvartsiiteista ja emäksisistä vulkaniiteista koostuvan sarjan päällä (kuva 22).

Itä-Suomi

Itä-Suomen karjalaiset (proterotsooiset) rautamuodostumat sijaitsevat selvästi tunnistettavassa stratigrafisessa horisontissa, merijatulin dolomiittien ja mustaliuskeiden yhteydessä. Nämä rautamuodostumat ovat kemiallisia sedimenttejä lukuunottamatta Kivesvaaran magnetiittipitoista konglomeraattia, joka stratigrafisesti sijaitsee merijatulin sedimenttien alapuolella. Karjalaisista rautamuodostumista on seitsemän Kainuun liuskealueella, kaksi Pohjois-Karjalan alueella sekä yksi Ylikiiimingin Vepsässä.



Kuva 22. Rautamuodostumahorisonttien sijainti Pohjois-Suomen eri osissa yksinkertaisten stratigrafisten pylväiden avulla esitettynä.

Fig. 22. Simplified stratigraphical columns with horizons of iron-formation in different parts of northern Finland.

Kemiallissyntyisistä rautamuodostumista voidaan erottaa kaksi tyyppiä: 1) lähes kompakti hematiittityyppi, 2) kvartsiraitainen tyyppi. Edelliseen kuuluvat Pohjois-Karjalan esiintymät (Valkeavaara ja Viistola) ja jälkimmäiseen Kainuun liuskealueen ja Vepsän esiintymät. Hematiittityypissä vaihtelevat kiillerikkaat ja joitakin kvartsirakeita sisältävät kerrokset lähes kompaktien hematiittikerrosten kanssa. Valkeavaarassa on totaaliirautaa n. 48 %; Al_2O_3 - (6,9 %) ja K_2O -pitoisuus (2,7 %) ovat korkeat verrattuna muihin karjalaisiin ja useimpiin prekarjalaisiin rautamuodostumiin. P_2O_5 -pitoisuus (0,9 %) on korkea verrattuna useimpiin prekarjalaisiin rautamuodostumiin, mutta samaa suuruusluokkaa kuin muissa karjalaisissa rautamuodostumissa. Ti-pitoisuus (4200 ppm) on korkein Itä-Suomen alueen rautamuodostumissa (taulukko 2, anal. 16).

Kvartsiraitaisten rautamuodostumien raitojen paksuus vaihtelee muutamasta millimetristä muutamaan senttimetriin. Kvartsiraidat ovat tavallisesti mikroraitaisia. Päämineraalit ovat kvartsi, gryneriitti, Fe-sarvivälke, granaatti ja grafiitti. Lisäksi esiintyy biotiittia, sideriittia, götiittia sekä magnetiittia, joka paikoin esiintyy myös päämineraalina. Apatiitti on yleinen aksessorisena ja joissakin kerroksissa sitä on suhteellisen paljon. Pieni rikki- ja magneettikiisupiroitteisuus on tavanomaista. Amfibolit esiintyvät usein muutaman senttimetrin suuruisina aurinkoina ja lyhteinä. Gryneriitti on grafiittipigmentin vuoksi toisinaan hyvin tummaa. Granaatti on almandiinia ja se esiintyy yleensä 0,5-1 cm:n suuruisina porfyblasteina, joiden ympärillä on usein ohut kehä amfibolia tai biotiittia.

Kvartsiraitaisen tyyppin totaaliirautapitoisuus vaihtelee yleensä 20-30 % välillä riippumatta siitä, onko rauta oksidina vai silikaattina. Al_2O_3 -pitoisuus on n. 2-4,5 % paitsi Väyrylänkylässä, missä se on alle 1 %. CaO- ja MgO-pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin prekarjalaisissa rautamuodostumissa eli 1-4 %. Na_2O - ja K_2O -pitoisuudet ovat noin 0,1 %, ja MnO-pitoisuus n. 0,1-0,5 %. Rikkipitoisuus vaihtelee alle 1 %:sta pariin prosenttiin. Prekarjalaisista rautamuodostumista poiketen on P_2O_5 -pitoisuus korkeahko, n. 1-3 %. Grafiittipitoisuus vaihtelee yhdestä prosentista muutamaan prosenttiin.

