



Petri Peltonen, Pekka Huhta ja Kalevi Korsman

**Kromispinellin esiintyminen ja koostumus  
moreenissa Vammalan nikkeli-kuparimalmin  
distaalipuolella – malminetsinnälliset sovellutukset**

**Summary: Occurrence and mineral chemistry of chrome spinel in till  
– implications for prospecting magmatic Ni-Cu  
sulfide ores in Svecofennian terrain**

**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS**  
Tutkimusraportti 111

**GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND**  
Report of Investigation 111

Petri Peltonen, Pekka Huhta ja Kalevi Korsman

**KROMISPINELLIN ESIINTYMINEN JA KOOSTUMUS MOREENISSA  
VAMMALAN NIKKELI-KUPARIMALMIN DISTAALIPUOLELLA —  
MALMINETSINNÄLLISET SOVELLUTUKSET**

Summary: Occurrence and mineral chemistry of chrome spinel in till – implications for prospecting magmatic Ni-Cu sulfide ores in Svecofennian terrain

Espoo 1992

**Peltonen, P., Huhta, P. & Korsman, K., 1992.** Kromispinellin esiintyminen ja koostumus moreenissa Vammalan nikkeli-kuparimalmin distaalipuolella – malminetsinnälliset sovellutukset. Summary: Occurrence and mineral chemistry of chrome spinel in till – implications for prospecting magmatic Ni-Cu sulfide ores in Svecofennian terrain. *Geological tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland, Tutkimusraportti 111 – Report of Investigation 111*. 25 pages, 8 figures, 6 tables and one appendix.

Since the discovery of the first ore-bearing boulders in 1960, the Vammala Nickel Belt has been a target of continuous prospecting activity. Several occurrences have been located and some of them exploited. Within the metallogenic zone only one Ni-Cu sulfide deposit (Vammala) is still in production.

One of the transects of international Global Geoscience Transects project (GGT) passes through the Vammala Nickel Belt. This has generated a considerable amount of research at the Geological Survey of Finland to understand the crustal evolution and metallogenic features of this zone.

Ongoing research into the origin of magmatic Ni-Cu sulfide deposits and their host rocks within that belt has emphasised the importance of chrome spinel as a petrogenetic indicator and especially its Zn-content as a potential exploration tool.

This paper reports the first results of a study aimed to understand the mode of occurrence of detrital Cr-spinel in till. Laboratory and field methods for obtaining heavy mineral concentrates were compared. Cr-spinel compositions were analysed by microprobe to verify the source lithology.

We suggest that conclusions based on *a)* the amount and proportion of Cr-spinel in concentrates, *b)* petrography and *c)* mineral chemistry of Cr-spinel, provide an additional tool to delineate favourable areas for prospecting Ni-Cu sulfides within the Svecofennian terrain.

Key words (GeoRef Thesaurus, AGI): mineral exploration, heavy minerals, till, chrome spinel, electron probe data, zinc, nickel ores, ultramafics, Vammala, southwestern Finland.

*Petri Peltonen, Pekka Huhta and Kalevi Korsman*  
*Geological Survey of Finland*  
*Betonimiehenkuja 4*  
*SF-01250 Espoo, Finland*

ISBN 951-690-464-5  
ISSN 0781-4240

**Peltonen, P., Huhta, P. & Korsman, K., 1992.** Kromispinellin esiintyminen ja koostumus moreenissa Vammalan nikkeli-kuparimalmin distaalipuolella – malminetsinnälliset sovellutukset. Summary: Occurrence and mineral chemistry of chrome spinel in till – implications for prospecting magmatic Ni-Cu sulfide ores in Svecofennian terrain. *Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland, Tutkimusraportti 111 – Report of Investigation 111*. 25 sivua, 8 kuvaa, 6 taulukkoa ja yksi liite.

Järjestelmällistä malminetsintää Vammalan (Porin-Kylmäkosken) nikkeliwyöhykkeellä on harjoitettu jo 1950-luvulta lähtien. Lukuisia hyvälaatuisia Ni-Cu-mineralisaatioita, jotka kuitenkin vain harvoin ovat osoittautuneet taloudellisesti hyödynnettäviksi, on onnistuttu paikallistamaan. Eräs taitekohta suomalaisen kaivostoiminnan historiassa saavutetaan lähiaikoina, kun tämän alueen ainoa Ni-Cu-kaivos, Vammala, lopettaa toimintansa.

Osana monikansallista "Global Geoscience Transect (GGT)" -hanketta on Geologian tutkimuskeskuksessa vuodesta 1989 lähtien selvitetty Vammalan alueen mafisten-ultramafisten magmakivien suhdetta kuoren evoluutioon.

Malminetsinnällisillä sovellutuksilla on hankkeessa keskeinen asema. Uudet tulokset ovat osoittaneet, että mineralisoituneissa Vammala-tyyppisissä intrusioissa kromispinellin Zn-pitoisuus on korkeampi kuin mineralisoitumattomissa.

Tässä osatutkimuksessa olemme testanneet vaihtoehtoisia menetelmiä detritaalisesta kromispinellin rikastamiseksi moreeninäytteistä. Samoista näytteistä valmistettiin raskasmineraalirikasteet *a)* raskasnesteen ja magneettisen separaattorin avulla sekä *b)* spiraalirikastimella. Rikasteet tutkittiin heijastuvassa valossa ja kromispinellien koostumukset analysoitiin mikroanalyysointilla.

Työ osoitti, että detritaalisesta kromispinellin määrään, raekokoon, petrografiaan ja mineraalikemiaan perustuen voidaan tehdä päätelmiä mafisten-ultramafisten magmakivien esiintymisestä tutkimusalueella sekä niiden nikkelimikriittisyydestä. Malminetsintätyössä raskasmineraalitutkimusten tuloksia on syytä yhdistää moreenigeokemiallisten, kallioperägeologisten, sekä geofysikaalisten havaintojen kanssa.

*Petri Peltonen, Pekka Huhta ja Kalevi Korsman  
Geologian tutkimuskeskus  
Betonimiehenkuja 4  
01250 Espoo, Finland*

## SISÄLTÖ–CONTENTS

1	Johdanto ja ongelmatiikka	5
2	Vammalan (Stormin) nikkeli-kuparimalmi ja sen isäntäkivi	6
3	Kromispinellin esiintyminen ja mineralogia Vammalan alueen ultramafisissa intruusioissa	6
4	Vammalan (Stormin) alueen glasiaaligeologia	7
5	Moreenin raskasmineraalit malminetsinnän apuna	8
6	Tutkitut näytteet	8
7	Näytteiden esikäsittely	11
	7.1 Mineraloginen separointi	11
	7.2 Rikastus spiraalirikastimella	11
8	Raskasmineraalirikasteet	11
	8.1 Mineraalikoostumus	11
	8.2 Kromispinellin petrografia	14
	8.3 Kromispinellin raekokojakautuma	14
9	Kromispinellin koostumus	17
10	Johtopäätökset ja pohdinta	21
11	Summary	23
12	Kirjallisuusviitteet–References	24

*Liite - Detritaalisten kromispinellien koostumukset sekä niiden perusteella lasketut mineraalikaavat ja koostumusparametrit*

*Appendix - Electron microprobe analyses of chrome spinels in till*

## 1 JOHDANTO JA ONGELMATIIKKA

Kromispinelli,  $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+})(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{3+})\text{O}_4$ , on tärkeä petrogeneettinen indikaattorimineraali (Sack & Ghiorso 1991). Se kiteytyy varhain basalttisesta tai ultraemäksisestä magmasta. Sen koostumuksen avulla on mahdollista jäljittää mm. manttelin osittaisen sulamisen astetta (Dick & Bullen 1984), kantamagman koostumusta (Irvine 1965; 1966; Allan et al. 1988), kiteytymispainetta (Green et al. 1971) sekä hapen osapainetta kiteytyvässä systeemissä (Hill & Roeder 1974; Fisk & Bence 1980). Magmaattiset tasapainotilat kromispinelli—sula tai kromispinelli—silikaatti voivat säilyä vain äkillisesti jäähtyneissä systeemeissä (tyynylaavoissa, laboratoriokokeissa). Plutonisissa kivissä (esim. kerrosintuutioissa), joissa jäähtymisnopeudet ovat suhteellisen hitaita, jäähtymisen aikainen kationien diffuusio kromispinellin ja ympäröivän faasin välillä muuttaa spinellin koostumusta (esim. Hatton & von Gruenewaldt 1985). Tämän lisäksi suoraviivaista petrogeneettisten johtopäätösten tekoa kromispinellin koostumuksen perusteella vaikeuttavat metamorfoosin (esim. Pactunc 1984) ja hydrotermisen toiminnan (esim. Kimball 1990) vaikutus kromispinellin koostumukseen.

Toisinaan sinkki ( $\text{Zn}^{2+}$ ) korvaa kahdenarvoisia kationeja ( $\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$ ) kromispinellin hilassa. Groves ja muut (1977; 1983) havaitsivat, että Australian mineralisoituneissa (Fe-Ni-Cu-sulfideja) ultramafisissa vulkaanisissa muodostumissa (komatiiteissa) kromispinellit ovat suhteellisen Zn-pitoisia ja ehdottivat, että niiden koostumusta voitaisiin käyttää tunnusteleavana malminetsintämenetelmänä. Tyydyttävää selitystä kromispinellien kohonneelle Zn-pitoisuudelle ei esitetty. Uudet tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että rikin liukoisuuden ylittyminen komatiittisissa laavavirroissa on aiheutunut niiden assimiloimista S-pitoisista sedimenteistä. Komatiittien kromiitit ovatkin Zn-rikkaita ainoastaan silloin, kun assimiloitu metasedimenttikin on ollut Zn-rikas. Mikäli taas laava on assimiloinut S-pitoista, mutta Zn-köyhää metasedimenttiä, on rikin liukoisuus saattanut ylittyä ja sulfidisula muodostua, mutta kromispinellien Zn-pitoisuus ei ole merkittävästi kohonnut (R.E.T. Hill *suul. tiedonanto*). Tästä syystä kromispinellin koostumusta ei ole käytetty malminetsinnällisesti hyväksi Australian vihreäkivivyö-

hykkeillä. Kohonneita magmaattisen kromispinellin sinkkipitoisuuksia on satunnaisesti kuvattu muualtakin. Usein ne liittyvät tunnettuihin nikkeli-sulfidiesiintymiin (Kojonen 1981; Zakrzewski 1989) tai malmipotentialisiksi arveltuihin vyöhykkeisiin (Papunen & Idman 1982). Hydrotermisesti muuttuneissa kromispinelleissä ZnO-pitoisuus saattaa olla jopa 20 p.% (esim. Wylie et al., 1987; Béziat & Monchoux 1991).

Vammalan Ni-vyöhykkeen Svekofennisten ultraemäksisten intruusioiden kromispinellin koostumusta ja genetiikkaa on äskettäin tutkittu yksityiskohtaisesti. Peltonen & Lamberg (1991) ja Lamberg & Peltonen (1991; *in prep*) havaitsivat, että Ni-Cu mineralisoituneiden intruusioiden (Vammala, Ekajoki) kromispinellin Zn-pitoisuus on systemaattisesti kohonnut verrattuna mineralisoitumattomiksi tunnettujen intruusioiden (Posionlahti, Murto) kromispinelliin. Analysoiduissa Zn-tasoissa on päällekkäisyyttä, mutta kromispinelliä, jonka ZnO-pitoisuus ylittää 0.8 p.% tavattiin lähes ainoastaan mineralisoituneissa intruusiassa.

Tämä tutkimus on saanut alkunsa Peltosen ja Lambergin (1991) ehdotuksesta, että kromispinellin Zn-pitoisuutta kannattaisi testata malminetsintämenetelmänä Vammalan (Pori-Kylmäkoski) Ni-vyöhykkeellä, vaikka perimmäiset syyt magmaattisen kromispinellin kohonneeseen Zn-pitoisuuteen ovatkin huonosti tunnettuja. Sulfidisulan erkaantumiseen johtaneita prosesseja sekä sinkin jakaantumista eri faasien kesken Svekofennisissä ultramafisissa-mafisissa intruusiassa ei tunneta hyvin.

Menetelmän malminetsinnällisiä mahdollisuuksia on kuitenkin aiheellista testata jo lupaavien alustavien tulosten perusteella. Tiedossamme ei ole yhtään tutkimusta detritaalisesta kromispinellin koostumuksen soveltamisesta käytännön nikkelimalminetsintätyöhön, vaikka oletamme, että tätä lupaavaa menetelmää on testattu Kanadassa ja/tai Australiassa malminetsintäyhtiöiden toimesta.

Geologian tutkimuskeskuksessa on käynnissä tai käynnistymässä laajoja tutkimushankkeita ("*Global Geoscience Transsect*") -hanke ja "*Ni-malmipro-*

*jekti*"), jotka selvittelevät myös Svekofennisten intruusioiden genetiikkaa ja nikkelimalmipotentialia. Tavoitteenamme on ollut saattaa tämä detritaalisien

kromispinellin esiintymistä ja koostumusta käsittelevä alustava ja toistaiseksi hyvin rajallinen testi-aineistomme julkiseksi mahdollisimman nopeasti.

## 2 VAMMALAN NIKKELI-KUPARIMALMI JA SEN ISÄNTÄKIVI

Vammalan (Stormin) nikkeli-kupariesiintymä sijaitsee Lounais-Suomessa, Porista Kylmäkoskelle ulottuvalla "Vammalan Ni-vyöhykkeellä", n. 5 km Vammalan kaupungin keskustasta itään. Nikkelipitoisia kansannäytteitä tältä vyöhykkeeltä oli tullut Outokumpu Oy:n malminetsinnän tietoon jo 1950-luvulla. Ensimmäiset viitteet Vammalan malmista saatiin, kun Stormin kylästä kotoisin ollut maanviljelijä vuonna 1960 lähetti hiukan sulfideja sisältäviä peridotiittilohkareita tutkittavaksi. Pian tämän jälkeen löydettiin ei-ekonomisia mineralisaatioita pienistä peridotiittipiipuista ja -linseistä. Vasta vuosina 1975-77 esiintymiä päästiin koerikastamaan ja täysimittainen kaivostoiminta Vammalassa alkoi vuonna 1978 (Häkli et al. 1979; Papunen 1986).

Vammalan Ni-Cu-malmin isäntäkivi on ultramafinen kerrosrakenteinen intruusio. Intruusio koostuu kolmesta päällekkäisestä, 100-150 metrin paksuisesta "patjasta", jotka poikkeavat toisistaan tekstuurltaan, rakenteeltaan ja koostumukseltaan (Häkli et al. 1979; Peltonen & Korsman 1990; Peltonen 1990). Malmi sijaitsee yksinomaan alimmassa peridotiitti(oliviini-kromiittikumulaatti)kerroksessa. Tärkeimmät malmiot ovat Sotka-Korvalampi ja Syvä-malmi. Yleisimmät sulfidimineraalit ovat magneetikiisu, pentlandiitti ja kuparikiisu. Kromispinelli on yleisin oksidimineraali. Primaari ilmeniitti on harvinainen ja magnetiittia esiintyy yleisesti sulfidien hapettumisen ja oliviinin serpentinisaaion tuotteena. Ultramafiittia ympäröivät kivilajit ovat korkean asteen granaatti-, granaatti-kordieriitti- ja granaattikordieriitti-sillimaniitti-gneissejä (Heikkilä-Harinen 1975).