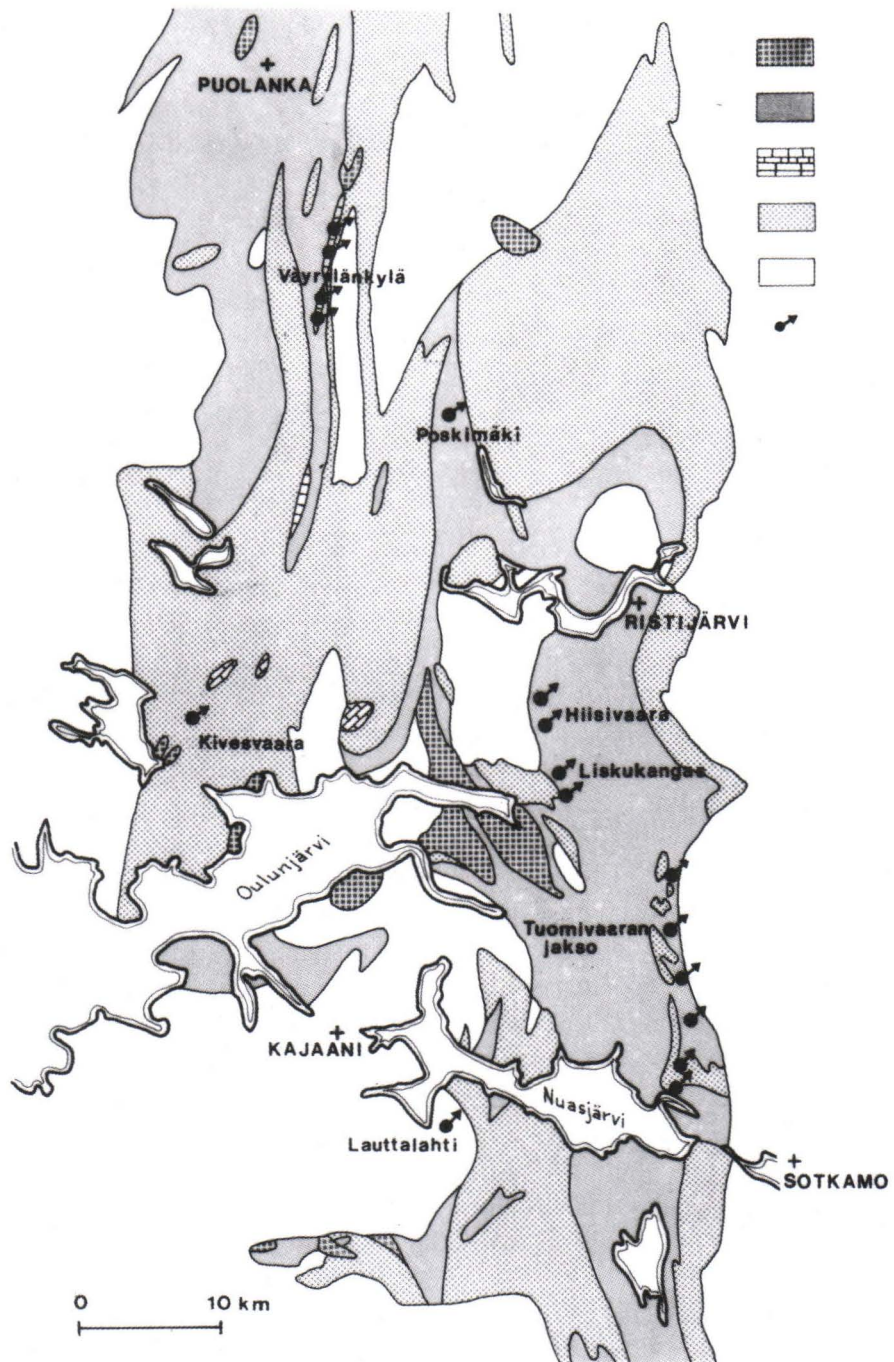
Karjalaiset kvartsiraitaiset rautamuodostumat ovat kooltaan melko mittavia. Niiden paksuus saattaa olla useita kymmeniä metrejä ja pituus useita kilometrejä. Valitettavasti rauta on suurimmaksi osaksi sitoutuneena silikaattimineraaleihin. Karjalaiset rautamuodostumat eroavat prekarjalaisista lähinnä korkean grafiitti- ja apatiittipitoisuutensa vuoksi.

Pohjois-Karjalan alue

Pohjois-Karjalan alueen hematiittityyppiset Viistolan ja Valkeavaaran esiintymät on tavoitettu vain kairaamalla. Ne sijaitsevat merijätulin dolomiitissa olevan metavulkaniittipatjan päällä noin metrin vahvuisena melko kompaktina kerroksena. Rautamuodostuman päällä on hematiittipitoista fylliittia ja tämän päällä ohut kvartsiittipatja, jonka jälkeen on jälleen dolomiittia ja fylliittia. Sekä Viistolan että Valkeavaaran esiintymien pituus on vajaa kilometri. Vähäisestä paksuudesta johtuen niillä ei ole taloudellista merkitystä.

Kainuun liuskealue

Kainuun liuskealueella tavataan rautamuodostumia sekä Ristijärvi-Nuasjärvaltaassa että Puolangan jaksossa (kuva 23). Ne ovat Kivesvaaran magnetiittipitoista konglomeraattia lukuunottamatta kvartsiraitaisia ja sijaitsevat dolomiitti-mustaliuskeassosiaation kivilajeissa.



Kuva 23. Kainuun liuskealueen rautamuodostumat (Niiniskorpi, 1975).
 Fig. 23. The iron-formations of the Kainuu schist belt. (Niiniskorpi, 1975).

Laajoen (1973) mukaan on Puolangan jakson stratigrafia Salmijärven altaan itä-osassa seuraava:

- fylliitti (fylliitti, kiilleliuske, arkosiittisia välikerroksia)
- dolomiitti-fylliitti (tuffiitti, dolomiitti, mustaliuske, metadiabaasi, kvartsiitti, rautamuodostuma),
- kvartsiitti I-III
- arkosiitti (arkosiitti, tuffiitti, metadiabaasi, konglomeraatti)
- gneissigraniitti

Ristijärvi-Nuasjärvaltaan stratigrafia on seuraava (Mäkelä, 1976):

- fylliitti ja kiilleliuske
- mustaliuske
- rautamuodostuma (paikoin mustaliuskevälikerroksia)
- fylliitti (usein granaattipitoinen rautamuodostuman lähellä)
- dolomiitti (paikoin)
- kvartsiitti (kiilleliuske-fylliittivälikerroksia)
- konglomeraatti (paikoin)
- gneissigraniitti

Puolangan jaksossa on rautamuodostumia tavattu Väyrylänkylässä ja Kivesvaarassa (Geologinen tutkimuslaitos, 1974). Väyrylänkylän esiintymät, Pääkkö, Iso Vuorijärvi ja Körölä sijaitsevat samassa n. 10 km pitkässä horisontissa. Pääkön alueella on noin 100 m paksun dolomiittipatjan päälle kerrostunut n. 20-40 m kvartsiittia ja tämän päälle 20-45m paksu kerros rautamuodostumaa ja sen päälle edelleen mustaliuske ja fylliitti. Rautamuodostuma on pääasiassa gryneriittipitoista kvartsi-magnetiittiraitaista kiveä, jossa on lisäksi myös granaattia, apatiittia sekä mustaliuskevälikerroksia. Muodostuman länsireunassa on kvartsi-sideriittiraitaista kiveä sekä massiivista sideriittikiveä. Esiintymän pituus on n. 1,4 km ja malmin keskipitoisuus n. 26 % Fe.

Iso Vuorijärvellä on n. 10-35 m paksun rautamuodostumahorisontin itäpuolella dolomiittia, fylliittia ja merkeliä ja länsipuolella mustaliusketta ja fylliittia sekä kiilleliusketta. Rautamuodostuma koostuu täälläkin pääasiassa kvartsi-magnetiittiraitaisesta kivistä. Alaosissa esiintyy myös kvartsi-sideriittiraitaista kiveä vuorokerroksina magneettikiisurikkaiden mustaliuskeiden kanssa. Myös Körölän alueen esiintymät ovat rinnastettavissa Pääkön esiintymään, mutta ne ovat kooltaan hyvin vaatimattomia.

Ristijärvi-Nuasjärvaltaassa on dolomiittien osuus sedimentaatiossa ollut vähäisempi kuin Puolangan jaksossa. Näin ollen rautamuodostumien alapuolella on fylliittia ja kiilleliusketta, johon rautamuodostumaa lähestyttäessä ilmestyy granaatteja. Rautamuodostuman päällä ja siinä myös välikerroksina on mustaliusketta, jonka päällä on kiilleliusketta. Tällainen stratigrafia on Tuomivaarassa (Mäkelä, 1976), Poskimäellä, Hiisivaarassa ja Liskukankaalla.

Kainuun liuskealueen esiintymistä ovat Tuomivaaran ja Väyrylänkylän esiintymät mittasuhteiltaan suurimmat ja myös parhaiten tutkitut, mutta kumpikin on osoittautunut alhaisen magnetiittipitoisuuden vuoksi ainakin toistaiseksi taloudellisesti kannattamattomaksi.

YHTEENVETO

Perustaksi rautamuodostumien stratigrafiselle vertailulle on laadittu kaavio, jossa tutkimusalueen kallioperä on jaettu prekarjalaiseen (arkeiseen) ja karjalaiseen (proterot-

sooiseen) pääyksikköön (taulukko 3). Prekarjalaisten kivien sisäinen kerrosjärjestys ei ole yksityiskohtaisesti selvillä, mutta paikoin vaikuttaa siltä kuin emäksiset vulkaniitit olisivat alimpina ja kiillegneissi, kvartsi-maasälpäliuske ja kvartsiitti vulkaniitteja jonkin verran nuorempia (Nykänen, 1971). Paikoin vaikuttaa kerrosjärjestys päinvastaiselta (Meriläinen, 1976). Prekarjalaiseen orogeeniaan katsotaan kuuluvaksi Kuhmon ja Ilomantsin sekä Koillis-Inarin suprakrustaalijaksot.

Karjalaiset kivet voidaan jakaa kolmeen stratigrafiseen osaan: alimmaisena on Jatuli (jatulikvartsiitit, emäksiset vulkaniitit ja merijatulin tummat liuskeet ja karbonaatti-

Taulukko 3. Stratigrafinen kaavio Pohjois- ja Itä-Suomen rautamuodostumista.

Table 3. The stratigraphic position of the iron-formations of northern and eastern Finland.

		Ikä Ma	Kivilaji- assosiaatio	Rautamu- odostuma- tyyppi	Rautami- neraalit	Esiinty- mistapa	Esiintymiä	Merkitys ⁵
Karjalainen (Proterotsooinen)	Kaleva Kumpu	>1850 ¹	kvartsiitti konglome- raatti	kl	feh fem	juoni pirote	Levitunturi, Man- tovaara, Nälkä- vaara, Säynäjä- vaara	x
			grauvakka	kl	feh fem	pirote juoni	Kätkäjärvi, Kir- jaselkä, Pikku- Torsavaara	x
	Merijatuli	2080 ²	kalkkikivi mustaliuske	ke	fem fek sil feh feg	pirote kom- pakti raitai- nen	Kolari, Vähäjoki Valkeavaara, Tu- omivaara, Jauratsi Aapajoki, Väyry- länkylä	xxxxx
	Jatuli		emäksinen vulkaniitti	ke	fem feh sil sid fek feg	raitai- nen	Porkonen-Pahta- vaara, Vuossa- vaara, Silasselkä, Tunturijärvet, Säynäjävuoma	xxxx
		2200 ³	kiilleliuske kvartsiitti	kl	feh fem	pirote	Taporova, Suonna Niskavaara, Vil- pusvaara	xx
Prekarjalainen (Arkeinen)		>2700 ⁴	kiilleliuske	kl ke	sil fem	raitai- nen pirote	Ukkolanvaara, Vätsäri, Naarva	xxxx
			emäksinen vulkaniitti	ke	fem sil	raitai- nen	Siivikkovaara Vätsäri	xxx

1. anorogeeninen graniitti (GTL 1966-1974)
2. Rautamuodostuma (Sakko & Laajoki, 1975)
3. emäksinen vulkaniitti (Sakko, 1971)

x = esiintymät kooltaan pieniä, klastisia, vailla taloudellista mielenkiintoa
 xx = koko edellistä suurempi, kairattuja klastisia esiintymiä
 xxx = kemiallisia sedimenttejä, vähäistä taloudellista mielenkiintoa

4. granodioriitti (Meriläinen, 1976)
5. arvio, joka perustuu ko. tyyppin rautamuodostumien yleisyyteen, kokoon ja rautapitoisuuteen.

xxxx = kemiallisia sedimenttejä, kooltaan edellistä mittavampia, jonkinverran taloudellista mielenkiintoa
 xxxxx = kemiallisia sedimenttejä, taloudellisesti mielenkiintoisia

Lyhenteet:

kl = klastinen rautamuodostuma
 ke = kemiallissyntyinen rautamuodostuma
 feh = hematiitti
 fem = magnetiitti

feg = götiitti
 fek = rautakiisu
 sid = sideriitti
 sil = rautasilikaatti

kivet), sen päällä on Kaleva grauvakkoineen ja fylliitteineen sekä viimeksi Keski-Lapin Kumpu-muodostumaa vastaavat karkearakeiset kvartsiitit ja konglomeraatit. Karjalaiseen muodostumaan kuuluviksi on laskettu Keski-Lapin, Pelkosenniemen-Sallan, Kuusamon, Kainuun ja Peräpohjan suprakrustaalialueet.