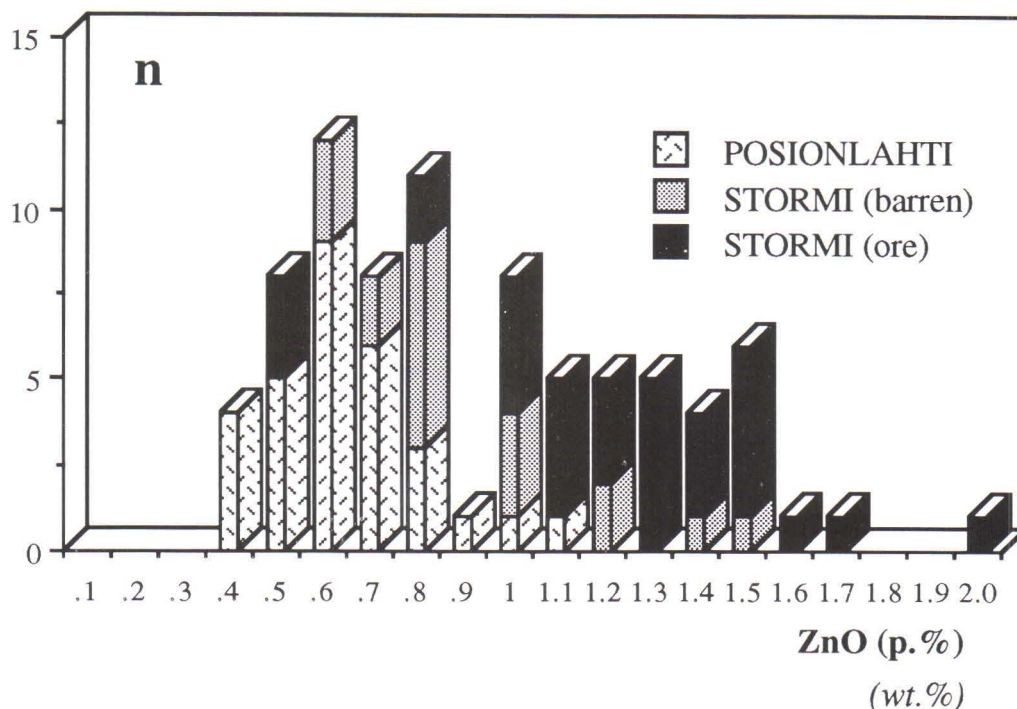
## 3 KROMISPINELLIN ESIINTYMINEN JA MINERALOGIA VAMMALAN ALUEEN ULTRAMAFISISSA INTRUUSIOISSA

Vammalan alueen ultramafisissa intruusioissa kromispinelliä tavataan eu- tai subhedrisinä pieninä rakeina. Raekoko vaihtelee välillä 10-300 µm, mutta on yleisimmin 20-40 µm. Kromispinellit esiintyvät kohtalaisen tasaisena piroteena kaikkialla intruusioissa, eivätkä ole kerrosintruusioiden tapaan kasautuneet selvästi rajattaviksi monomineraalisiksi kerroksiksi. Vammalan ultramafiitissa kromispinelliä on runsaimmin alimman peridotiitin malmihorison-teissa. Tavallisimmin kromispinellit ovat oliviinin sulkeumina. Kromispinelli on läpikulkevassa valossa opaakki tai heikosti läpikuultava ja punaruskea. Intruusioiden kromispinelli on varsin tervettä ja muuttunut ferritkromiitiksi ja magnetiitiksi aino-astaan rakeiden reunoilta ja raoista. Kromispinellin esiintyminen on mineralisoituneissa ja sulfidi-köyhissä intruusioissa samankaltaista (Peltonen & Lamberg 1991).

Vammalan alueen ultramafisten intruusioiden kromispinellin mineraalikemiaa on aikaisemmin tutkittu yksityiskohtaisesti. Kromispinellien todettiin olevan koostumukseltaan ja vyöhykkeisyydeltään hyvin erikoisia verrattaessa niitä muun tyyppisten mafisten-ultramafisten muodostumien sisältämiin kromispinelleihin. Mineralisoitumattomiksi tiedettyihin intruusioihin verrattuna on mineralisoituneiden intruusioiden kromispinellien Zn-pitoisuus huomattavasti kohonnut. Sinkkitasoissa on päällekkäi-

syyttä, mutta kromispinellejä, joiden ZnO-pitoisuus ylittää 0.8 paino-% tavattiin lähes yksinomaan malmiutuneissa intruusioissa. Malminetsinnällisten sovellutusten kannalta erityisen rohkaiseva oli havainto, että kromispinellin Zn-pitoisuus oli suhteellisesti kohonnut malmiutuneen intruusion sulfidittomassakin horisontissa (kuva 1). Kuvan 1 aineisto on vain kahdesta intruusioista (Posionlahti, Vammala), mutta jakautumakuva on samanlainen myös Ekojoen (subekonominen) ja Murron (ei sulfideja) intruusioiden aineistolle (Lamberg & Peltonen *in prep*).

Sekä Vammalan alueen ultramafisissa intruusiossa että metapikriittisissä, mahdollisesti suprakrustisissa muodostumissa, (Peltonen 1990) esiintyy vihreää Mg-Al spinelliä (pleonasti-herkyniitti). Metapikriittisissä kivissä "vihreää spinelliä" syntyy kloriitin progradisen hajoamisreaktion tuloksena ja se on siis uusi metamorfinen faasi. Petrografisesti on todettavissa, että intruusioissa "vihreä spinelli" esiintyy muodoltaan magmaattisen kromispinellin reunoilla ja muodostaa uloimman kuoren jatkuvassa vyöhykkeisyysarjassa opaakki - tumman ruskea - vaalean ruskea - vihreä kromispinelli. Tällä tavalla vyöhykkeiset kromispinellirakeet ovat aina oliviini—amfiboli kontaktissa tai amfibolin sulkeumana. Lamberg ja Peltonen (*in prep*) esittävätkin, että vyöhykkeisyys on mahdollisesti kasvuvyöhyk-



Kuva 1. (= Peltonen & Lamberg 1991, p. 30, Fig.7). Kromispinellien sinkkipitoisuuksia Posionlahden ja Vammalan (Stormin) intruusioissa, n=analyysien lukumäärä.

Fig. 1. ZnO-contents (wt.%) of Cr-spinels from barren Posionlahti intrusion and from mineralised and barren layers of ore-bearing Vammala (Stormi) intrusion, n=number of analyses.

keisyyttä varhaisen magmaattisen kromispinellirakeen pinnalle myöhäisestä alkali, H<sub>2</sub>O ja Zn-rikkaasta interkumulussulasta. "Vihreiden spinellien" ZnO-pitoisuus saattaa ylittää 2 paino-%. Koska "vihreiden spinellien" synty poikkeaa magmaattisten kromispinellien synnystä, ei niitä tule analysoida

tutkittaessa kromispinellin koostumusta malminetsintätarkoituksessa. Heijastuvassa valossa "vihreät spinellit" ovat erotettavissa magmaattisista kromispinelleistä heikomman heijastuskykynsä (R) perusteella. Vihreiden spinellien heijastavuus on lähellä silikaattien heijastavuutta.

#### 4 VAMMALAN (STORMIN) ALUEEN GLASIAALIGEOLGIA

Stormin alueelta on malminetsinnällisten maaperätutkimusten ja maaperäkartoitusten yhteydessä löydetty kahden eri-ikäisen jäätikön virtauksen kerrostamat moreenipatjat (Virkkala 1970, Hirvas & Kokkola 1980, Kejonen 1986). Moreenipatjoista alempi (vanhempi) on harmaata hienoainemoreenia, joka on kerrostunut suunnasta 310–320° tulleen jäätikön virtauksen aikana. Ylempi (nuorempi) moreeni on ruskeaa hiekkamoreenia, joka on kerrostunut suunnasta 280–290°. Ylemmän moreenin kerrostanut jäätikkö on tärkein moreeniaineksen kuljettaja tutkimusalueella. Lohkareiden kulkeutu-

mismatkat pohjamoreenissa Stormin alueella ovat (Kokkola 1981) maksimissaan noin kuusi kilometriä. Moreenin hienoaineksen kulkeutumismatkoista alueella ei ole varmaa tietoa (esim. Kokkola 1989).

Stormin alueen moreenit ovat paikoin savikoiden peitossa, koska jäätikön perädyttyä meri peitti alueen. Tavallisinta tämä on jokilaaksoissa, joissa savea ja muita hienosedimenttejä on noin viiden metrin paksuudelta.



## 5 MOREENIN RASKASMINERAALIT MALMINETSINNÄN APUNA

Moreenin raskasmineraaleja käytetään malminetsinnässä apuna joko itsenäisinä rakeina tai jauhettuina fraktioina. Yleensä raskasmineraaleiksi lasketaan mineraalit, joiden ominaispaino on yli  $3.0 \text{ g/cm}^3$ . Malminetsintätutkimuksissa käytetään kuitenkin etsittävän mineraalin mukaista ominaispainorajaa. Esimerkiksi kultatutkimuksissa voidaan päähuomio kiinnittää ominaispainoltaan yli  $15.0 \text{ g/cm}^3$  oleviin mineraalirakeisiin. Tavallisimmin raskasfraktio tutkitaan ensin mikroskoopilla ja sen jälkeen jauhetaan ja analysoidaan (XRF, AAS, OES, INAA). Yksittäisiä rakeita ja mineraaliseoksia voidaan lisäksi tutkia XRD:lla tai mikroanalysaattorilla. Suomessa raskasmineraalien käyttöä malminetsinnässä ovat tutkineet mm. Lindmark (1977), Aumo ja Salonen (1986), Huhta (1988) sekä Peuraniemi (1990). Alueellisia raskasmineraalitutkimuksia ovat Suomessa tehneet Glumoff ja Nikkarinen (1991) ja Ruotsissa Brundin ja Bergström (1977).

Moreenin raskasmineraalien rikastuksessa käytetään apuna tavallisimmin vaskoolia, ns. spiraalirikastimia

tai raskasnesteitä. Raskasnesteillä saadaan aikaan ominaispainoltaan tarkimmat raskasfraktiot, mutta nesteitä on hankala käyttää etenkin maasto-olosuhteissa ja suurten näytteiden käsittelyssä. Vettä apuna käyttävissä rikastusmenetelmissä on haittana se, että raskasfraktiot ovat harvoin puhtaita, ts. mukana on myös kevyitä mineraaleja ja pienet raskasmineraalirakeet voivat käsittelyn aikana hävitä. Esimerkiksi spiraalirikastimella alle  $0.06 \text{ mm:n}$  kultarakeiden talteensaanti voi olla vain 30%. Saantia voidaan parantaa mm. käyttämällä vedessä pintajännitystä alentavia aineita (Huhta 1989).

Malminetsinnässä yleisimmin apuna käytetyt raskasmineraalit ovat alkuaineita (kulta, platina) tai oksideja (kassiteriitti, kromiitti, scheeliitti), koska ne kestävät parhaiten jäätikkökuljetuksessa eivätkä rapaudu helposti moreenissa pohjavedenpinnan yläpuolella. Myös joitakin sulfidimineraaleja (pyriitti, arseenikiisu, lyijyhohde) voidaan käyttää varsinkin, jos tutkittava näyte otetaan pohjavedenpinnan alapuolelta.

## 6 TUTKITUT NÄYTTEET

Stormin ultramafiitti ja malmi ("Syvämalmi") puhkeavat pintaan ( $x=6803.26$ ,  $y=2448.47$ ) nykyisen sortuma-alueen kohdalla, joka on valittu tämän työn referenssipisteeksi (kuva 2). Muodostuman puhkeama on ollut n. 100 m halkaisijaltaan ja lukuisista pienistä linsseistä koostuvan malminpuhkeaman yhteishalkaisija n. 50 m. Malmi on sortunut pohjoiskontaktiaan pitkin ja on ollut puh-

keamassa hyvälaatuinen ja pirotetyyppinen (Heikki Saarnio, suul. tiedonanto).

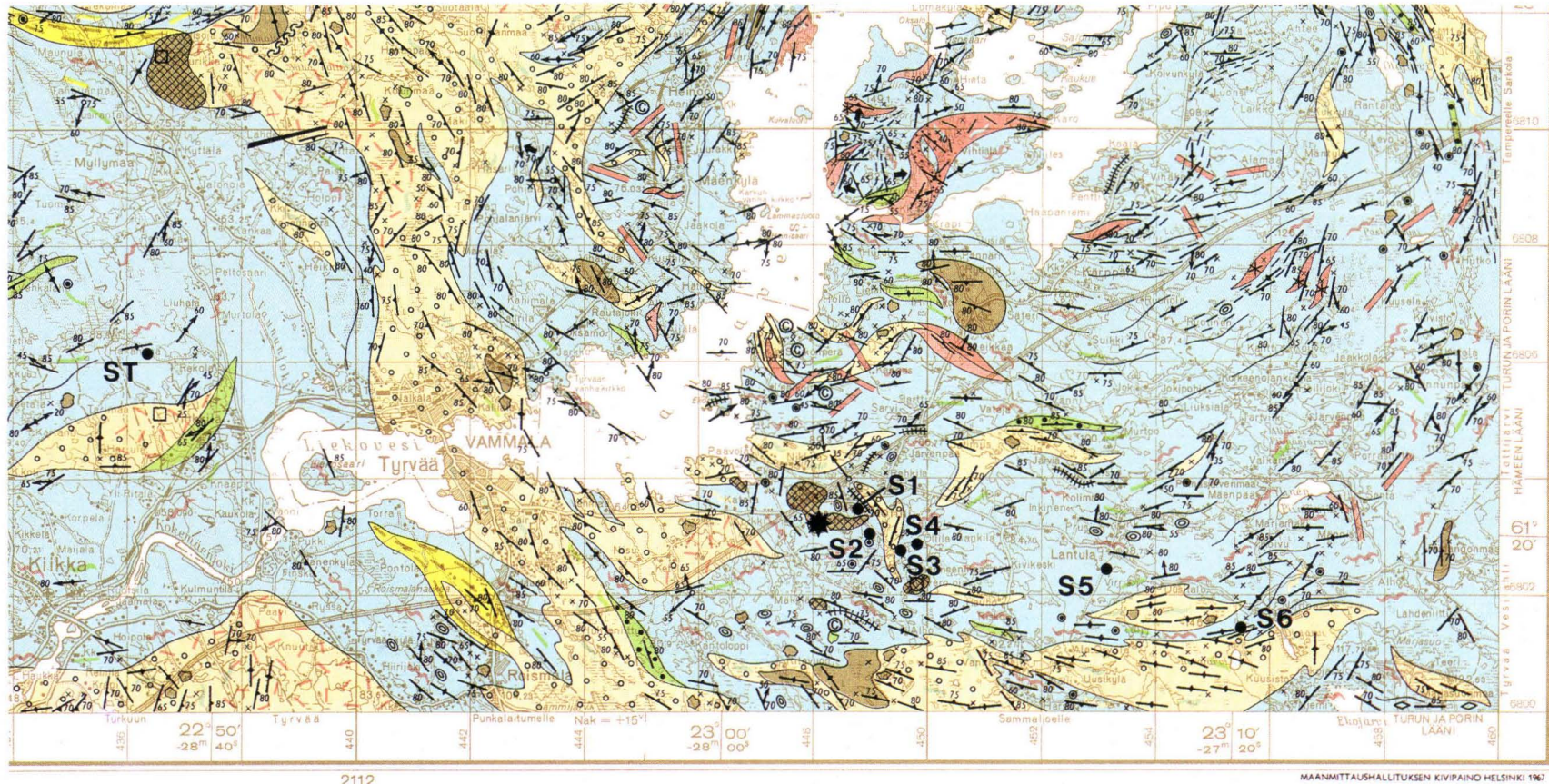
Näytteet (6 kpl) otettiin lapiolla nuoremman moreenipatjan C-horisontista puhkeamasta jäätikön virtaussuuntaan. Lisäksi otettiin yksi taustanäyte (ST) Vammalan luoteispuolelta.

Taulukko 1. Näytepisteiden koordinaatit  
Table 1. Sample coordinates

NÄYTE Sample#	x=	y=	KARTTALEHTI Map sheet
S1	6803.32	2448.78	2121 07
S2	6803.06	2448.89	2121 07
S3	6802.80	2449.41	2121 07
S4	6802.82	2449.71	2121 07
S5	6802.47	2453.10	2121 10
S6	6801.38	2455.38	2121 10
ST	6806.16	2436.48	2121 04

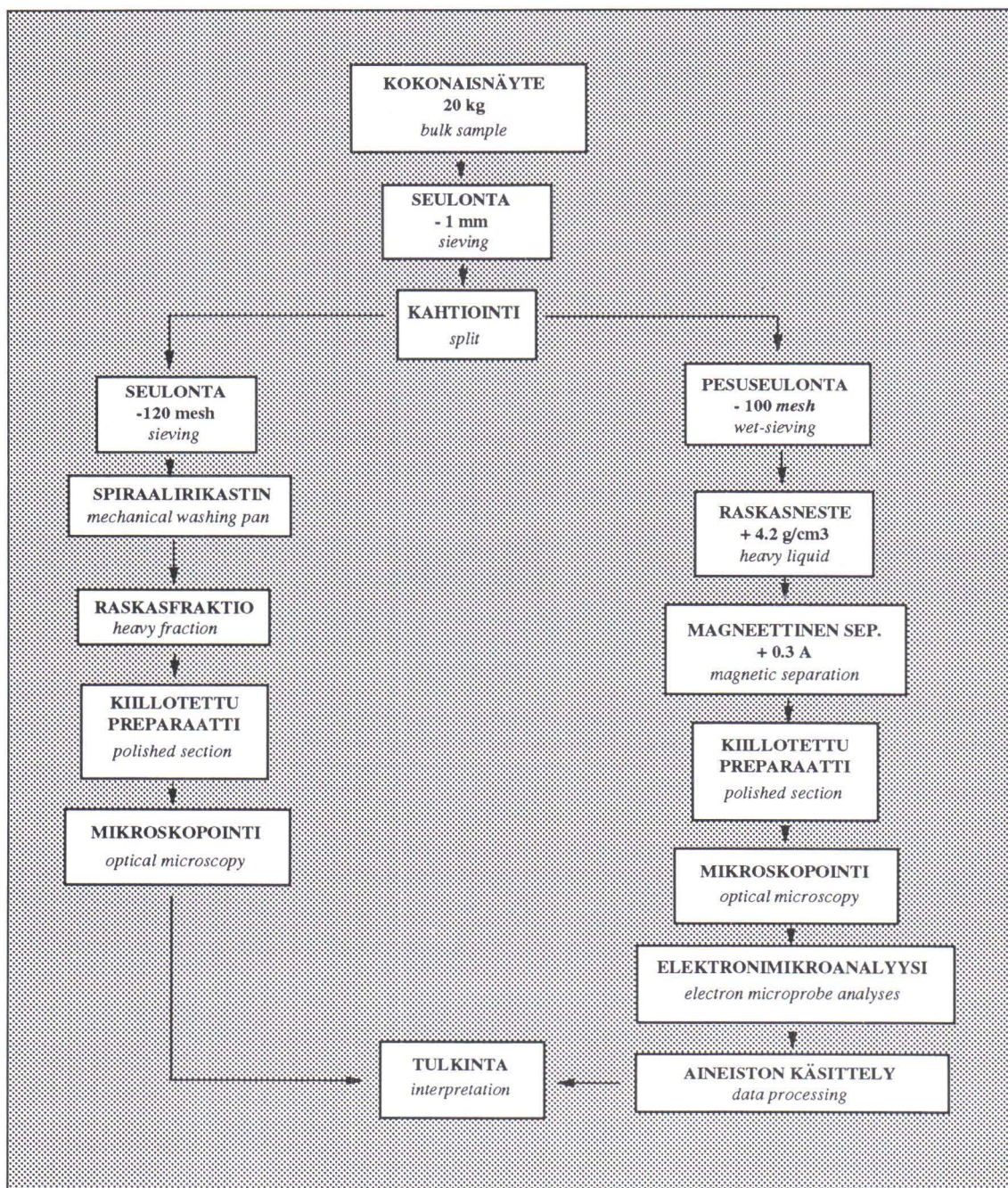
Näytettä otettiin kustakin pisteestä 12 litraa eli noin 20 kg. Näytteenottopisteiksi valittiin valmiita oja- tai muita tieleikkauksia, koska moreenin kivisyys ja

savikerrostumat hankaloittivat näytteenottoa tasaisilla pohjamoreenialueilla.



Kuva 2. Tutkittujen näytteiden sijainti. Referenssipisteeksi valittu sortuma-alueen malmipuhkeama on merkitty tähdellä. Ote Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkartasta 2121, Vammala (Matisto 1967).

Fig. 2. Till sample localities superimposed on the map of Pre-Quaternary rocks (Geological Survey of Finland, map sheet 2121, Vammala). Ultramafic intrusions are outlined by cross-hatched brown pattern. Outcrop of disseminated Vammala Ni-Cu sulfide ore is indicated by the star.



Kuva 3. Näytteiden käsittelykaavio.

Fig. 3. Flow sheet of the mineralogical techniques applied for samples.

## 7 NÄYTTEIDEN ESIKÄSITTELY

Näytteet S1, S2 ja S5 pesuseulottiin ja näytteet S3, S4, S6 ja ST kuivaseulottiin alle kahden millimetrin fraktioon. Tämän jälkeen näytteet kuivattiin ja seulottiin alle yhden millimetrin. Saadut fraktiot jaettiin kahtiointilaitteella kahdeksi yhtä suureksi osaksi

(kuva 3). Kromispinellin separoimiseksi kahtioituista näytteistä testattiin kahta vaihtoehtoista menetelmää: mineralogista separointia Geologian tutkimuskeskuksen mineralogian laboratoriossa sekä rikastusta nk. spiraalirikastimella (Huhta 1989).

### 7.1 Mineraloginen separointi

Koska kromispinellin raekoko oletetussa rapautumalähteessä (Stormin ultramafiitissa) tiedettiin hyvin pieneksi, keskimäärin vain n. 30  $\mu\text{m}$ :ksi, pienennettiin näytemäärää edelleen pesemällä kahtioitu <1mm näyte tärypöydällä ja seulomalla se -100 mesh:n raekokoon. Kuivattu -100 mesh:n fraktio käsiteltiin kokonaisuudessaan raskasneesteellä (kon-

sentroitu Clericili-liuos: 4.2 g/cm<sup>3</sup>). Raskasfraktio ajettiin Franzin isodynaamisella separaattorilla, missä yhteydessä magnetiitti poistettiin ja 0.3 A ferromagneettinen fraktio otettiin talteen. Kromispinelli ja ilmeniitti menevät molemmat +4.2g/cm<sup>3</sup> fraktioon, eivätkä eroa magneettisen susceptibiliteettinsa perusteella.

Taulukko 2. Näytemäärät mineralogisen separoinnin eri vaiheissa. Viimeisessä sarakkeessa lopullinen raskasmineraalirikaste.

Table 2. Sample weights at different stages during mineralogical separation. The amount of final concentrate is in the last column.

NÄYTE Sample#	ALKUPAINO weight (kg)	- 1 mm (kahtioitu, divided) (g)	- 100 mesh (wet-sieved) (g)	+0.3A +4.2g/cm <sup>3</sup> (g)
S1	≈ 20	2230	518	0,71
S2	≈ 20	3765	960	2,50
S3	≈ 20	3048	403	0,17
S4	≈ 20	2400	400	0,71
S5	≈ 20	5242	1540	0,46
S6	≈ 20	5085	1150	0,95
ST	≈ 20	3740	857	1,55

### 7.2 Rikastus spiraalirikastimella

Raskasfraktion rikastus tehtiin GOLD HOUND-spiraalirikastimella, joka erottaa näyteistä ensimmäiseksi raskaimmat mineraalit. Aluksi rikastettiin osa kahdesta näytteestä (S2 ja S3) suoraan alle yhden millimetrin fraktiosta. Tulos oli kuitenkin pienten mineraalirakeiden osalta huono, koska rikastin käsittelee samanpainoisia rakeita samalla tavalla riippumatta raekoosta. Tämän vuoksi kaikki näytteet seulottiin alle 0.125 mm:n (-120 mesh) raekokoon

ennen rikastusta. Tätä fraktiota näytteistä otettiin rikastettavaksi 600-1200 g. Spiraalirikastimen ajokulmana käytettiin 45-50° ja ajoaikana 15-20 min. Ajokulma oli loivempi kuin aikaisemmissa rikastuksissa käytetty 35-40°. Spiraalirikastimella saatuja fraktioita tutkittiin stereomikroskoopin avulla, mutta hyvin pienestä raekoosta johtuen ei kromispinellejä varmuudella pystytty tunnistamaan.

## 8 RASKASMINERAALIRIKASTEET

### 8.1 Mineraalikoostumus

Oksidimineraalien määrittämiseksi ja analysoimiseksi raskasmineraalirikasteista valmistettiin kiilloitetut pintapreparaatit. Raskasneesteellä + Franzin separaattorilla saatujen rikasteiden mineraalikoos-

tumus vaihteli suuresti (taulukko 3; kuva 4). Rikastettu taustanäyte (ST) oli epäpuhdas oksidirikaste ja sen silikaattipitoisuus on korkein. Lasketuista rakeista (500) ei yksikään ollut kromi-

spinelli. Näytteen oksidit ovat ilmeniittä ja hematitiittiä. Näytteessä S1, joka on välittömästi kaivoksen sortuma-alueen pohjoispuolella, ja siten hie-man sivussa ennakoitusta 285°-suuntaisesta disper-sioviuhkasta, kromispinellin määrä on hiukan taus-

tanäytettä korkeampi (2,8 %). Silikaattien osuus on alhainen ja näyte koostuu pääasiassa ilmeniitistä. Näytteissä S2-S6 todettiin systemaattista mineraalikoostumuksen muutosta.

Taulukko 3. Moreeninäytteiden S1-S6 ja ST raskasmineraalirikasteiden (- 100 mesh; +4.2g/cm<sup>3</sup>; +0,3 A) mineraalikoostumus. Määrittäminen pistelaskurilla tasavälisestä lasken-taverkosta. Luvut ovat rakeiden lukumääriä (ei pinta-aloja)/preparaatti.

Table 3. Mineralogical composition of heavy mineral concentrates (-100 mesh; +4.2g/cm<sup>3</sup>; +0,3 A) of till samples. 500 grains were counted.

NÄYTE Sample#	S1	S2	S3	S4	S5	S6	ST
KROMISPINELLI <i>chrome spinel</i>	14	298	327	179	86	39	0
ILMENIITTI <i>ilmenite</i>	449	130	71	288	319	411	323
HEMATIITTI <i>hematite</i>	18	12	98	27	73	34	59
MAGNETIITTI <i>magnetite</i>	0	3	1	4	1	0	1
SILIKAATIT YM. <i>non-opaques</i>	19	56	2	2	21	16	117
SULFIDIT <i>sulfides</i>	0	1	1	0	0	0	0
rakeita laskettu <i>total</i>	500	500	500	500	500	500	500

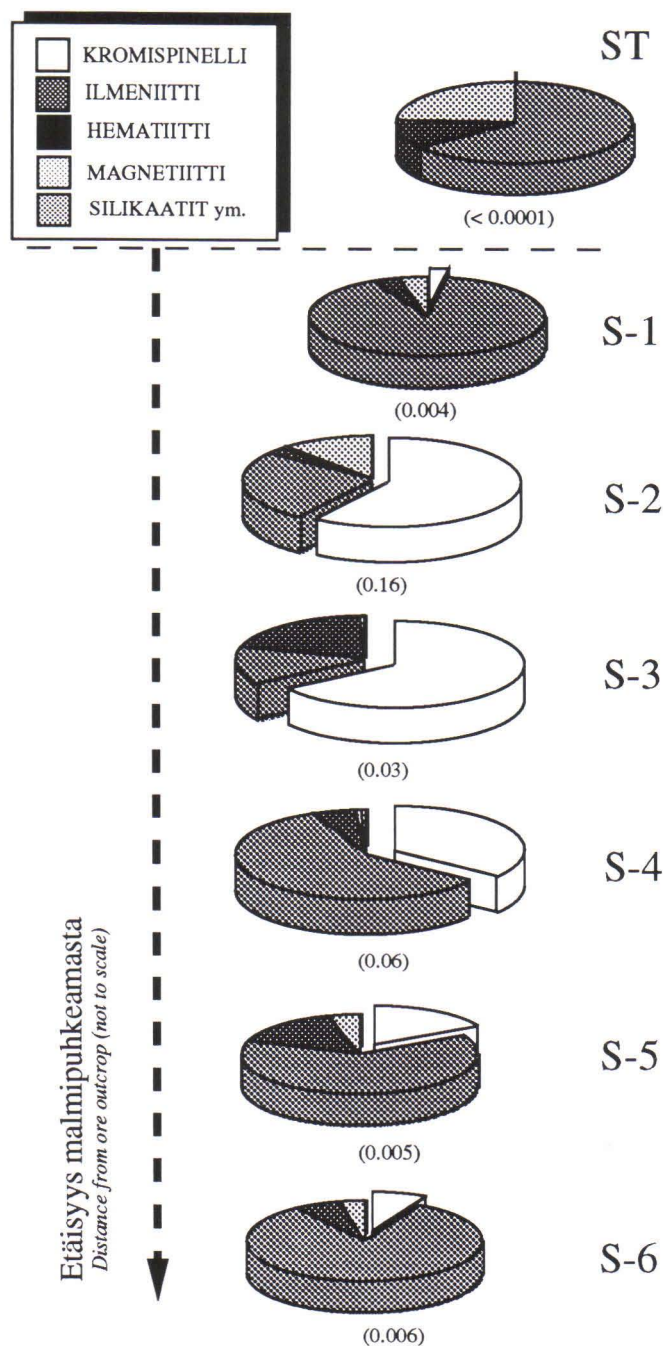
Näytteissä S1 ja S2 kromispinellin osuus on hyvin suuri (59,6 ja 65,4 %) ja ilmeniitin osuus vastaavasti pieni. Oletetusta rapautumalähteestä etäännyttäessä (S4-S6) kromispinellin osuus rikasteesta syste-maattisesti pienenee, ollen kuitenkin vielä etäisimmässäkin (n. 7 km) näytteessä 7,8 %. Mui-den mineraalien kuin kromispinellin ja ilmeniitin osuuksissa ei ole systemaattista vaihtelua. Sulfidi-mineraalit ovat rikasteissa harvinaisia.

Spiraalirikastetut fraktiot ovat mineralogisesti hete-rogeenisempia (taulukko 4), ja opaakkien oksidien osuus on niissä pienempi kuin em. rikasteissa. Muiden mineraalien kuin opaakkien oksidien osuus on tavallisesti n. 50 %, mutta "puhtaimmassa" spi-raalirikasteessa vain n. 20 %. Raskasnestellä ja magneettisella separaattorilla separoituissa näyt-teissä (taulukko 3) muita kuin opaakkeja mineraaleja oli vain 3-30 %.

Taulukko 4. Kromispinellin %-osuus kahdella eri menetelmällä rikastetuista raskas-mineraalifraktioista.

Table 4. Comparison of the proportions (%) of chrome spinel in the final heavy min-eral concentrates prepared by two alternative methods

	ST	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Raskasneste+ Franzin sep. <i>Heavy liquid + magnetic separation</i>	< 0,1	2,8	59,6	65,4	35,8	17,2	7,8
Spiraalirikastin <i>Mechanical washing pan</i>	< 0,1	2,0	8,6	10,0	47,4	25,4	30,0



Kuva 4. Raskasmineraalifraktioiden (raskasneste+Franzin separaattori) mineralogiset koostumukset piirakkadiagrammina esitettynä. Näytteiden etäisyydet malmipuhkeamasta eivät ole verrannollisia (vrt. kuva 2). Diagrammien alla on sulussa esitetty separoidun kromispinellin absoluuttinen määrä grammoina/100g +4.2 g/cm<sup>3</sup> (-100 mesh, +0.3A) fraktiota.

Fig. 4. Proportion of minerals in +4.2 g/cm<sup>3</sup> (-100 mesh, +0.3A) fraction. Cr-spinel content (white) of S1, which is slightly off the approximated glaciogenic dispersion fan, is relatively low. In samples S2 and S3, the proportion of Cr-spinel abruptly increases but later falls as the transportation distance from the ore outcrop increases (7.2 kms for S6). Relative distances are not to scale. The amount of Cr-spinel per 100 gms of final concentrate is indicated below the pies.

Kromispinellin %-osuuden vaihtelu spiraalirikastimella saaduissa fraktioissa johtuu ainakin seuraavista osatekijöistä.

- a) alle 1mm:n näytettä ei käytetty kokonaan kaikissa osanäytteissä S1-ST
- b) osanäytteiden raskasfraktion mineraalikoostumus ja mineraalien määräsuhteet vaihtelevat alku-peräisnäytteissä

c) rikastusparametrit eivät pysyneet samoina ajosta toiseen

Tämän vuoksi spiraalirikastimella saadut raskasfraktiot ovat ainakin tässä tutkimuksessa enemmän kvalitatiivisia kuin kvantitatiivisia.

## 8.2 Kromispinellin petrografia

Raskasnesteeillä + Franzin separaattorilla rikastetuissa fraktioissa kromispinellit ovat silmiinpistävän "terveitä" ja muuttumattomia (kuva 5a-b). Vammalan alueen ultramafisissa intruusiosta kromispinelli on kuitenkin usein muuttunut reunoilta ferritkromiitiksi ja edelleen magnetiitiksi ja särkymisraot varsinkin suurissa rakeissa ovat yleisiä. Onkin todennäköistä, että em. tavalla voimakkaan magneettisen ulkokuoren omaavat rakeet ovat poistuneet rikasteesta yhdessä magnetiitin kanssa. Rakoja omaavat rakeet ovat myös voineet särkyä edelleen glasigeenisten ja/tai supergeenisten prosessien vaikutuksesta ja näin näyte on selektiivisesti rikastunut terveiden kromispinellien suhteen. Kromispinellien magmaattisen koostumuksen tarkastelun kannalta tämä on pelkästään hyvä seikka.