Sekä kemiallisyntyisiä että klastisia rautamuodostumia tunnetaan kaikissa stratigrafisen kaavion osissa arkeisesta pääyksiköstä Kumpu-muodostumaan asti. Taloudellisesti mielenkiintoisimmat kemiallisyntyiset rautamuodostumat sijoittuvat prekarjalaisiin muodostumiin ja karjalaisiin emäksisiin vulkaniitteihin sekä merijatuliin.

Prekarjalaiset rautamuodostumat esiintyvät sekä emäksisissä vulkaniiteissa että metasedimenteissä (kiilleliuskeissa, -gneisseissä ja kvartsi-maasälpäliuskeissa). Näissä voi olla mukana vulkaanista ainesta. Vulkaniittien kvartsi-magneetiitti-amfiboliraitaiset rautamuodostumat ovat tavallisesti muutaman metrin paksuisia ja korkeintaan joitakin satoja metrejä pitkiä (esim. Siivikkovaara). Metasedimenteissä sijaitsevat kooltaan suuremmat rautamuodostumat voidaan erottaa kahdeksi ryhmäksi: 1) selväraitainen gryneriitti-magneetiitti-kvartsi-sarvivälkekivi (Ukkolanvaara) ja 2) kvartsi-magneetiitti-sarvivälke-biotiittikivi, jossa magneetiitti esiintyy melko tasaisena pirotteena ja jonka heikko raitaisuus johtuu eri mineraalien paljousuhteiden keskinäisestä vaihtelusta (esim. Naarva).

Vanhimmat karjalaiset rautamineralisaatiot esiintyvät jatuli-kvartsiiteissa ja niihin liittyvissä kiilleliuskeissa, joissa on tavattu hematiitti- ja magneetiittipiroetta (esim. Suonna, Taporova ja Vilpusvaara). Kvartsiittien päällä olevissa emäksisissä vulkaniiteissa ja merijatulisissa sijaitsevat kaikki kemiallisyntyiset karjalaiset rautamuodostumat. Emäksisissä vulkaniiteissa esiintyvät rautamuodostumat (Kittilä) ovat yleensä raitaista kvartsi-magneetiitti-hematiitti-götiittikiveä, jossa mainitut malmimineraalit saattavat olla yhdessä tai erikseen. Rautaoksidien ja kvartsin lisäksi esiintyy sideriittiä, kloriittia, minnesotaiittia, gryneriittiä ja grafiittia sekä paikoin magneettikiisua. Merijatulin rautamuodostumat ovat usein grafiittipitoisia kvartsi-sideriitti tai kvartsi-gryneriitti-granaatti-magneetiittiraitaisia (esim. Pelkosenniemen, Kainuun ja Peräpohjan rautamuodostumat). Karbonaatti- ja karsikivissä on paikoin (Kolarissa ja Tervolassa) magneetiittia pirotteena, raitoina ja kompakteina osuina yhdessä rautasulfidien kanssa.

Kalevan grauvakoissa ja fylliiteissä tunnetaan pirotteisia hematiitti- ja magneetiittimineralisaatioita (klastinen rautamuodostumatyyppi) lähes yksinomaan Kittilän alueella.

Karjalaisen orogeenin loppuvaiheessa syntyneissä molassi-tyyppisissä kvartsiiteissa ja konglomeraateissa (Kumpu-muodostuma) tavataan monin paikoin Kittilän vihreäkivialueen eteläpuolella magneetiitti- ja hematiittipiroetta.

RAUTAMUODOSTUMIEN TALOUDELLINEN JA YLEISGEOLOGINEN MERKITYS

Tutkimusten kohteena olleella Pohjois- ja Itä-Suomen alueella on lukuisia rautamuodostumaesiintymiä, joista eräät ovat kooltaan melko mittaviakin. Valitettavasti on todettava raudan suureksi osaksi – toisinaan jopa yksinomaan – esiintyvän erilaisina silikaatteina. Tämä on yhteinen piirre niin prekarjalaisille kuin karjalaisillekin esiintymille.

Prekarjalaisista rautamuodostumista ovat liuskeisiin liittyvät esiintymät taloudellisesti mielenkiintoisimpia. Kyseessä on siis Pohjois-Karjalan alue. Huhuksen esiintymää Ilomantsissa voidaan pitää reservimalmia, jonka taloudellinen hyväksikäyttö saattaa hyvinkin tulla vastaisuudessa ajankohtaiseksi. Samaan vyöhykkeeseen kuuluu myös Naarvan esiintymä, jolla ainakin aeromagneettisen kartan perusteella on ulottuvuutta. Koska alue on heikosti paljastunut, edellyttää tarkemman kuvan saaminen geofysikaalisia mittauksia

ja kairausta. Naarvan anomalian lähistöllä on myös muita mielenkiintoa herättäviä anomaliaita (mm. Harkkojärven anomalia), joihin maaston tarkistus ei antanut selvitystä paljastumien puuttuessa. Ukkolanvaaran pohjois- ja luoteispuolella olevien anomalioiden kohdalla ei maaston tarkistuksissa löytynyt sellaisia paljastumia, jotka olisivat selvittäneet ko. anomaliat. Vaikuttaa todennäköiseltä, että kyseessä ovat Ukkolanvaaran rautamuodostuman jatkeet. Vaikka Ukkolanvaaran esiintymä on gryneriittirikasta rautamuodostumaa, saattavat nämä anomaliat kuitenkin koostua magneettirikkaasta tyyppistä. Vastaavanlainen muutos tunnetaan Huhuksen ja sen länsipuolella olevan Petäjäkankaan kohdalla. Edellinen on magneettirikas tyyppi, jälkimmäinen gryneriittirikas. Ukkolanvaaran esiintymän jatkeet etelään ovat tuntemattomat, koska alueelta puuttuvat aeromagneettiset mittaukset. Rautamuodostumahorisontin jatkuminen etelään vaikuttaa kuitenkin hyvin todennäköiseltä.