Paitsi raekooltaan (kts. yllä), poikkeavat spiraalirikasteiden kromiitit em. fraktioiden kromiiteista petrografisesti. Reunoiltaan ferritkromiitiksi muuttuneet rakeet ovat spiraalirikasteissa yleisempiä ja toisinaan tavataan kromispinelli-ferritkromiitti-magnetiitti sekarakeita, joita on kuvattu myös Vammalan

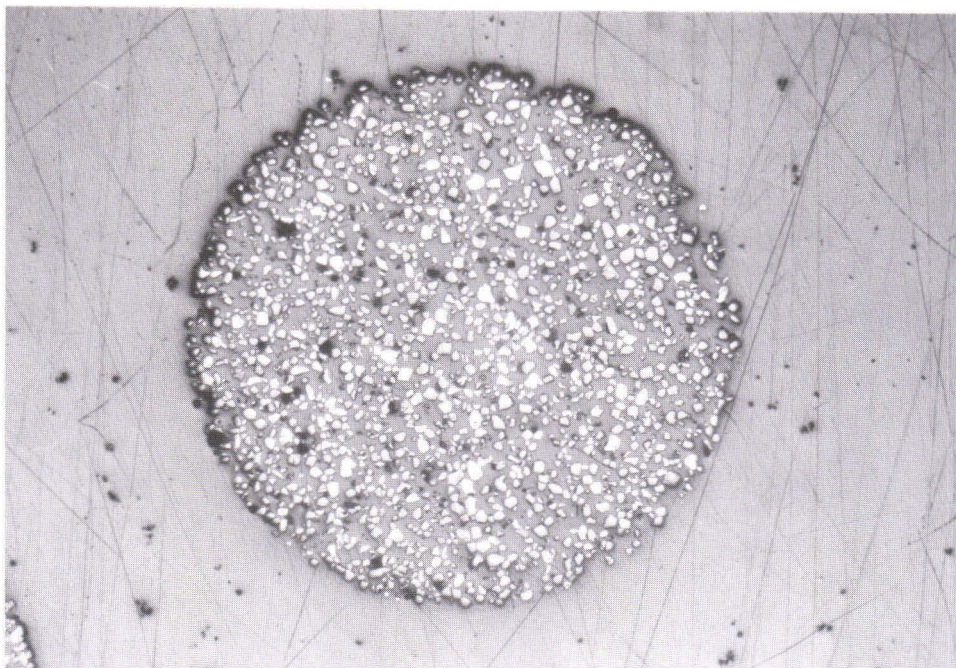
intruusiosta (Peltonen & Lamberg 1991). Myös magnetiitti on yleinen mineraali spiraalirikasteissa. Erityisesti kookkaat rakeet ovat voimakkaasti muuttuneita ja muodostavat yhteenkasvettumia muiden oksidien sekä silikaattien kanssa. Suuri raekoko (suurempi kuin Vammalan alueen intruusiosta todettu) ja muuttuminen viittaavat, että suuret rakeet, erityisesti spiraalirikasteessa S2, mutta myös S4-S6, ovat eri rapautumalähteestä kuin terveet, < 100 µm:n kokoiset, rakeet.

Kromispinelleissä tavataan toisinaan pieniä, kooltaan <10 µm olevia, hapettumattomia, sulfidimineraalisolkeumia. Samanlaisia sulkeumia esiintyy Vammalan ultramafiitin kromispinelleissä. Vaikka sulfidimineraalit ja sulfidirikkaat lohkarat rapautuvat (moroutuvat) maaperässä hyvin nopeasti, osoittaa em. havainto, että sulfidimineraalit voivat säilyä detritaalisen kromispinellin sulkeumina täysin muuttumattomina. Lisäksi havainto viittaa, että detritaalisen kromispinellin hila on terve ja mineraali on koostumukseltaan samanlainen kuin ennen supergeenisten prosessien vaikutusta.

## 8.3 Kromiitin raekokojakautuma

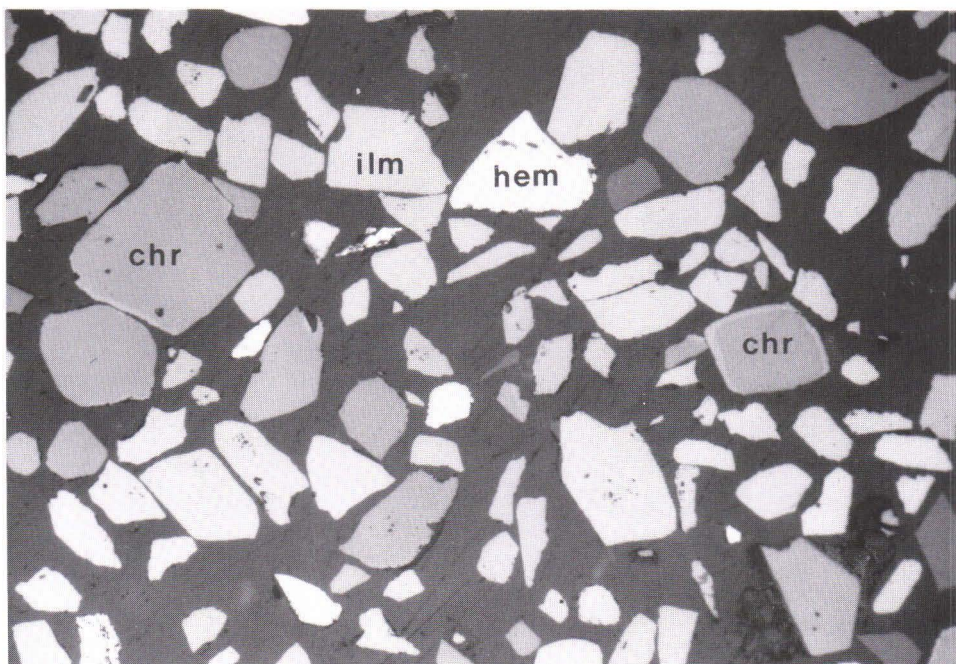
Separoitujen kromispinellien raekokoja pyrittiin mittaamaan sadasta rakeesta/näyte. Kaikissa rikasteissa rakeita ei kuitenkaan ollut riittävästi. Näistä laskettiin vaihtoehtoisesti joko 50 kpl tai kaikki tavatut kromispinellirakeet. Kromispinellien raekoot ja raekokojakautuma on kaikissa raskasnesteeillä + magneettisella separoinnilla saaduissa rikasteissa samankaltainen. Suurin osa tutkituista kromispinellirakeista on kooltaan (halkaisijaltaan) 40-70 µm, millä välillä kokopopulaatiossa on selvä maksimi (kuva 6a). Tätä pienempiä rakeita on hyvin niukasti, mutta jakautumakuvion häntä (tail) suurempia kokoluokkia kohti on loiva.

Spiraalirikastetuissa fraktioissa kromispinellin raekoko on merkittävästi suurempi (taulukko 5), tavallisesti noin 100 µm. Verrattaessa tätä Vammalan ultramafiitista määritettyyn kromispinellin raekokoon (kuva 6b), voidaan todeta, että spiraalirikastimella on onnistuttu rikastamaan vain hyvin pieni osuus ultramafiitista rapautuneista kromispinelleistä. Vaihtoehtoisesti suurin osa näistä rakeista saattaa olla muualta kuin Vammalan ultramafiitista peräisin. Tätä ei kuitenkaan tue havainto kromispinellin osuuden (kuva 4) ja absoluuttisen määrän kasvusta Stormin distaalipuolella taustanäytteeseen verrattuna.



Kuva 5a. Kiillotettu preparaatti (S3, raskasnestekäsittely + Franzin separaattori). Heijastuva valo. Preparaatin halkaisija on n. 5 mm.

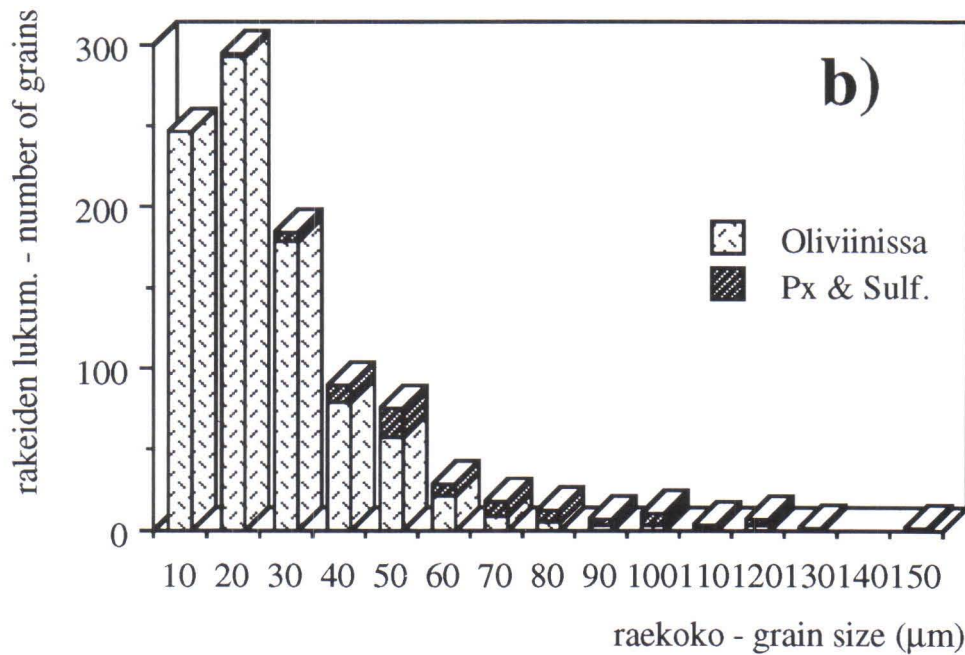
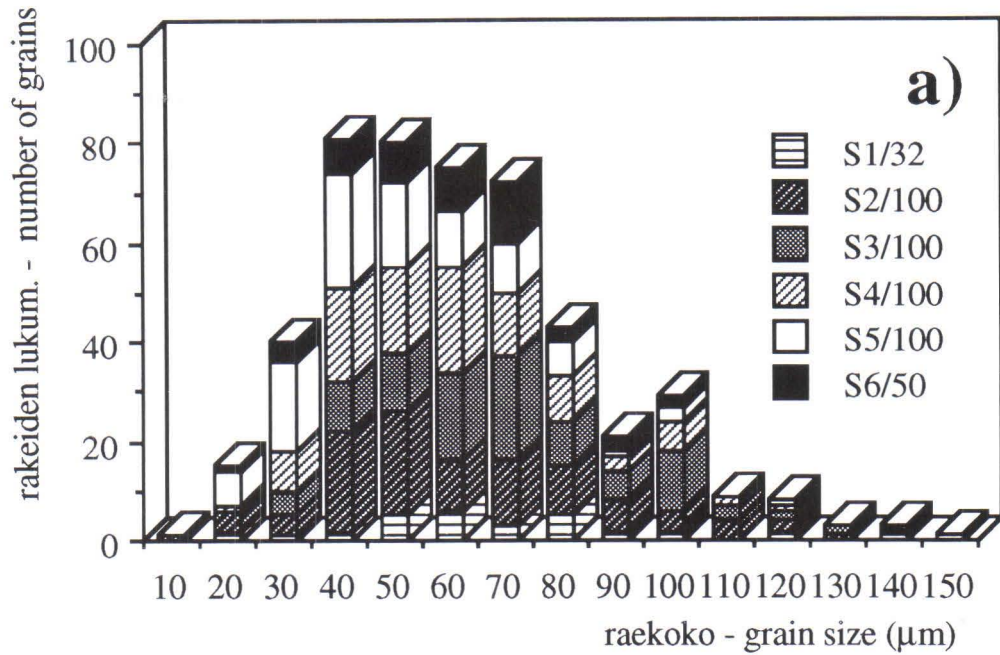
*Fig. 5a. Polished section of heavy mineral concentrate S3. Diameter is 5 mm.*



Kuva 5b. Tyypillinen esimerkki raskasmineraalirikasteesta (S2). Kromispinellirakeet (tumman harmaa, chr) ovat lähes omamuotoisia ja reunojen ohutta vaaleampaa ferritkromiittisaumaa lukuunottamatta terveitä. Rikasteesta n. 40 % on ilmeniittiä (vaalean harmaa, ilm) ja hematitiä (vaaleat, hem). Heijastuva valo. Kuvakentän halkaisija on 1,5 mm.

*Fig. 5b. A typical heavy mineral concentrate (S2) of till. Chrome spinel grains (dark grey, chr) are often euhedral and only slightly altered into "ferritchromit" close their rims. Ilmenite (light grey, ilm) and hematite (white, hem) cover up to 40 % of the concentrate. The field is 1.5 mm wide.*





Kuva 6a. Raskasnesteellä + Franzin separaattorilla rikastettujen näytteiden S1-S6 kromispinellien raekokojakautuma päällekkäispilariidiagrammina esitettynä.

Fig. 6 a. Grain size distribution of Cr-spinels in the heavy fraction ( $+4.2 \text{ g/cm}^3$ ) of till.

Kuva 6b. Vammalan ultramafisessa intruusiossa (alapatja) oliviinin sulkeumina sekä pyrokseenien ja sulfidien yhteydessä esiintyvien kromispinellien raekokojakautumat.

Fig. 6b. Grain size distribution of Cr-spinels in the postulated source lithology (Vammala olivine-chromite cumulates). Distribution is different for the population enclosed by olivine (light pattern) than for that associated with pyroxenes or sulfides.

Taulukko 5. Kromispinellin keskimääräinen raekoko kahdella eri menetelmällä rikastetuissa raskasmineraali-fraktioissa.

Table 5. Comparison of the mean grain size of chrome spinel in the heavy fractions prepared by two alternative methods

	ST (µm)	S1 (µm)	S2 (µm)	S3 (µm)	S4 (µm)	S5 (µm)	S6 (µm)
Raskasneste+ Franzin sep. Heavy liquid + magnetic separation	80	66	61	70	60	52	61
Spiraalirikastin Mechanical washing pan	100	90	165	74	93	99	104

Oletetun rapautumalähteen (Vammalan ultramafiitti /alin patja) kromispinellien raekokoja mitattiin kiillotetuista ohuthiistä. Raekokojakautuma poikkeaa selvästi moreenista separoitujen kromispinellien jakautumasta. Suurin keskittymä on välillä 10-30 µm, minkä kokoiset rakeet kokonaan puuttuvat kaikista rikasteista. Kun tarkastellaan Vammalan ultramafiitin kromispinellien kokojakautumaa eri kromispinellipopulaatioissa havaitaan, että oliviinin sulkeumana olevat rakeet (joita valtaosa on) ovat kooltaan 10-40 µm. Pyrokseenien ja sulfidimineraalien sulkeumana tai niiden yhteydessä olevat

rakeet puolestaan ovat tavallisimmin 30-80 µm ja niiden jakautuma muistuttaa raskasnesterikasteiden kokojakautumaa. Ei kuitenkaan ole luultavaa, että ainoastaan pyrokseenien ja sulfidien yhteydestä irronneita kromispinellejä tavattaisiin glasigeenisissä muodostumisissa, sillä Vammalan ultramafiitin malmihorisontissakin valtaosa kromispinelleistä on oliviinin sulkeumana ja kooltaan 10-30 µm. Todennäköinen selitys onkin, että pienin (ja runsain) kromispinellifraktio on hävitetty näytteiden rikastuksen aikana, esim. liian suuren veden virtaaman vaikutuksesta tärypöytäpesun aikana

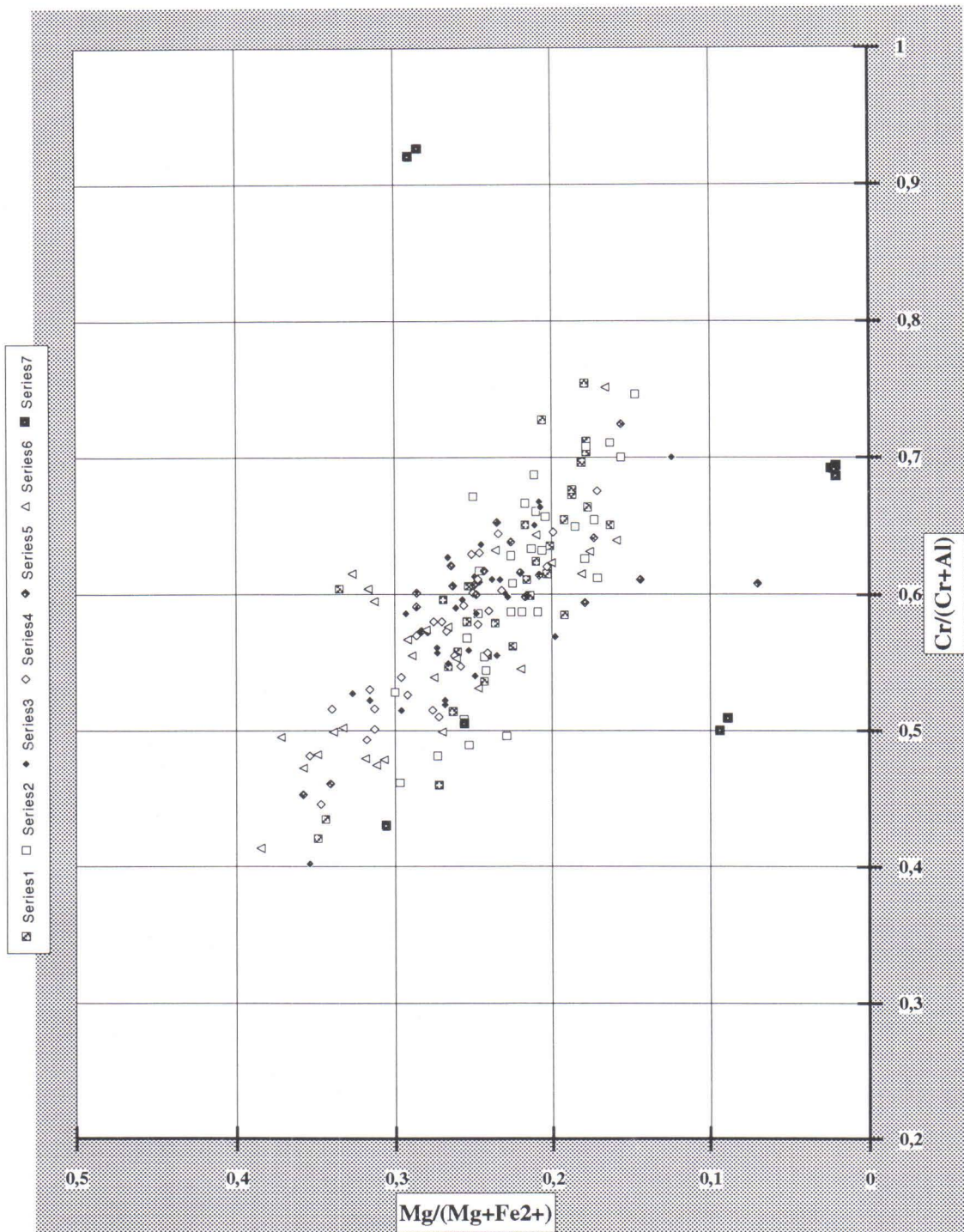
## 9 KROMISPINELLIN KOOSTUMUS

Kromispinellirakeiden koostumuksia määritettiin kiillotetuista pintapreparaateista Geologian tutkimuskeskuksen elektronimikroanalyyttorilla. Cr, Al, Mg ja Fe:n standardina käytettiin luonnon kromiittia ja Zn:n standardina synteettistä willemiittia. Kiihdytysjännitteenä oli 50 kV ja suihkuvirtana 15 nA. Analyysitulokset, niistä lasketut mineraalikaavat sekä kromispinellien luokittelussa käytetyt koostumusparametrit  $Mg^{\#}$  ( $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ),  $Cr^{\#}$  ( $Cr/(Cr+Al)$ ) sekä  $RFe^{3+}$  ( $Fe^{3+}/(Cr+Al+Fe^{3+})$ ) on esitetty liitteessä. Mineraalikaavat laskettiin tavanomaisesti 32 happea ja 24 kationia kohden. Analysoitu totaalityyppi jaettiin ferro- ja ferriraudaksi Droopin (1987) menetelmällä.

Kontrolloidaksimme mikroanalyysien vertailukelpoisuutta erityisesti sinkin osalta Peltosen ja Lambergin (1991) raportoimien tulosten kanssa, analysoimme aluksi muutamia kromispinellejä mineralisoituneesta Vammalan intruusiosta ja sulfiditomasta Murrin intruusiosta (liite) Vammalan intruusion kromiiteissa (analyysit STD/V1-V3) on 1.25, 1.27 ja 1.17 p.%. ZnO ja Murrin kromispinelleissä (STD/M1-M3) 0.63, 0.59 ja 0.57 p.% ZnO. Nämä

pitoisuudet ovat samankaltaisia kuin Peltosen ja Lambergin (1991) ja osoittavat, että tulokset ovat sinkin osalta vertailukelpoisia.

Näytteistä S1-S6 analysoitujen kromispinellien koostumus (liite) ja koostumusvaihtelu on samankaltaista kuin Vammalan alueen ultramafisissa intruusioissa (taulukko 6) ja osoittaa että detritaaliset kromispinellit ovat peräisin juuri tämän tyyppisistä intruusioista.  $Cr^{\#}$ - $Mg^{\#}$  diagrammilla (kuva 7) näytteiden S1-S6 kentät menevät täsmälleen päällekkäin alueella, joka on yhteneväinen Vammalan alueen intruusioiden kromispinellien koostumus-kentän kanssa (vrt. Peltonen & Lamberg 1991, Fig 3a). Näytteissä S1-S6 ei tavata juuri lainkaan (1 kpl) em. koostumusalueelta poikkeavia kromispinellejä, mikä osoittaa kromispinellien olevan peräisin yhdestä kivilajityypistä (oliviini-kromiittikumulaateista). Koska kromispinellien pääalkuainekoostumus on samankaltainen mineralisoituneissa ja sulfidittomissa intruusioissa, ei yksinomaan tällä perusteella voida kuitenkaan tehdä päätelmiä rapautumalähteen malmikriittisyydestä.



Kuva 7. Analysoitujen detritaalisten kromispinellien koostumukset  $Cr^{\#}$ - $Mg^{\#}$  -diagrammilla esitettynä. Näytteiden S1-S6 (Series 1-6) kromispinellien koostumuskenttä on lähes identtinen Vammalan ultramafisesta intrusiosta todetun koostumusalueen kanssa (vrt. Peltonen & Lamberg 1991, Fig.3a). Taustanäytteen kromispinellit (series 7) poikkeavat muiden näytteiden rakeista (kts. myös liite), eivätkä ole peräisin samantyyppisistä rapautumalähteistä.

Fig. 7. Electron microprobe analyses of detrital chrome spinel grains presented in  $Cr/(Cr+Al)$ - $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  diagram. Compositional fields are identical for samples S1-S6 (Series 1-6) and are comparable to that reported from the Vammala intrusion (Peltonen & Lamberg 1991). Compositions of chrome spinel grains analysed from the background sample (Series 7) are anomalous.

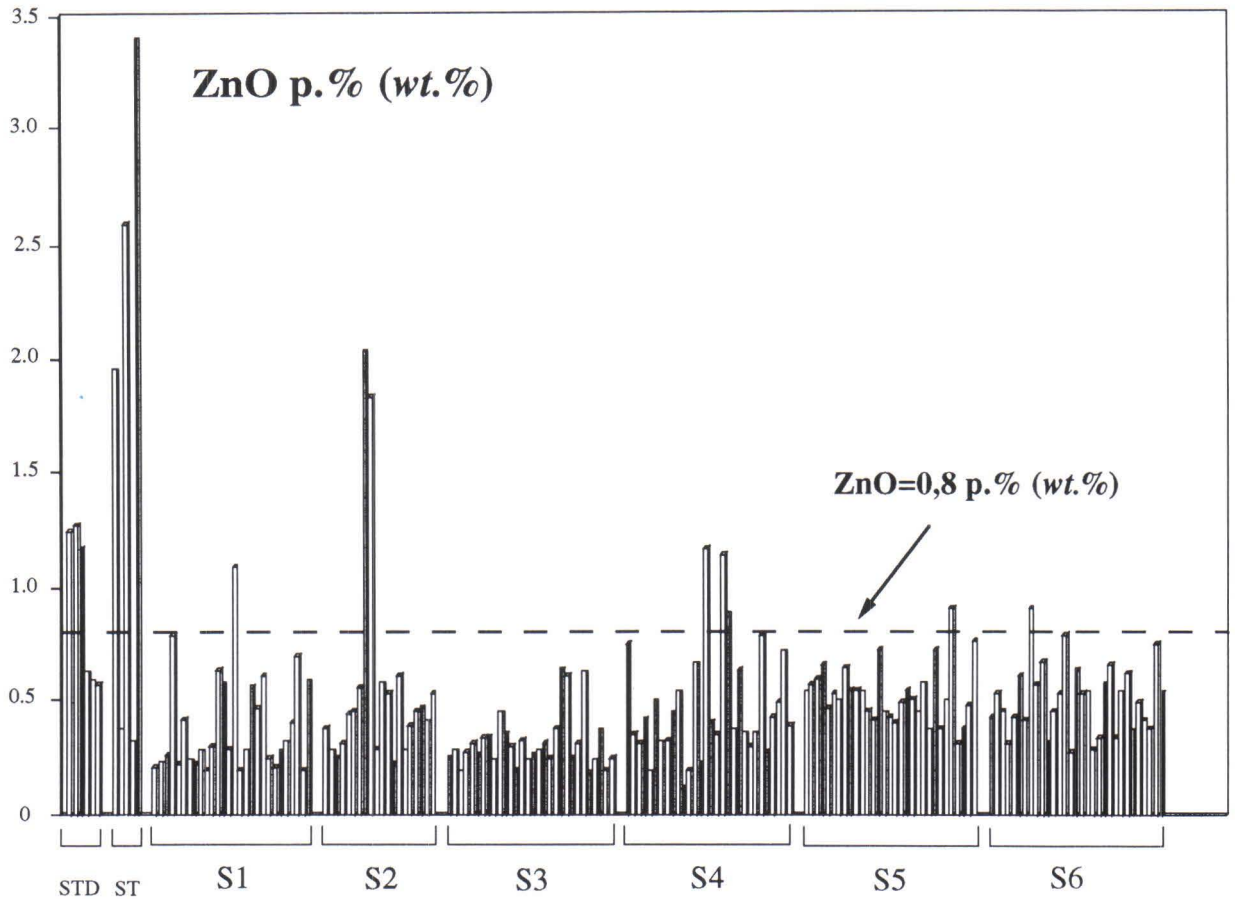
Taulukko 6. Kromispinellien koostumuksen vaihteluvälit moreeninäytteissä S1-S6 ja ST, sekä Vammalan alueen oliviini-kromiitti kumulaateissa.  $Mg\# = Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ;  $Cr\# = Cr/(Cr+Al)$ ;  $RFe^{3+} = Fe^{3+}/(Cr+Al+Fe^{3+})$ . Vammalan alueen intrusioiden (Intr) aineisto: Peltonen & Lamberg (1991). N=analysoitujen rakeiden lukumäärä. Table 6. Ranges of chrome spinel composition in till samples (S1-S6, ST) and in "Vammala-type" ultramafic intrusions (olivine-chromite cumulates). N=number of grains analysed. Data for intrusions from Peltonen & Lamberg (1991).

NÄYTE Sample#	ST	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Intr.
N	10	28	22	30	30	31	31	≈230
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (p.%) (wt.%)	3.15- 28.56	10.95- 29.39	11.72- 27.18	14.69- 28.53	12.78- 30.83	11.04- 27.03	10.83- 27.7	9.30- 31.50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.98- 59.18	30.78- 49.48	33.36- 46.11	34.09- 45.44	30.85- 44.55	34.53- 48.60	29.89- 49.74	29.90- 50.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.62- 9.20	6.60- 8.62	4.45- 8.42	3.65- 7.90	3.90- 9.59	4.88- 11.09	4.35- 9.12	4.60- 12.10
MgO	0.36- 6.48	2.98- 8.08	1.29- 7.38	3.25- 7.34	2.31- 7.60	2.76- 6.19	3.04- 6.99	2.10- 5.50
FeO	23.71 31.41	22.70- 28.38	23.64- 30.31	23.88- 28.15	24.22- 29.01	25.48- 28.74	23.10- 28.84	25.50- 30.40
ZnO	0.29- 3.47	0.20- 1.09	0.18- 2.03	0.18- 0.64	0.12- 1.17	0.31- 0.91	0.27- 0.91	0.40- 2.00
Mg#	0.02- 0.31	0.16- 0.38	0.07- 0.36	0.17- 0.35	0.12- 0.35	0.15- 0.30	0.16- 0.35	0.11- 0.27
Cr#	0.43- 0.93	0.41- 0.72	0.45- 0.73	0.45- 0.67	0.40- 0.70	0.46- 0.75	0.42- 0.76	0.44- 0.78
RFe <sup>3</sup>	0.05- 0.12	0.06- 0.11	0.06- 0.11	0.04- 0.10	0.05- 0.13	0.06- 0.15	0.06- 0.13	-

ST-näytteessä kromispinelliä tavattiin vain 5 raeita. Näistä vain 1 rae (ST/4) sattuu muiden detritaalisten kromispinellien kenttään - sen reunalle. Muut 4 raeita ovat koostumukseltaan erikoisia (liite). Rae ST/2 on Fe- ja Cr-rikas kromiitti ja sen koostumus poikkeaa Vammalan alueen ultramafiittien, suhteellisen Al-pitoisista kromispinelleistä. Sen Cr# on korkea ja Mg# alhainen, mitkä piirteet ovat tyypillisiä hydrotermisesti muuttuneille magmaattisille kromiiteille. Samanlaisia kromiitteja onkin Suomessa kuvattu Outokummun alueen serpentiniiteistä (Vuollo ja Piirainen 1989). Rakeiden ST/1 ja ST/5 Mg-pitoisuus on poikkeuksellisen alhainen (0.37 ja 0.40 p.% MgO). Rakeen ST/5 sinkkipitoisuus on 3.42 p.% ZnO, mikä on tämän tutkimuksen korkein pitoisuus. Rakeessa ST/1 Zn-pitoisuus vaihtelee kahden analyysipisteen kesken (0.53 ja 3.37 p.% ZnO).

Tämä johtunee rakeen voimakkaasta heterogeenisyydestä.

Lukuunottamatta muutamia ST-näytteen anomaalisia rakeita ovat analysoidut detritaalisten kromispinellien Zn-pitoisuudet alhaisia. Kuvassa 8 on pilareina esitetty kaikkien analysoitujen rakeiden Zn-pitoisuudet (ST-rakeista kahden analyysipisteen keskiarvo). Vasemmalla reunassa ovat STD/V1-3 ja STD/M1-3 standardirakeet, joista kolme ensimmäistä havainnollistaa ZnO-tasoa mineralisoituneessa Vammalan ultramafiitissa ja kolme seuraavaa ZnO-tasoa sulfidittomassa Murron intrusiossa. ST-näytteen rakeiden ZnO-pitoisuudet ovat korkeita, mutta rakeet eivät ole peräisin Vammalan tyyppin ultramafiiteista, kuten edellä esitettiin. S1-S6 näytteissä kromispinellin ZnO-pitoisuudet ovat tavallisesti hyvin



Kuva 8. Kaikkien analysoitujen (liite) detritaalisten kromispinellien sinkkipitoisuudet pylväsdiagrammina esitettyinä. Peltosen ja Lambergin (1991) ehdottama, mineralisoituneet ja mineralisoitumattomat Vammala-tyyppin intruusiot erottava, raja-arvo ( $\text{ZnO}=0,8$  p.%) on osoitettu katkoviivalla.

*Fig. 8. ZnO-content (in wt.%) of all analysed detrital chrome spinel grains (see appendix) in samples S1-S6 and ST (background sample). STD grains are from mineralised (high-Zn) or barren (low-Zn) "Vammala-type" olivine-chromite cumulates. It has been suggested earlier (Lamberg & Peltonen 1991; Peltonen & Lamberg 1991) that chrome spinels having  $\text{ZnO}>0.8$  wt.% occur almost exclusively in mineralised "Vammala-type" intrusions. This level is indicated by dashed line.*

alhaisia. Vain n. 10% rakeista saavuttaa edes sulfidittomille intruusioille tavallisen 0.6 p.% ZnO-tason, ja vain 8 raeita kaikkiaan n. 170:stä rakeesta ylittää 0.8 p.% ZnO tason, jota Lamberg ja Peltonen (1991) ja Peltonen ja Lamberg (1991) ehdottivat rajaksi mineralisoituneiden ja sulfidittomien intruusioiden kromispinellien välillä. Korkeimmat pitoisuudet (1.83 ja 2.03 p.% ZnO) ovat näytteestä S3. Toisin kuin pääalkuainepitoisuuksissa on sinkin suhteen todettavissa pientä vaihtelua näytteiden rikasteiden S1-S6 kesken. Näytteiden S1, S2 ja S4

varianssi sinkin suhteen on muita näytteitä suurempaa ja niissä tavataan myös suurimmat ja pienimmät ZnO-pitoisuudet. Näytteissä S1-S4 ZnO-pitoisuus alittaa tavallisesti 0.4 p.%, mitä pitoisuusluokkaa Vammalan ultramafiittista ei lainkaan tunneta (kuva 1). Näytteissä S5 ja S6 ZnO pitoisuudet ovat systemaattisesti hiukan korkeampia kuin muissa näytteissä ja pitoisuuksien vaihtelu on pienempää. Näissä näytteissä pitoisuudet vain harvoin alittavat 0.4 p.%.

## 10 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työ on osoittanut, että moreeninäytteistä on suhteellisen yksinkertaista valmistaa riittävän puhdas oksidirikaste pohjareenissa esiintyvän kromispinellin tutkimiseksi. Vaikka kromispinellin petrografiaa ja mineraalikemiaa voidaan selvittää hyvinkin epäpuhtaista rikasteista, on erityisesti mikroanalyyssiaattorityöskentely huomattavasti nopeampaa, mikäli kromispinellin osuus preparaateista on suuri. Raskasnesteen ja magneettisen separaattorin käyttö suurten näytteiden rikastuksessa on kuitenkin työlästä ja kallista, eikä ole helposti sovellettavissa kenttäolosuhteisiin. Spiraalirikastusta testialueellamme vaikeutti kromispinellin hyvin pieni raekoko. Spiraalirikastetut fraktiot olivat mineraalikoostumukseltaan heterogeenisiä ja niiden raekoko oli liian suuri. Näytteitä tulisi kuitenkin pyrkiä esirikastamaan kentällä, mikä tapahtuu parhaiten vaskaamalla, jolloin näytteestä poistetaan kevyttä mineraaliainesta.