Prekarjalaiset emäksisiin vulkaniitteihin liittyvät rautamuodostumat ovat kooltaan niin vaatimattomia, että niillä tuskin tulee olemaan taloudellista merkitystä. Tilanne on tietenkin toinen jos Kuhmo-Suomussalmi -jakson kooltaan melko suurten ja kohtalaisen voimakkaiden magneettisten anomalioiden aiheuttavien ultraemäksisten massiivien yhteydestä löytyy toisentyypisiä rautaesiintymiä.

Prekarjalaisissa rautamuodostumissa on götiittiä, hematiittia ja sideriittiä tavattu vain poikkeustapauksessa, joten sellaisten isompien esiintymien löytyminen ei ole todennäköistä (vrt. kuitenkin suuret sideriittiesiintymät Pohjois-Amerikassa). Sen sijaan sulfidien esiintyminen rautamuodostumien yhteydessä on huomionarvoinen seikka, varsinkin kun toisinaan tavataan myös vähän kuparikiisua, lyijyhohdetta ja sinkkivälkettä. Muualla maapallolla liittyy joihinkin esiintymiin myös kultaa vaikka tutkitulla alueella tästä ei ole tavattu viitteitä.

Karjalaisten rautamuodostumien esiintyminen tekee Kolarin, Kittilän, Pelkosenniemen-Sallan ja Pohjois-Karjalan alueen sekä Kainuun liuskejakson taloudelliselta kannalta mielenkiintoiseksi. Kuusamon ja Peräpohjan metasedimentteihin liittyy joitakin harvoja klastisia ja kemiallissyntyisiä rautamuodostumia.

Kolarin alueen taloudellisesti merkittävät kiisupitoiset karsimalmit, joiden rautapitoisuus on keskimäärin korkeampi kuin kvartsiraitaisissa rautamalmeissa, liittyvät lapponisiin karbonaattipitoisiin metasedimentteihin. Rautamuodostumakriittinen kivilajiassoiaatio on kvartsiitti-kvartsimaasälpäliuske-karsi ja toisaalta mustaliuske-dolomiitti. Alueella sijaitsee rautamuodostumaa hyödyntävä kaivos, Rautuvaara. Rautamuodostumahorisontti jatkuu Rautuvaarasta pohjoiseen Hannukaiseen ja Tuohilehtoon, jossa on inventoitu merkittäviä määriä magnetiittimalmia. Lisämielenkiintoa Kolarin rautamuodostumahorisonttien tutkimiseen tuo kuparikiisun esiintyminen. Kiintoisan tutkimuskohteen tarjoaa myös Kolarin kirkolta Ylläsjärven kautta Kittilän keskusgraniittiin ulottuva emäksisiä vulkaniitteja sisältävä magneettinen anomaliajakso. Keski-Lapin graniittimassiivia pohjoisessa rajoittava magneettinen anomaliavyöhyke on kokonaisuudessaan rautamuodostumia ajatellen mielenkiintoinen.

Kittilän alueen rautamuodostumat esiintyvät vulkaanisen kompleksin eri osissa. Vihreäkivialueen luoteisosassa, tyynylaavoissa ja agglomeraateissa esiintyy hematiittipitoisia rautamuodostumia, joiden rautapitoisuus on kuitenkin vain 15-20 % Fe. Rikkaampia magnetiittiraitaisia rautamuodostumia (rautapitoisuus noin 30 %) tunnetaan vihreäkivialueen kaakkoisosassa Porkosen-Pahtavaaran alueella. Tuffiitti- ja mustaliuskeissa sijaitsevat karbonaatti- ja silikaattipitoiset rautamuodostumat ovat yleensä rautapitoisuudeltaan pieniä (15-25 % Fe), mutta milloin murrosvyöhykkeet leikkaavat rautamuodostumahorisontteja, on usein tapahtunut sekundaarista rikastumista. Rautapitoisuus saattaa tällöin kohota

30-35 prosenttiin. Rautamineraalina on pehmeä götiitti sideriitin ja rautasilikaattien sijasta.

Mangaanipitoisia (4-15 % Mn) sideriittisiä rautamuodostumia tunnetaan grafiittipitoisissa tuffiittiliuskeissa vihreäkivialueen etelä- ja itäreunalla. Ne muodostavat kapeita E-W -suuntaisia jaksoja Kuolavaarasta Mustavaaraan (noin 15 km) ja N-S -suuntaisia jaksoja Silmänpaistamasta Suasselkään (noin 48 km). Vihreäkivialueen koillisosasta Seurujärveltä on tavattu mittasuhteiltaan merkityksetön mangaanipitoinen rautamuodostuma, jonka sivukivi on poikkeuksellisesti kvartsirikas kiilleliuske. Tämä viite laajentaa käsitystä Kittilän vihreäkivialueella tavattavien rautamuodostumien geologisesta esiintymisympäristöstä.

Magneettikiisua sisältäviin sulfidifasiuksen rautamuodostumiin ei liity tutkituissa esiintymissä jalompia sulfideja. Vihreäkivialueen eteläpuolen mustaliuskeissa esiintyy kuitenkin paikoin pirotteena ja breksioivana aineksena kuparikiisua (esim. Riikonkoski, Sirkka, Saattopora ja Pahtavuoma).