Moreenista separoitujen kromispinellien keskimääräinen raekoko on suurempi kuin raekoko niiden rapautumalähteessä (Vammalan alueen ultramafisissa intruutioissa). Hienorakeisin kromispinellifraktio (<40 µm), joka rapautumalähteessä on vallitseva, puuttuu raskasmineraalifraktioista lähes kokonaan ja on ilmeisesti kadotettu näytteiden separoinnin aikana. Kromispinellin koostumuksesta tehtäviin päätelmiin tällä ei ole vaikutusta, sillä Vammalan alueen ultramafisissa intruutioissa kromispinellin koostumus vaihtelee raekoon funktiona vain vähän (Peltonen ja Lamberg 1991). Moreenin kookkaat kromispinellit pyrkivät kuitenkin olemaan keskimäärin hiukan Cr- ja Mg-rikkaampia kuin rapautumalähteessä keskimäärin.

Kromispinellin osuus taustanäytteen oksidirikasteesta (raskasnesterikaste) on olematon (5 rietta). Kromispinellin osuus on suurimmillaan näytteissä S2 ja S3, minkä jälkeen se tasaisesti pienenee kuljetusmatkan kasvaessa (kuva 4). Verrattuna taustanäytteeseen tavataan etäisimmässäkin näytteessä (S6: 7,2 km) vielä huomattavan runsaasti kromispinelliä (7,8 % rikasteesta). Mikäli valtaosa kromispinellirakeista on, kuten vaikuttaa, lähtöisin pienehköistä (Ø=10-100 m) Vammalan ultramafiitin puhkeamista, on todettu kuljetusmatka varsin pitkä. Vertailun vuoksi, Peuraniemi (1990) on raportoinut Värriöjoen alueelta Itä-Lapista 17 km:n mittaisen kromiittista aiheutuvan moreenigeokemiallisen anomalian, joka tosin on lähtöisin huomattavasti suuremmasta, 2x6 km:n kokoisesta rapautumalähteestä.

Raskasmineraalitutkimusten tulosten korrelointi Vammalan alueen moreenigeokemiallisten Cr- ja Ni-

anomalioiden (kts. Kokkola 1989) kanssa on epäselvää. Vammalan alueella moreenin P-fraktion (<0.06 mm) Cr-pitoisuus on yleisesti 50-100 ppm, josta kuitenkin vain osa aiheutuu kromispinellistä. Valtaosa moreenin hienofraktion kuningasvesiliukoisesta kromista on sitoutuneena verkkosilikaateihin (kiilteet, serpentiini, savimineraalit) ja pyrokseeneihin (R. Lahtinen, suullinen tiedonanto). Vertailua vaikeuttaa lisäksi kromispinellin epätavallinen liukoisuus kuningasveteen analyysiliuotuksen aikana. Joitakin kvantitatiivisia arvioita voidaan kuitenkin tehdä. Moreeninäytteistä S2-S6 separoitiin n. 0.01-0.1 g kromispinelliä/kg näytettä (taulukot 2 ja 3). Jos oletetaan, että a) 100% kromispinellistä saatiin talteen raskasnestekäsittelyllä; b) moreenin hienofraktion (-0.06 mm) osuus on n. 30 til.% ja c) kromispinellin koostumus on (Fe<sub>0.8</sub>Mg<sub>0.2</sub>)-(Cr<sub>0.9</sub>Al<sub>0.9</sub>Fe<sub>0.2</sub>)O<sub>4</sub> voidaan laskea, että moreeninäytteissä S2-S6 kromispinelli riittää aiheuttamaan enintään 9-90 ppm:n moreenigeokemiallisen anomalian, mikäli kromispinellin liukoisuus analyysiliuotuksessa oli 100%.

Vammalan Ni-vyöhykkeellä kromispinelliä esiintyy lähes yksinomaan oliviini-spinellikumulaateissa, jotka ovat varhaisimpia tunnettuja "nikkelimagmatismin" fraktioitumistutotteita. Niitä tavataan itsenäisinä intruutioina tai fraktioituneiden intruusioiden pohjaosissa. Oliiviini-spinellikumulaatit ovat usein mineralisoituneita (Vammala, Ekojoki, Sahakoski ym.). Mikäli kromispinelli rikastetaan moreenista kvantitatiivisesti, kuten tässä tutkimuksessa (raskasneste+magneettinen separointi), voidaan sen absoluuttista määrää ja/tai osuutta rikasteesta käyttää kromispinellipitoisten ja siten mahdollisesti myös malmipotentialisten ultramafisten kumulaattien etsinnässä. Tällaisten muodostumien olemassaolo tutkittavalla alueella on mahdollisesti selvitettävissä harvallakin näytteenottoverkolla, millä saattaa olla huomattavaa malminetsinnällistä merkitystä arvioitaessa Svekofennisten alueiden nikkeli-kuparimalmipotentiaalia.

Detritaalisten kromispinellien koostumuksen analysointi on ensiarvoisen tärkeää niiden rapautumalähteiden tunnistamiseksi. Svekofennisten ultramafisten intruusioiden kromispinellin koostumus on hyvin luonteenomainen, ja niistä peräisin olevat kromispinellit ovat helposti tunnistettavissa. Taustanäytteen rakeita lukuunottamatta ovat moreenin kromispinellit pääalkuainekoostumukseltaan identtisiä Vammalan alueen ultramafiteista analysoitujen rakeiden kanssa. Glasigeenisen kuljetuksen aikainen tarjonta muun tyyppisistä lähteistä näyttää puuttuvan kokonaan, mikä on sopusoinnussa sen em. havainnon kanssa, että kromispinellin osuus ja absoluuttinen määrä raskasmineraalirikas-

teesta systemaattisesti pienei oletetun kuljetusmatkan kasvaessa. Kuljetusmatkan funktiona ei myöskään kromispinellipopulaation pääalkuainekoostumuksessa tapahtunut minkäänlaista muutosta.

Sulfidisulkeumia sisältävien (detritaalisten) kromispinellien petrogeneettinen ja malminetsinnällinen merkitys on täysin avoin kysymys. Kromispinelli on, yhdessä oliviinin kanssa, ollut magmasta ensimmäisenä kiteytyvä (liquidus) faasi. Sen sulfidisulkeumat ovat osoitus varhaisesta rikin liukoisuuden ylitymisestä magmassa. Sellaisissa intruusioissa, joista peräisin olevista kromispinelleistä tavataan sulfidisulkeumia, on siten erkaantunut sulfidisula. Tällä havainnolla saattaa olla huomattavaa malminetsinnällistä merkitystä, mutta ennen sen soveltamista on perustutkimuksen ratkaistava onko sulkeumina todettu sulfidien erkaantuminen sama(naikainen) tapahtuma, mikä johti varsinaiseen malminmuodostukseen. Mikäli sulkeumana esiintyvä sulfidifaasi erkaantui magmasta sen evoluution varhaisessa vaiheessa saattaa sulkeumina todettu sulfidifaasin erkaantuminen olla yhteinen piirre sekä mineralisoituneille että sulfidittomille intruusioille.

Moreenin kromispinellien sinkkipitoisuudet ovat yllättävän alhaisia, kun niitä vertaa Peltosen ja Lambergin (1991) Vammalan ultramafiitista raportoimiin tuloksiin (kuva 1). Mahdollisina selityksinä ainakin seuraavia vaihtoehtoja on syytä pohtia:

**Kromispinellien sinkkipitoisuus on muuttunut supergeenisten prosessien vaikutuksesta.**  $Zn^{2+}$  korvaa kromispinellin ( $Fe^{2+}, Mg^{2+}$ ) ( $Cr, Al, Fe^{3+}$ )<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hilassa pääasiassa tetraedisisessä koordinaatiossa sijaitsevia kahdenarvoisia  $Fe^{2+}$  ja  $Mg^{2+}$  kationeja. Analysoitujen detritaalisten kromispinellien  $Mg^{2+}$  ja  $Fe^{2+}$  konsentraatiot ovat kuitenkin identtisiä Vammalan ultramafiitin kromiittien pitoisuuksiin verrattuna. Kromispinellin muuttuessa sen  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  suhde pyrkii tavallisesti kasvamaan. Ferriraudan (laskennalliset) pitoisuudet moreenin kromispinelleissä eivät kuitenkaan ole ultramafiitin kromispinellien pitoisuuksia korkeampia. Onkin epätodennäköistä, että terveen kromispinellin hilasta tapahtuisi voimakasta sinkin diffuusiota muiden tetraedrisessä koordinaatiossa sijaitsevien kationien pitoisuuksien säilyessä muuttumattomina.

**Vammalan ultramafiitti ei ole analysoitujen kromispinellien rapautumalähde.** Stormin ultramafiitin välittömässä läheisyydessä on muitakin samantyyppisiä intruusioita. Ekojoen mineralisoitunut intruusio sijaitsee n. kilometrin Stormista länteen, ja siitä peräisin olevaan kromispinelliä saattaa olla kaikissa näytteissämme. Lamberg ja Peltonen (*in prep*) ovat kuitenkin tutkineet myös Ekojoen kromispinellejä ja todenneet ne yhtä Zn-rikkaiksi kuin Stormin spinellit. Välittömästi Stor-

min ultramafiitin SW-puolella sijaitsevassa Haaviston intruusiossa on runsaasti kromispinelliä, ja siitä on tavattu rikkaita, mutta pieniä nikkeli-kuparimineralisaatioita (Mäkinen 1984; 1987). Haaviston kromispinellin koostumusta ei ole selvitetty. Tunnettujen kuljetussuuntien perusteella ainakin näytteissä S5 ja S6 saattaisi olla Haavistosta peräisin olevaa kromispinelliä. Stormin ultramafiitin länsipuolelta on Ekojoen lisäksi tavattu lukuisia pintaan puhkeamattomia ultramafiitteja (Grundström, suul.tiedonanto). Nämä ovat huonosti tunnettuja, eikä niiden kromispinellipitoisuudesta tai oksidifaasin koostumuksesta ole tietoja. Stormin SE-puolella on lisäksi Kovero-ojan esiintymä (kuva 2), jossa on ollut puhjenneena saman tyyppinen malmi kuin sortuma-alueellakin. Siitä peräisin olevaa kromispinelliä saattaa olla näytteissä S5 ja S6. On todennäköistä, että moreeninäytteissä on lukuisista rapautumalähdeistä peräisin olevia kromispinellejä. Kromispinellin osuus raskasmineraalifraktiosta oli kuitenkin suurimmillaan välittömästi Stormin ultramafiitin E-puolella, ja sen osuus systemaattisesti pienei Stormista etäännyttäessä. Tämä viittaa, että suurin osa rakeista on peräisin Stormista, eikä muiden rapautumalähteiden mahdollisuus siten selitä detritaalisten kromispinellien alhaista Zn-pitoisuutta.

**Kromispinellin Zn-pitoisuus vaihtelee Vammalan ultramafiitissa.** Stormin ultramafiitti on kerrosrakenteinen intruusio. Peltonen ja Lamberg (1991) tutkivat kromiitin koostumusta vain alimassa patjassa ja senkin osalta vain yhdestä kairareistä, TY-183 (reiän sijainti: kts Häkli ja muut 1979). Stormin keksimmäisessä patjassa kromispinelli on valtaosaltaan vihreää Mg-Al-spinelliä, minkä koostumuksia ei tämän työn yhteydessä analysoitu. Ylin peridotiittipatja puolestaan on paljastunut vähintään yhtä suurelta alalta kuin alin, malmin sisältävä, peridotiitti. Kromiitti on ylimässä patjassa kuitenkin harvinainen ja tavallisesti voimakkaasti muuttunut. Sen koostumuksesta ei ole tietoa. Todennäköisin mahdollisuus onkin, että pääasiallinen kromispinellin rapautumalähde todella on Stormin alin peridotiittipatja mutta että sen eri osien sisältämän kromispinellin sinkkipitoisuudessa on suurta vaihtelua. Sortuma-alueella ollut malmipuhkeama on varsin kaukana Peltosen ja Lambergin (1991) tutkimasta syväalmiosta (n. 270-taso), ja niiden kromispinellin Zn-pitoisuudet ovat saattaneet olla erilaiset. Häkli ja muut (1979) ovat raportoineet Stormin alapatjasta 10:n kromispinellin koostumukset ( $ZnO=0.45, 0.37, 0.32, 0.21, 0.20, 0.31, 0.88, 1.04, 0.39, 0.41$  p.%). Alhaiset pitoisuustasot osoittavat, että myös alapatjassa on osueita (kerroksia, malmioita?), joissa kromispinellien Zn-pitoisuus on yhtä alhainen kuin moreenin kromispinellien. Sortuma-alueella on ollut puhjenneena hyvälaatuinen Ni-Cu-pirotomalmi,

mutta ilmeisesti sen kromispinellien Zn-pitoisuus on ollut alhainen.

Sinkin käyttäytyminen emäksisen magman kiteytyessä ja sen jakaantuminen eri faasien kesken tulisiikin tuntea nykyistä paremmin. On kuitenkin

mahdollista, että jo pieni populaatio huomattavan Zn-rikkaita "Vammala-tyypin kromispinellejä" raskasmineraalirikasteesta analysoituna, viittaa rautamalähteiden joukossa olevan mineralisoituneen intruusion.

\*\*\*

Tämä työ liittyy "Global Geoscience Transsect (GGT)" hankkeeseen ja sitä on Geologian tutkimuskeskuksen lisäksi rahoittanut Suomen Akatemia (hanke n:o 2021015).

\*\*\*

### **SUMMARY: OCCURRENCE AND MINERAL CHEMISTRY OF CHROME SPINEL IN TILL — IMPLICATIONS FOR PROSPECTING MAGMATIC Ni-Cu SULFIDE ORES IN SVECOFENNIAN TERRAIN**

This study examines the mode of occurrence and mineral chemistry of chrome spinels found in glacial material (till) and was prompted by ongoing research into the origin of magmatic Ni-Cu deposits in the palaeoproterozoic Vammala Nickel Belt, SW Finland. These studies have stressed the importance of chrome spinel as a petrogenetic indicator and especially its Zn-content as a potential exploration tool in the Svecofennian terrain.

Six till samples taken in the direction of glacial transport and one background sample from the proximal side of a Ni-Cu deposit (Vammala Mine) were collected. Laboratory and field methods for obtaining heavy mineral concentrates were applied. Sieved and washed subsamples were concentrated by either A) heavy liquids (Clericili  $d=4.2\text{g/cm}^3$ ) + Frantz Isodynamic Separator or by B) Mechanical washing pan (*Gold Hound*). The results of the first method were considered more quantitative.

Heavy mineral concentrates were almost exclusively composed of oxide minerals. Cr-spinel and ilmenite were the most abundant and their relative proportions vary sympathetically. Proportions of other minerals (hematite, magnetite, sulfides, silicates, phosphates) were low and fairly constant. Detrital Cr-spinel grains in heavy mineral concentrates are well preserved and less altered than their counterparts in the ultramafic intrusions. Altered grains ("ferrit-chromit"-alteration) were presumably removed together with the highly magnetic fraction. Till may also have become enriched in unaltered grains due to glacial milling. The mean grain size of the detrital chrome spinel fractions is larger than the average grain size in intrusions - a discrepancy related to the loss of the smallest mineral fraction ( $<50\mu\text{m}$ ) during wet-sieving.

Chrome spinels are absent from the background sample. Their proportion and abundance in concen-

trates at first increases rapidly to W-SW (ice flow direction) from the Vammala deposit and then decreases as a function of transportation distance. Major element compositions of the detrital Cr-spinels are identical with Cr-spinels analysed from the intrusion. These features suggest that Vammala ultramafite is the primary source for Cr-spinels in our samples.

Zn-contents of Cr-spinels in till are significantly lower than in Cr-spinels analysed from the Vammala intrusion. However, a significant contribution of Cr-spinels from other sources or modification of Cr-spinel composition in the supergene environment are not considered likely. Rather, variation in the Cr-spinel composition between different ore bodies of the Vammala deposit itself is considered the most probable explanation.

Our preliminary results suggest that the presence of potentially Ni-Cu sulphide-bearing ultramafic lithologies (olivine-chromite cumulates) below glacial cover deposits may easily be detected by examining the mineralogy of the heavy fraction of till. Cr-spinel compositions can, and should be, analysed by electron microprobe to verify the source lithology. The distribution of zincian Cr-spinels in mineralised Svecofennian ultramafic intrusions may be more complex than previously assumed and recalls further study. However, it is suggested that even a small amount of relatively zincian ( $\text{ZnO}>0.8\text{ wt.}\%$ ) Cr-spinels whose major element composition fits that of Cr-spinels in the "Vammala-type" ultramafic cumulates, may be indicative of the presence of mineralised bodies in the source area. Heavy mineral studies might be most effective in large-scale regional studies. At short transportation distances other techniques, such as boulder tracing, can be more rewarding.



## 12 KIRJALLISUUSVIITTEET – REFERENCES

- Allan, J. F., Sack, R. O. & Batiza, R., 1988.** Cr-rich spinels as petrogenetic indicators: MORB-type lavas from the Lamont seamount chain, eastern Pacific. *Am. Min.* 73, 741–753.
- Aumo, R. & Salonen, V-P., 1986.** Uvarovite and glacial transportation distance as provenance indicators of ore mineralization in the southern part of the Outokumpu district, North Karelia, Finland. In: *Prospecting in areas of glaciated terrain 1986*. IMM. London, 17–23.
- Béziat, D. & Monchoux, P., 1991.** Les spinelles chromozincifères du district aurifère de Salsigne (Montagne Noire, France). *Eur. J. Mineral.* 3, 957–969.
- Brundin, N. H. & Bergström, J., 1991.** Regional prospecting for ores based on heavy minerals in glacial till. *J. Geochem. Explor.* 7, 1–19.
- Dick, H. J. B. & Bullen, T., 1984.** Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrol.* 86, 54–76.
- Droop, G. T. R., 1987.** A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis using stoichiometric criteria. *Min. Magaz.* 51, 431–435.
- Fisk, M. R. & Bence, A. E., 1980.** Experimental crystallization of chrome spinel in Famous basalt 527-1-1. *Earth Planet Sci Lett* 48, 111–123.
- Green, D. H., Ringwood, A. E., Ware N. G., Hibberson, W. O., Major, A. & Kiss, E., 1971.** Experimental petrology and petrogenesis of Apollo 12 basalts. *Proc. Sec. Lunar Sci. Conf.* 1, 601–615.
- Glumoff, S. & Nikkarinen, M., 1991.** Regional geochemical mapping based on the heavy fraction of till in central Finland. *Geol. Surv. Finland, Reports of Investigation* 96, 35 p.
- Groves, D. I., Barrett, F.M., Binns R. A. & McQueen, 1977.** Spinel phases associated with metamorphosed volcanic-type iron-nickel sulfide ores from Western Australia. *Econ. Geol.* 72, 1224-1244.
- Groves, D.I., Barrett, F. M. & Brotherton, R. H. 1983.** Exploration significance of chrome-spinels in mineralized ultramafic rocks and nickel-copper ores. *Geol. Soc. S. A. Spec. Publ.* 7, 21-30.
- Hatton, C. J., von Gruenewaldt, G., 1985.** Chromite from the Swartkop chrome mine - An estimate of the effects of subsolidus reequilibration. *Econ Geol* 80, 911-924.
- Heikkilä-Harinen, R., 1975.** Strommin alueen kalioperästä. Pro Gradu tutkielma, Turun yliopisto.
- Hill, R. & Roeder, P., (1974)** The crystallization of spinel from basaltic liquid as a function of oxygen fugacity. *J. Geol.* 82, 709–729.
- Hirvas, H. & Kokkola, M., 1980.** Maaperägeologinen tutkimus, Vammala, Stormi. Outokumpu Oy, julkaisematon raportti 010/2121 07 ja 10/MK/1980.
- Huhta, P., 1988.** Studies of till and heavy minerals for gold prospecting at Ilomantsi, eastern Finland. In: D.R. MacDonald (ed.) *Prospecting in areas of glaciated terrain 1988*. The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 285–292.
- Huhta, P., 1989.** Moreenin raskasmineraalit malminetsinnän apuna. *Geologi* 41, 56–60.
- Häkli, T. A., Vormisto, K., Hänninen, E., 1979.** Vammala, a nickel deposit in layered ultramafite, Southwestern Finland. *Econ Geol* 74, 1166–1182.
- Irvine, T. N., 1965.** Chromian spinel as a petrogenic indicator. Part I. Theory. *Can. J. Earth Sci.* 2, 648–672.
- Irvine, T. N., 1967.** Chromian spinel as a petrogenic indicator. Part II. Petrologic applications. *Can. J. Earth Sci.* 4, 71–103.
- Kejonen, A., 1986.** Maaperäkartoituksesta Vammalan (2121) alueella vuonna 1986. Geologian tutkimuskeskus, julkaisematon raportti P 13.1.097.
- Kimball, K.L., 1990.** Effects of hydrothermal alteration on the composition of chromian spinels. *Contrib. Mineral. Petrol.* 105, 337–346.
- Kojonen, K., 1981.** Geology, geochemistry and mineralogy of two Archean nickel-copper deposits in Suomussalmi, eastern Finland. *Geol. Surv. Finland Bull.* 315, 58 p.
- Kokkola, M., 1981.** Lohkaretutkimukset Vammalan-Kylmäkosken jaksossa. Outokumpu Oy, julkaisematon raportti 015/2121-2123/MK/1981.
- Kokkola, M., 1989.** Is the till matrix transported — or is the way to its study wrong? *Geol. Surv. Finland Spec. Pap.* 7, 55–58.
- Lamberg, P. & Peltonen, P., 1991.** Chromian spinels in barren and fertile (Ni-Cu) Svecofennian I.9 Ga ultramafic intrusions. *Terra Abstracts* 3(1), p. 111.
- Lindmark, B., 1977.** Till-sampling methods used in exploration for scheelite in Kaustinen, Kaustinen. In:

- Prospecting in areas of glaciated terrain 1977. IMM, London, 45-48.
- Matisto, A., 1967.** Kallioperäkartta - Pre-Quaternary rocks, 2121, Vammala. Suomen geologinen kartta - Geological map of Finland, 1 : 100 000.
- Mäkinen, J., 1984.** Vammalan seudun ultramafii-teista. Pro Gradu tutkielma, Turun yliopisto.
- Mäkinen, J., 1987.** Geochemical characteristics of Svecofennian mafic-ultramafic intrusions associated with Ni-Cu occurrences in Finland. Geol. Surv. Finland Bull. 342, 109 p.
- Paktunç, A. D., 1984.** Metamorphism of the ultramafic rocks of the Thompson mine, Thompson nickel belt, Northern Manitoba. Can Min. 22, 77-91.
- Papunen, H., 1986.** One hundred years of ore exploration in Finland. Geol. Surv. Finland Bull. 336, 165-203.
- Papunen, H. & Idman, H., 1982.** Ultramafic rocks and related ore minerals in Lapland, Northern Finland. In: Amstutz et al. (eds.) Ore genesis - the state of art, pp. 374-386. Springer-Verlag, Berlin.
- Peltonen, P., 1990.** Metamorphic olivine in picritic metavolcanics from Southern Finland. Bull Geol Soc Finland 62(2), 99-114.
- Peltonen, P. & Korsman, K., 1990.** Metamorphism of ultramafic rocks in the early Proterozoic Svecofennian nickel province - implications for the timing of emplacement of Ni-Cu ores hosting intrusive bodies. Abstract for the "Second Baltic Shield Symposium" held in Lund, Sweden 5.-7. 6. 1990.
- Peltonen, P. & Lamberg, P., 1991.** Chromian spinel in Svecofennian ultramafic intrusions: Compositional evolution during fractional crystallization, cooling, regional metamorphism and alteration. Geol. Surv. Finland Spec. Pap. 12, 23-31.
- Peuraniemi, V., 1990.** Heavy minerals in glacial material. In: Kujansuu & Saarnisto (eds.) Glacial Indicator Tracing. Balkema, Rotterdam, 165-185.
- Sack, R. O. & Ghiorso, M. S., 1991.** Chromite as petrogenetic indicator. In: Lindsley DH (ed) Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. MSA, Reviews in Mineralogy 25, 323-353.
- Virkkala, K., 1970.** Suomen geologinen kartta, maaperäkartta 1:100 000, lehti 2121 Vammala.
- Vuollo, J. & Piirainen, T., 1989.** Mineralogical evidence for an ophiolite from the Outokumpu serpentinites in North Karelia, Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 61, 95-112.
- Zakrzewski, M. A., 1989.** Chromian spinels från Kuså, Bergslagen, Sweden. Am. Min. 74, 448-455.
- Wylie, A. G., Candela, P. A. & Burke, T. M., 1987.** Compositional zoning in unusual Zn-rich chromite from the Sykesville district of Maryland and its bearing on the origin of "ferritchromit" Am. Min. 72, 413-422.

Liite - Appendix: Mikroanalyysitulokset - Electron microprobe results of chrome spinels in till

Näyte	Al2O3	Cr2O3	Fe2O3	FeO	MgO	ZnO	Σ	Al	Cr	Fe3	Fe2	Mg	Zn	Mg#	Cr#	RFe3
Sample#																
STD/V1	20,97	37,86	7,70	25,88	5,13	1,25	98,79	6,543	7,923	1,534	5,73	2,026	0,244	0,26	0,55	0,10
STD/V2	19,28	39,48	8,16	26,01	4,93	1,27	99,13	6,051	8,313	1,636	5,793	1,957	0,25	0,25	0,58	0,10
STD/V3	22,4	35,46	8,36	24,68	5,94	1,17	98,02	6,957	7,385	1,658	5,438	2,334	0,228	0,30	0,52	0,10
STD/M1	20,77	38,96	6,40	25,66	5,45	0,63	97,88	6,518	8,2	1,282	5,713	2,162	0,124	0,28	0,56	0,08
STD/M2	23,72	35,75	7,31	25,22	6,26	0,59	98,84	7,247	7,327	1,426	5,468	2,42	0,113	0,31	0,50	0,09
STD/M3	19,8	37,81	8,12	25,68	5,22	0,57	97,19	6,291	8,061	1,648	5,79	2,097	0,113	0,27	0,56	0,10
ST 1a	12,91	42,02	7,96	31,41	0,37	0,53	95,2	4,473	9,766	1,761	7,722	0,163	0,114	0,02	0,69	0,11
ST 1b	12,65	42,76	9,20	29,65	0,36	3,37	97,99	4,286	9,722	1,991	7,131	0,154	0,715	0,02	0,69	0,12
ST 2a	3,44	59,18	7,56	23,71	5,46	0,42	99,76	1,147	13,242	1,611	5,611	2,302	0,088	0,29	0,92	0,10
ST 2b	3,15	58,9	8,07	23,88	5,35	0,32	99,68	1,055	13,221	1,725	5,669	2,264	0,067	0,29	0,93	0,11
ST 3a	24,03	37,17	3,62	30,84	1,7	2,58	99,93	7,499	7,779	0,721	6,827	0,669	0,504	0,09	0,51	0,05
ST 3b	24,7	36,81	3,92	31,04	1,81	2,6	100,88	7,616	7,613	0,772	6,79	0,707	0,503	0,09	0,50	0,05
ST 4a	28,56	31,98	6,23	26,20	6,48	0,34	99,78	8,464	6,357	1,179	5,509	2,429	0,062	0,31	0,43	0,07
ST 4b	23,55	35,76	7,02	27,09	5,22	0,29	98,93	7,244	7,378	1,378	5,912	2,032	0,056	0,26	0,51	0,09
ST 5a	12,84	42,98	9,10	29,68	0,4	3,47	98,46	4,327	9,716	1,957	7,096	0,172	0,732	0,02	0,69	0,12
ST 5b	13,13	43,74	8,35	29,99	0,37	3,44	99,02	4,393	9,822	1,785	7,122	0,157	0,72	0,02	0,69	0,11
S1	20,14	40,52	5,77	25,76	5,61	0,21	98,02	6,318	8,526	1,156	5,732	2,226	0,042	0,28	0,57	0,07
S1	19,78	38,58	7,02	24,86	5,76	0,23	96,21	6,312	8,258	1,43	5,628	2,326	0,046	0,29	0,57	0,09
S1	19,21	42,07	5,57	24,53	6,26	0,26	97,91	6,029	8,856	1,115	5,462	2,486	0,052	0,31	0,60	0,07
S1	16,92	40,29	8,62	27,97	3,46	0,79	98,04	5,474	8,745	1,781	6,423	1,417	0,159	0,18	0,62	0,11
S1	16,42	42,09	8,13	26,69	4,62	0,22	98,17	5,27	9,063	1,666	6,078	1,878	0,044	0,24	0,63	0,10
S1	16,93	41,75	6,85	27,49	3,86	0,42	97,3	5,493	9,088	1,419	6,33	1,585	0,085	0,20	0,62	0,09
S1	18,06	42,98	6,10	23,93	6,53	0,24	97,84	5,689	9,084	1,227	5,35	2,602	0,048	0,33	0,62	0,08
S1	24,34	36,11	4,91	23,97	6,88	0,22	96,44	7,533	7,497	0,97	5,264	2,694	0,042	0,34	0,50	0,06
S1	21,91	38,13	5,93	26,03	5,53	0,28	97,81	6,836	7,982	1,182	5,764	2,181	0,055	0,28	0,54	0,07
S1	25,41	33,83	5,78	23,31	7,3	0,2	95,84	7,85	7,01	1,14	5,109	2,852	0,039	0,36	0,47	0,07
S1	10,95	49,48	6,66	28,23	3,15	0,3	98,76	3,621	10,973	1,406	6,622	1,317	0,062	0,17	0,75	0,09
S1	23,89	35,49	6,00	26,10	5,41	0,64	97,52	7,418	7,393	1,189	5,752	2,124	0,124	0,27	0,50	0,07
S1	21,17	37,84	7,10	27,69	4,37	0,58	98,75	6,63	7,95	1,42	6,154	1,732	0,114	0,22	0,55	0,09
S1	25,3	34,69	6,27	25,05	6,59	0,29	98,2	7,7	7,082	1,218	5,409	2,535	0,056	0,32	0,48	0,08
S1	15,9	42,04	7,45	28,15	2,98	1,09	97,62	5,207	9,235	1,558	6,542	1,234	0,224	0,16	0,64	0,10
S1	24,11	36,25	6,04	24,44	6,86	0,2	97,9	7,378	7,441	1,18	5,308	2,654	0,038	0,33	0,50	0,07
S1	20,57	38,26	6,98	25,24	5,74	0,28	97,08	6,493	8,1	1,407	5,652	2,293	0,055	0,29	0,56	0,09
S1	21,04	38,87	6,42	26,29	5,22	0,56	98,41	6,574	8,146	1,281	5,828	2,062	0,11	0,26	0,55	0,08
S1	25,45	34,14	6,46	25,14	6,41	0,47	98,06	7,759	6,984	1,257	5,439	2,472	0,089	0,31	0,47	0,08
S1	29,39	30,78	6,02	23,04	8,08	0,61	97,92	8,728	6,132	1,14	4,854	3,033	0,113	0,39	0,41	0,07
S1	25,4	34,66	5,75	25,38	6,32	0,25	97,75	7,768	7,11	1,122	5,507	2,444	0,048	0,31	0,48	0,07
S1	19,91	40,4	5,86	26,11	5,31	0,21	97,81	6,277	8,543	1,18	5,839	2,119	0,042	0,27	0,58	0,07
S1	25,85	35,87	4,60	24,10	7,24	0,27	97,93	7,826	7,285	0,89	5,177	2,772	0,051	0,35	0,48	0,06
S1	22,23	37,48	5,95	26,94	4,96	0,32	97,87	6,951	7,861	1,188	5,977	1,961	0,062	0,25	0,53	0,07
S1	24,63	36,02	4,68	22,70	7,54	0,4	95,96	7,61	7,466	0,924	4,978	2,945	0,076	0,37	0,50	0,06
S1	16,25	43,58	6,40	27,11	4,04	0,7	98,08	5,244	9,436	1,319	6,208	1,649	0,142	0,21	0,64	0,08
S1	18,51	42,15	5,48	24,08	6,27	0,2	96,68	5,889	8,998	1,113	5,437	2,524	0,039	0,32	0,60	0,07
S1	16,6	42,33	7,23	28,38	3,4	0,59	98,52	5,355	9,157	1,488	6,493	1,388	0,119	0,18	0,63	0,09
S2	18,08	41,48	5,95	25,55	5,13	0,38	96,56	5,82	8,957	1,223	5,836	2,087	0,077	0,26	0,61	0,08
S2	16,04	44,77	4,56	26,21	4,52	0,28	96,39	5,24	9,809	0,951	6,074	1,868	0,058	0,24	0,65	0,06
S2	19,02	40,96	6,01	25,18	5,65	0,25	97,07	6,047	8,733	1,221	5,678	2,271	0,05	0,29	0,59	0,08
S2	18,36	41,28	6,93	25,18	5,67	0,31	97,72	5,819	8,779	1,402	5,665	2,274	0,061	0,29	0,60	0,09
S2	17,34	41,42	6,28	26,70	4,23	0,44	96,4	5,646	9,048	1,306	6,168	1,743	0,089	0,22	0,62	0,08
S2	18,32	40,93	6,87	26,29	4,86	0,46	97,72	5,844	8,757	1,4	5,949	1,96	0,091	0,25	0,60	0,09
S2	16,92	40,17	6,94	26,57	3,92	0,56	95,08	5,606	8,926	1,468	6,244	1,64	0,116	0,21	0,61	0,09
S2	17,16	39,75	7,81	30,31	1,29	2,03	98,35	5,624	8,741	1,635	7,051	0,534	0,416	0,07	0,61	0,10
S2	17,11	40,05	7,90	28,19	2,66	1,83	97,74	5,585	8,768	1,647	6,528	1,097	0,374	0,14	0,61	0,10
S2	27,18	33,36	4,73	23,64	7,38	0,29	96,58	8,27	6,81	0,92	5,104	2,841	0,055	0,36	0,45	0,06
S2	17,98	39,2	8,12	28,18	3,46	0,58	97,52	5,816	8,507	1,677	6,469	1,414	0,118	0,18	0,59	0,11
S2	11,72	46,11	8,42	28,19	2,91	0,53	97,87	3,905	10,305	1,79	6,663	1,227	0,11	0,16	0,73	0,11
S2	16,42	43,07	6,40	26,79	4,39	0,22	97,29	5,318	9,359	1,324	6,156	1,799	0,046	0,23	0,64	0,08
S2	17,84	42,79	5,63	26,34	4,75	0,61	97,95	5,692	9,161	1,147	5,963	1,916	0,121	0,24	0,62	0,07
S2	19,84	39,69	6,04	25,25	5,59	0,28	96,69	6,308	8,466	1,226	5,696	2,249	0,055	0,28	0,57	0,08
S2	15,97	42,43	7,37	28,35	3,33	0,39	97,84	5,199	9,268	1,532	6,549	1,371	0,08	0,17	0,64	0,10
S2	18,17	41,91	5,79	26,14	4,86	0,46	97,33	5,816	9	1,184	5,938	1,97	0,093	0,25	0,61	0,07
S2	26,39	33,48	4,45	23,73	6,89	0,47	95,39	8,169	6,952	0,879	5,212	2,697	0,091	0,34	0,46	0,06
S2	18,33	40,64	6,82	27,28	4,24	0,41	97,71	5,872	8,733	1,395	6,2	1,717	0,083	0,22	0,60	0,09
S2	17,39	42,43	5,03	25,10	5,06	0,53	95,54	5,671	9,281	1,048	5,806	2,086	0,108	0,26	0,62	0,07
S3	20,05	39,67	4,88	24,89	5,59	0,25	95,33	6,446	8,553	1,002	5,676	2,274	0,05	0,29	0,57	0,06
S3	18,41	39,14	7,34	26,25	4,65	0,28	96,07	5,97	8,511	1,519	6,038	1,906	0,056	0,24	0,59	0,10
S3	19,77	39,46	5,52	25,57	5,24	0,19	95,73	6,356	8,512	1,133	5,833	2,129	0,038	0,27	0,57	0,07
S3	22,81	39,8	4,76	25,91	6,11	0,27	99,65	6,944	8,13	0,925	5,597	2,351	0,051	0,30	0,54	0,06
S3	23	38,13	5,48	25,79	5,97	0,31	98,67	7,067	7,858	1,075	5,622	2,319	0,06	0,29	0,53	0,07
S3	21,53	38,69	5,71	26,55	5,19	0,26	97,93	6,738	8,121	1,141	5,895	2,055	0,051	0,26	0,55	0,07
S3	21,35	39,7	5,34	26,51	5,28	0,34	98,51	6,648	8,292	1,061	5,855	2,078	0,067	0,26	0,56	0,07