Pelkosenniemen-Sallan alueen rautamuodostumat eivät liity niin kiinteästi emäkseen vulkanismiin kuin Kittilän rautamuodostumat. Tunnetut esiintymät sijaitsevat ultraemäkisten vulkaniittien alla olevissa dolomiiteissa, mustaliuskeissa ja grauvakkaliuskeissa. Rautamuodostumat, joiden rautapitoisuus on korkeimmillaan 30-35 %, ovat usein hematiitti- tai götiittiraitaisia ja voimakkaasti rapautuneita. Sekundaarista raudan rikastumista ei rapautumisen yhteydessä ole mainittavasti tapahtunut. Götiitiksi rapautuneiden rautamuodostumien löytyminen geofysikaalisiin menetelmin on tavallista hankalampaa (ei magneettisia eikä gravimetrisiä häiriöitä).

Pohjois-Karjalan alueen karjalaiset hematiittiesiintymät ovat mielenkiintoisia korkean rautapitoisuutensa vuoksi. Tunnetut Viistolän ja Valkeavaaran esiintymät eivät vaatimattoman paksuutensa vuoksi (noin metri) ole taloudellisesti kannattavia, mutta sama horisontti varmaankin jatkuu pohjoisempana, jolloin kerros saattaa olla paksumpi joko primaarisesti tai poimutuksen tuloksena.

Kainuun liuskealueen rautamuodostumat ovat kauttaaltaan silikaattivoittoisia. Kooltaan mittavimmat ja parhaiten tutkitut esiintymät Tuomivaarassa ja Väyrylänkylässä eivät ole osoittautuneet taloudellisesti kannattaviksi. Vihjeitä mahdollisista sideriittiesiintymistä on kuitenkin löytynyt. Kainuun liuskealueella on myös merkille pantavaa kvartsiiteissa olevan hematiittipirotteen mobilisoituminen paikoin melko kompakteiksi juoniksi kuten esimerkiksi Puolangan Vilpusvaaralla.

Tärkeimmät rautamuodostumakriittiset horisontit ovat siis prekarjalaiset (arkeiset) kiilleliuskeet sekä karjalaiset (proterotsooiset) spiliittiset vulkaniitit ja mustaliuske-karbonaattiassoosiaatio (merijatuli). Taloudelliselta kannalta ovat mielenkiintoisimpia magnetiittirautaa sisältävät karsimalmit. Toinen taloudellisesti mielenkiintoinen tyyppi on mangaanipitoinen karbonaattinen rautamuodostuma. On vain pystyttävä tyydyttävästi ratkaisemaan rikastusta koskevat tekniset vaikeudet. Kvartsiraitaisten rautamuodostumien oksidiraupitoisuus on näillä näkymin liian alhainen taloudellista hyväksikäyttöä ajatellen. Tehdyllä tutkimuksella on kuitenkin yleisgeologista merkitystä. Rautamuodostumat esiintyvät läpi koko Suomen kulkevana, oletettavasti saman ikäisinä (arkeiset ja proterotsooiset erikseen) muodostumina, joten rautamuodostumat ovat mitä parhain johtohorisontti eri alueiden geologiaa muodostumia rinnastettaessa. Rautamuodostumatyyppien parempi ymmärtäminen tulee antamaan hyvän lähtökohdan sedimentaatioalaiden kehityksen selvittämiseksi.

Summary: THE IRON-FORMATIONS OF NORTHERN AND EASTERN FINLAND

In this study the iron-formations of northern and eastern Finland have been divided into two principal groups, Prekarelian (Archean) and Karelian (Proterozoic).

The Prekarelian (Archean) iron-formations

Because the Prekarelian stratigraphy is incompletely known it is not possible to divide the iron-formations more accurately in terms of age. The iron-formations of Archean age (more than 2500 Ma) occur in basic metavolcanics and in metasediments along the eastern border of Finland in Ilomantsi, Kuhmo-Suomussalmi and Inari.

In the basic metavolcanics quartz-magnetite-amphibole-banded iron-formations occur, being usually a few metres thick and a few hundred metres long at most (e.g. Siivikkovaara in Kuhmo). The iron content varies between 20-30 % Fe, phosphorus is rather low, between 0,1-0,5 % P_2O_5 , and manganese is variable, usually less than 1 % MnO.

The metasedimentary host rocks of the iron-formations are mica-schists and -gneisses and quartz-feldspar schists, many of which are considered to be of volcanic origin. Two types of iron-formations can be discerned: 1) a thinly banded grunerite-magnetite rock with small amounts of quartz and hornblende (e.g. Ukkolanvaara in Ilomantsi) and 2) a quartz-magnetite-hornblende-biotite rock with evenly disseminated magnetite. The banding so often observed is due to small alternations in the mineral distribution (e.g. Huhus in Ilomantsi). The iron content in type 1 is approximately 30-35 % Fe (mostly in silicates). Phosphorous is less than 0,5 % P_2O_5 and manganese around 0,5 % MnO. The iron content in type 2 (mostly in magnetite) is about 30 % Fe. The phosphorous content is 0,1-0,2 % P_2O_5 , and manganese is usually less than 0,1 % MnO.

The Karelian (Proterozoic) iron-formations

Karelian iron-formations are met with throughout the entire stratigraphical column. In mica-schists low in the column disseminated hematite and magnetite occur (e.g. Suonna in Posio and Taporova in Kolari). The iron content of these clastogene iron-formations is 25-28 % Fe. The content of phosphorous is 0,15 % P_2O_5 in Taporova and 0,6 % P_2O_5 in Suonna. Manganese is very low (less than 0,01 % MnO) in Taporova and somewhat higher (0,3 % MnO) in Suonna.

Higher in the column, in basic volcanics, chemically precipitated, banded iron-formations of different facies occur, mainly in the Kittilä region. Red coloured hematitic rocks with an iron content of 15-20 % Fe occur in basic volcanics with pillow and agglomerate structure (e.g. Vuossavaara). The phosphorous content is very low (less than 0,1 % P_2O_5), as is that of manganese (less than 0,1 % MnO). The grey, distinctly banded *magnetite-bearing* iron-formation with an iron content of 25-35 % Fe is surrounded by basic lavas and tuffaceous schists. The content of phosphorous is around 0,5 % P_2O_5 and that of manganese low (0,03 % MnO in Pahtavaara) but it can rise with the content of siderite (1,8 % MnO in Sattanen). The *silicate-carbonate-bearing* iron-formation, which consists of bands of chert and graphite-bearing bands of siderite-chlorite-goethite (Petäjälkä) or bands of minnesotaite-grunerite-magnetite (Silasselkä), occurs in tuffaceous schists. The iron content reaches 28 % Fe. Phosphorous is usually less than 0,5 % P_2O_5 while manganese is very variable, although not higher than about 10 % MnO. The *sulphide-bearing* iron-formation consists of black schist impregnated with, and brecciated

by, pyrrhotite and pyrite. The iron content (as sulphide) varies between 15 and 35 % Fe. Phosphorous is always less than 1 % P_2O_5 and manganese less than 0,5 % MnO, but sulphur can be as high as 23 % S (e.g. Kulkujoki).

High in the Karelian succession, in (marine Jatulian) black schists and carbonaceous rocks, chemically precipitated banded iron-formations occur with quartz, grunerite and magnetite, very often with graphite and garnet (e.g. Jauratsi in Pelkosenniemi and Tuomi-vaara in Sotkamo). Siderite and pyrrhotite also occur at some places (e.g. Aapajoki in Karunki). The iron content, often as silicates, is about 24-35 % Fe. The phosphorous content is rather high, up to 2,5 % P_2O_5 but manganese is usually less than 0,5 % MnO.

In the marine Jatulian amphibole-pyroxene skarns massive ore bodies or disseminations of magnetite with iron sulphides occur and sometimes chalcopyrite is present as well (e.g. the Juvakaisenmaa-Rautuvaara-Hannukainen horizon with the Rautuvaara mine in Kolari and Vähäjoki in Tervola). In these ores the iron content is somewhat higher than in the other iron-formations, being about 40-45 % Fe. Phosphorous is usually around 0,1 % P_2O_5 and manganese is less than 0,5 % MnO. The sulphur content varies, reaching 5-6 % S.

Above Karelian meta-volcanics and carbonaceous metasediments, greywackes and phyllites, belonging to the Kalevian, contain some iron mineralizations with magnetite as irregular disseminations and thin bands. Sometimes hematite is met with as rounded fragments in conglomeratic greywackes. The iron content is consequently very irregular, but only seldom higher than 15 % Fe.

Higher in the column Karelian conglomerates and quartzites in the Kittilä region contain disseminated magnetite and hematite and sometimes schlieren of hematite. The iron content is low.

In summary, the critical horizons for iron-formation in the Prekarelian are basic volcanics (in Kuhmo-Suomussalmi) and mica schists with some acid volcanics (in Ilomantsi and Inari), whereas in the Karelian sequence the critical horizons are basic volcanics (spilites e.g. in Kittilä), graphite bearing schists and marine Jatulian carbonate-bearing layers (in Kolari, Pelkosenniemi, Salla, North Bothnia, and Kainuu).

KIRJALLISUUTTA – REFERENCES

- Airas, K. (1971) Aapajoen rautamuodostuma Karungissa. Raportti (Report) Ro 3/71, Rautaruukki Oy.
- Aleksandrow, E. A. (1955) Contribution to studies of origin of banded iron ores. *Econ. Geol.* 50, 459...468.
- Dzotsenidze, G. S. (1972) On the volcanic-sedimentary origin of some sedimentary iron ore deposits. *Int. Geol. Cong.* 24th, sect. 4, Mineral deposits, 338...343.
- Geologinen Tutkimuslaitos (1967-1975) Kertomukset toiminnasta vuosina 1966-1974. Geologinen Tutkimuslaitos. Otaniemi.
- Goodwin, A. M. (1956) Facies relations in the Gunflint iron formation. *Econ. Geol.* 51, 565...585.
- Goodwin, A. M. (1962) Structure, stratigraphy and origin of iron formations, Michipicoten area, Algoma District, Ontario, Canada. *Geol. Soc. America, Bull.* 73, 561...586.
- Goodwin, A. M. (1964) Geochemical studies at Helen iron range. *Econ. Geol.* 59, 684...718.
- Goodwin, A. M. (1973) Archean iron-formations and tectonic basins of the Canadian shield. *Econ. Geol.* 68, 915...933.
- Govett, G. I. S. (1966) Origin of banded iron formations. *Geol. Soc. America, Bull.* 77, 1191...1212.
- Gross, G. A. (1965) Geology of iron deposits in Canada. Volume I. General geology and evaluation of iron deposits. *Geol. Surv. Canada, Econ. Geol. Rep.* 22, 181 s.
- Gross, G. A. (1973) The depositional environment of principal types of Precambrian iron-formations. *Genesis of Precambrian iron and manganese deposits. Proc. Kiev Symp.* 1970, Unesco Paris, 15...21.
- Gruner, J. W. (1922) Organic matter and origin of the Biwabic iron bearing formations of the Mesabi range. *Econ. Geol.* 17, 407...460.
- Hiltunen, A. (1970) Rahkavaaran-Jauratsin alueen tutkimukset v. 1969 ja vuoden 1970 alussa. Raportti (Report) Ro 6/70, Rautaruukki Oy.
- Hiltunen, A. & Tontti, M. (1976) The stratigraphy and tectonics of the Rautuvaara iron ore district, northern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finl.* 48, 95...109.
- Hough, J. L. (1958) Fresh water environment of deposition of Precambrian banded iron formations. *J. Sed. Petr.* 28, 414...430.
- Hyppönen, V. (1973) Kallioperäkartta, lehti 4412, Hiisijärvi. Suomen geologinen kartta, 1:100000.
- Hyppönen, V. (1976) Kallioperäkartta, lehti 4411, Ontojoki. Suomen geologinen kartta, 1:100000.

- Hyvärinen, L. & Siikarla, T. (1971) Selostus Valkeavaaran hematitiittiesiintymän tutkimuksista v. 1961. Raportti (Report) M 19/4232/-71/1/10, Geologisen tutkimuslaitoksen arkisto.
- James, H. L. (1954) Sedimentary facies of iron formation. *Econ. Geol.* 49, 235...293.
- James, H. L. (1966) Chemistry of the iron rich sedimentary rocks. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 440-W.
- Krumbein, W. C. & Garrels, R. M. (1952) The origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation reduction potentials. *J. Geol.* 60, 1...33.
- Laajoki, K. (1973) On the geology of the South Puolanka area, Finland. *Geol. Surv. Finland, Bull.* 263. 54 s.
- La Berge, G. L. (1973) Possible biological origin of Precambrian iron formations. *Econ. Geol.* 68, 1098...1109.
- Lavikainen, S. (1973) Kallioperäkartta, lehti 4244, Ilomantsi. Suomen geologinen kartta 1:100000.
- Lavikainen, S. (1975) Kallioperäkartta, lehti 4243, Oskajärvi. Suomen geologinen kartta 1:100000.
- Lehto, T. (1975) Pohjois-Suomen rautamuodostumat. Lapin rautamalmien horisonttisi-donnaisuusprojekti. Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta. Raportti (Report) PSMT/P10/76/2. Geologisen tutkimuslaitoksen arkisto. 241 s.
- Lepp, H. & Goldich, S. S. (1964) Origin of Precambrian iron formations. *Econ. Geol.* 59, 1025...1060.
- Makkonen, V. (1972) Hietajärven jakson tutkimukset Sotkamo-Valtimon alueella kesällä 1971. Raportti (Report) Ou 20/71, Rautaruukki Oy.
- Meriläinen, K. (1965) Kivilajikartta, lehti C8 – C9, Inari-Utsjoki. Suomen geologinen yleiskartta 1:400000.
- Meriläinen, K. (1976) The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland. *Geol. Surv. Finland, Bull.* 281. 129 s.
- Mikkola, A. (1947) The Vähäjoki iron ore in Tervola, northern Finland. *Bull. Comm. géol. Finlande* 140, 261...280.
- Mikkola, E. (1937) Kivilajikartta, lehti C7, Sodankylä. Suomen geologinen yleiskartta 1:1400000.
- Mikkola, E. (1941) Kivilajikartan selitys, B7-C7-D7 Muonio-Sodankylä-Tuntsajoki. English summary: Explanation to the map of rocks. Suomen geologinen yleiskartta, 1:400000, 286 s.
- Mäkelä, K. (1976) On the stratigraphy and petrography of the Tuomivaara iron formation in Sotkamo, northern Finland. *Bull. Geol. Soc. Finland* 48, 71...86.
- Niiniskorpi, V. (1975) Itä-Suomen rautamuodostumat. Lapin rautamalmien horisonttisi-donnaisuusprojekti. Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta. Raportti (Report) PSMT/P10/76/3, Geologisen tutkimuslaitoksen arkisto. 222 s.

- Nykänen, O. (1971) Kallioperäkartta, lehti 4241 Kiihtelysvaara. Suomen geologinen kartta 1:100000.
- Oftedahl, C. (1958) A theory of exhalative-sedimentary ores. Geol. Fören. i Stockholm, Förh. 80, 1...19.
- Paakkola, J. (1971) The volcanic complex and associated manganiferous iron formation of the Porkonen-Pahtavaara area in Finnish Lapland. Bull. Comm. géol. Finlande 247. 83 s.
- Piispanen, R. (1972) On the spilitic rocks of the Karelidic belt in western Kuusamo, north-eastern Finland. Acta Univ. Ouluensis, Ser. A. No. 4, Geologia No. 2, 73 s.
- Rieck, K., Borchert, H. & Anger, G. (1967) Lagerstättenkundliche Untersuchungen am Eisenerzvorkommen Jauratsi in Finnisch Lappland. Bull. Comm. géol. Finlande 226. 70 s.
- Sakamoto, T. (1950) The origin of the pre-Cambrian banded iron ores. Am. J. Sci. 248. (7), 449...474.
- Sakko, M. (1971) Varhais-karjalaisten metadiabaasien radiometrisiä zirkoni-ikiä. Geologi. 23 (9-10), 117...119.
- Sakko, M. & Laajoki, K. (1975) Whole rock Pb-Pb isochron age for the Pääkkö iron formation in Väyrylänkylä, South Puolanka area, Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 47, 113...116.
- Silvennoinen, A. (1972) On the stratigraphic and structural geology of the Rukatunturi area, northeastern Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 257. 48 s.
- Simonen, A. (1960) Pre-Quaternary rocks in Finland. Bull. Comm. géol. Finlande 191. 49 s.
- Sipilä, E. (1962) Oy Malminetsijä Ab:n raportti Huhuksen rautaesiintymästä Ilomantsissa. Paraisten Kalkki Oy.
- Stanton, R. L. (1972) Ore Petrology. McGraw-Hill Book Company, New York. 713 s.
- Survey of world iron ore resources (1970). Occurrence and Appraisal. Report of a Panel of Experts appointed by the Secretary general, United Nations, New York.
- Tshernov, V. M., Inina, K. A., Gorkovets, V. J. & Rajevskaja, M. B. (1970) Vulkanogennije železisto-kremnistije formatsii Karelii (Karjalan vulkanogeeniset rautamuodostumat). Akademii Nauk SSSR, Karelskij Filial, Institut geologii, Petrozavodsk. 285 s.
- Woolnough, W.G. (1941) Origin of banded iron deposits—A suggestion. Econ. Geol. 36, 465...489.
- Vornanen, E. (1963) Vähäjoen malmin ja sen lähiympäristön geologia. Pro gradu, Helsingin Yliopiston geologian ja mineralogian laitos.