Liite - Appendix: Jatkoa - Cont.


Näyte	Al2O3	Cr2O3	Fe2O3	FeO	MgO	ZnO	Σ	Al	Cr	Fe3	Fe2	Mg	Zn	Mg#	Cr#	RF#3
S3	16,42	44,33	6,05	26,77	4,58	0,34	98,5	5,253	9,511	1,236	6,077	1,855	0,069	0,23	0,64	0,08
S3	19,15	43,03	4,77	26,84	5,01	0,24	99,03	6	9,046	0,954	5,968	1,985	0,047	0,25	0,60	0,06
S3	21,26	39,81	4,26	26,80	4,78	0,45	97,36	6,711	8,431	0,858	6,003	1,908	0,088	0,24	0,56	0,05
S3	25,21	34,76	6,82	23,88	7,34	0,35	98,36	7,627	7,055	1,318	5,126	2,808	0,066	0,35	0,48	0,08
S3	24,09	38,35	5,60	24,66	7,12	0,3	100,11	7,219	7,71	1,071	5,244	2,7	0,057	0,34	0,52	0,07
S3	17,3	43,75	6,14	26,54	5	0,2	98,93	5,474	9,286	1,241	5,959	2,001	0,04	0,25	0,63	0,08
S3	24,67	36,85	5,29	25,32	6,49	0,33	98,94	7,481	7,496	1,023	5,449	2,488	0,063	0,31	0,50	0,06
S3	17,58	41,22	7,90	26,50	4,89	0,24	98,32	5,595	8,8	1,605	5,984	1,967	0,048	0,25	0,61	0,10
S3	18,92	42,8	5,35	27,43	4,66	0,26	99,43	5,931	8,998	1,071	6,101	1,848	0,051	0,23	0,60	0,07
S3	19,69	40,6	7,42	26,40	5,47	0,28	99,87	6,098	8,435	1,467	5,801	2,144	0,055	0,27	0,58	0,09
S3	17,72	43,03	5,59	27,96	3,99	0,31	98,6	5,653	9,208	1,139	6,328	1,611	0,062	0,20	0,62	0,07
S3	19,56	40,21	5,86	25,52	5,43	0,25	96,83	6,226	8,584	1,19	5,763	2,187	0,05	0,28	0,58	0,07
S3	24,03	38,07	5,11	26,71	5,71	0,38	100,02	7,277	7,734	0,988	5,739	2,188	0,073	0,28	0,52	0,06
S3	14,69	45,44	5,95	28,15	3,25	0,64	98,11	4,798	9,96	1,242	6,527	1,343	0,13	0,17	0,68	0,08
S3	16,23	43,99	6,13	27,59	3,85	0,61	98,4	5,229	9,509	1,262	6,309	1,568	0,123	0,20	0,65	0,08
S3	22,62	38,05	5,63	24,79	6,42	0,25	97,76	6,995	7,893	1,112	5,439	2,511	0,049	0,32	0,53	0,07
S3	19,8	40,4	5,37	26,50	4,88	0,31	97,25	6,294	8,617	1,089	5,977	1,962	0,061	0,25	0,58	0,07
S3	25,26	36,59	5,04	25,11	6,56	0,63	99,2	7,623	7,406	0,971	5,376	2,504	0,12	0,32	0,49	0,06
S3	23,97	37,12	5,60	26,80	5,61	0,18	99,27	7,313	7,597	1,09	5,801	2,165	0,034	0,27	0,51	0,07
S3	19,46	42,15	5,51	26,70	5,16	0,24	99,23	6,075	8,826	1,099	5,913	2,039	0,048	0,26	0,59	0,07
S3	28,53	34,09	3,65	24,51	7,31	0,37	98,46	8,497	6,81	0,694	5,178	2,753	0,069	0,35	0,45	0,04
S3	24,04	38,21	5,26	25,56	6,52	0,2	99,79	7,253	7,735	1,013	5,472	2,49	0,039	0,31	0,52	0,06
S3	17,33	44	6,23	26,82	4,92	0,25	99,55	5,456	9,293	1,251	5,992	1,959	0,05	0,25	0,63	0,08
S4	21,37	40,09	4,67	25,79	5,42	0,75	98,09	6,673	8,397	0,93	5,713	2,14	0,147	0,27	0,56	0,06
S4	19,47	41,07	6,40	26,87	4,96	0,35	99,12	6,096	8,625	1,279	5,967	1,965	0,068	0,25	0,59	0,08
S4	18,03	41,86	6,45	26,49	4,84	0,31	97,99	5,743	8,945	1,312	5,987	1,95	0,063	0,25	0,61	0,08
S4	21,59	40,16	3,98	27,25	4,69	0,42	98,09	6,764	8,441	0,795	6,059	1,86	0,082	0,24	0,56	0,05
S4	17,52	43,84	6,11	26,16	5,32	0,19	99,14	5,514	9,258	1,228	5,842	2,12	0,038	0,27	0,63	0,08
S4	18,26	42,7	5,15	26,78	4,57	0,5	97,96	5,821	9,13	1,049	6,058	1,841	0,1	0,23	0,61	0,07
S4	18,43	39,57	8,05	25,88	5,13	0,32	97,38	5,884	8,475	1,642	5,864	2,071	0,065	0,26	0,59	0,10
S4	22,77	37,77	5,32	24,22	6,61	0,33	97,02	7,073	7,871	1,055	5,34	2,596	0,064	0,33	0,53	0,07
S4	23,58	37,85	5,50	26,78	5,51	0,44	99,65	7,188	7,742	1,07	5,793	2,124	0,083	0,27	0,52	0,07
S4	23,15	37,74	4,70	24,50	6,34	0,54	96,97	7,198	7,87	0,932	5,404	2,492	0,104	0,32	0,52	0,06
S4	17,99	42,46	5,39	26,33	4,9	0,12	97,19	5,767	9,13	1,103	5,988	1,987	0,025	0,25	0,61	0,07
S4	20,15	42,45	3,90	25,33	5,9	0,2	97,94	6,307	8,913	0,78	5,625	2,335	0,04	0,29	0,59	0,05
S4	23,86	37,75	5,26	25,66	6,04	0,67	99,24	7,265	7,712	1,023	5,544	2,327	0,129	0,30	0,52	0,06
S4	18,94	41,61	6,23	26,46	5,13	0,23	98,59	5,962	8,787	1,251	5,91	2,044	0,045	0,26	0,60	0,08
S4	21,39	38,82	6,55	25,94	5,27	1,17	99,14	6,632	8,072	1,296	5,706	2,068	0,227	0,27	0,55	0,08
S4	18,52	41,49	6,78	27,28	4,54	0,4	99,01	5,847	8,786	1,367	6,109	1,811	0,079	0,23	0,60	0,09
S4	20,69	39,34	6,16	25,90	5,46	0,35	97,9	6,489	8,278	1,233	5,763	2,167	0,07	0,27	0,56	0,08
S4	12,78	44,52	9,06	29,01	2,31	1,14	98,81	4,223	9,866	1,91	6,8	0,964	0,235	0,12	0,70	0,12
S4	14,93	44,55	6,83	26,82	3,95	0,89	97,97	4,858	9,724	1,418	6,191	1,627	0,182	0,21	0,67	0,09
S4	18,77	41,56	6,36	27,32	4,54	0,37	98,91	5,922	8,797	1,281	6,116	1,81	0,074	0,23	0,60	0,08
S4	15,95	44,19	6,57	27,25	4,08	0,64	98,68	5,125	9,526	1,349	6,213	1,657	0,13	0,21	0,65	0,08
S4	23,12	37,64	5,63	26,57	5,46	0,36	98,77	7,118	7,775	1,106	5,805	2,126	0,069	0,27	0,52	0,07
S4	30,83	30,85	4,81	24,67	7,6	0,3	99,06	9,034	6,065	0,901	5,129	2,816	0,055	0,35	0,40	0,06
S4	14,53	42,54	9,60	27,25	3,98	0,36	98,26	4,727	9,281	1,993	6,289	1,639	0,072	0,21	0,66	0,13
S4	21,16	40,02	5,78	26,71	5,06	0,79	99,52	6,549	8,308	1,143	5,865	1,982	0,152	0,25	0,56	0,07
S4	18,27	42,75	5,88	27,05	4,74	0,27	98,96	5,766	9,05	1,184	6,056	1,892	0,053	0,24	0,61	0,07
S4	20,38	40,15	5,57	28,45	3,94	0,43	98,92	6,41	8,471	1,118	6,349	1,567	0,084	0,20	0,57	0,07
S4	16,66	43,37	5,94	26,03	4,74	0,49	97,23	5,38	9,395	1,226	5,964	1,937	0,098	0,25	0,64	0,08
S4	22,01	38,48	5,27	26,61	4,95	0,72	98,05	6,879	8,068	1,053	5,902	1,958	0,14	0,25	0,54	0,07
S4	20,12	40,05	6,80	25,83	5,61	0,39	98,8	6,272	8,375	1,353	5,713	2,211	0,075	0,28	0,57	0,09
S5	21,65	38,56	5,99	27,05	4,85	0,54	98,65	6,746	8,061	1,192	5,982	1,913	0,106	0,24	0,54	0,08
S5	21,24	39,34	6,04	27,07	4,88	0,57	99,16	6,6	8,201	1,199	5,969	1,92	0,112	0,24	0,55	0,08
S5	13,75	47,76	5,18	28,74	2,99	0,6	99,02	4,482	10,44	1,078	6,646	1,232	0,122	0,16	0,70	0,07
S5	15,66	39,15	10,54	27,68	3,38	0,66	97,07	5,15	8,637	2,213	6,459	1,406	0,135	0,18	0,63	0,14
S5	11,04	48,6	7,00	28,56	2,76	0,47	98,43	3,671	10,843	1,486	6,741	1,16	0,099	0,15	0,75	0,09
S5	19,17	40,59	5,76	26,95	4,41	0,53	97,41	6,124	8,701	1,175	6,109	1,784	0,107	0,23	0,59	0,07
S5	17,38	43,76	6,18	27,30	4,48	0,5	99,58	5,488	9,268	1,245	6,115	1,787	0,098	0,23	0,63	0,08
S5	23,71	36,46	6,14	26,89	5,18	0,65	99,02	7,283	7,513	1,204	5,862	2,012	0,125	0,26	0,51	0,08
S5	15,7	44,28	6,48	28,48	3,33	0,55	98,82	5,069	9,594	1,336	6,527	1,362	0,112	0,17	0,65	0,08
S5	16,22	44,6	5,42	28,08	3,58	0,55	98,45	5,231	9,652	1,117	6,426	1,462	0,112	0,19	0,65	0,07
S5	19,13	40,49	6,64	27,43	4,32	0,54	98,55	6,058	8,6	1,343	6,162	1,732	0,107	0,22	0,59	0,08
S5	17,89	42,99	5,38	26,36	4,81	0,46	97,89	5,707	9,198	1,095	5,966	1,942	0,092	0,25	0,62	0,07
S5	15,31	45,59	6,11	27,17	4,24	0,42	98,83	4,919	9,827	1,253	6,194	1,721	0,084	0,22	0,67	0,08
S5	23,91	35,13	7,30	27,81	4,65	0,73	99,52	7,338	7,232	1,43	6,057	1,804	0,14	0,23	0,50	0,09
S5	17,06	43,79	6,38	27,70	4,21	0,45	99,58	5,404	9,305	1,291	6,226	1,685	0,089	0,21	0,63	0,08
S5	20,84	40,83	5,58	26,95	5,14	0,43	99,77	6,438	8,461	1,101	5,906	2,01	0,083	0,25	0,57	0,07
S5	14,37	47,08	5,66	27,27	4,1	0,4	98,88	4,64	10,194	1,166	6,247	1,673	0,08	0,21	0,69	0,07
S5	22,89	38,13	6,04	25,49	6,14	0,49	99,18	6,998	7,822	1,179	5,531	2,376	0,093	0,30	0,53	0,07
S5	18,63	43,03	5,45	27,46	4,47	0,55	99,59	5,847	9,06	1,093	6,115	1,776	0,108	0,23	0,61	0,07
S5	24,46	34,86	7,10	27,25	5,17	0,51	99,36	7,472	7,143	1,385	5,906	1,996	0,099	0,25	0,49	0,09
S5	15,92	46,15	4,97	27,55	4,11	0,45	99,15	5,088	9,897	1,015	6,248	1,661	0,091	0,21	0,66	0,06

Liite - Appendix: Jatkoa - Cont.

Näyte	Al2O3	Cr2O3	Fe2O3	FeO	MgO	ZnO	Σ	Al	Cr	Fe3	Fe2	Mg	Zn	Mg#	Cr#	RFe3
S5	25,77	35,56	5,283	26,783	5,64	0,58	99,62	7,781	7,201	1,018	5,737	2,153	0,11	0,27	0,48	0,06
S5	11,83	43,35	11,09	28,02	3,07	0,37	97,73	3,944	9,695	2,361	6,629	1,293	0,077	0,16	0,71	0,15
S5	27,03	34,53	5,52	26,18	6,19	0,73	100,18	8,051	6,899	1,05	5,533	2,332	0,136	0,30	0,46	0,07
S5	17,5	44,71	4,88	28,06	4,08	0,38	99,61	5,533	9,482	0,985	6,295	1,63	0,075	0,21	0,63	0,06
S5	19,65	41,52	6,14	26,97	4,95	0,5	99,73	6,115	8,665	1,22	5,954	1,949	0,097	0,25	0,59	0,08
S5	17,78	41,83	6,72	28,62	3,31	0,91	99,16	5,675	8,956	1,369	6,483	1,336	0,182	0,17	0,61	0,09
S5	13,33	48,08	5,80	28,31	3,45	0,31	99,26	4,327	10,471	1,202	6,522	1,416	0,062	0,18	0,71	0,08
S5	15,3	46,44	5,69	26,21	4,91	0,38	98,92	4,886	9,952	1,161	5,941	1,983	0,076	0,25	0,67	0,07
S5	15,84	44,94	6,97	27,96	4,02	0,48	100,2	5,026	9,564	1,411	6,292	1,613	0,095	0,20	0,66	0,09
S5	19,48	41,2	6,11	27,91	4,13	0,77	99,61	6,108	8,668	1,224	6,211	1,637	0,152	0,21	0,59	0,08
S6	12,7	45,01	7,31	27,25	3,3	0,43	96	4,272	10,158	1,57	6,505	1,406	0,09	0,18	0,70	0,10
S6	17,07	42,26	6,43	27,21	4,05	0,53	97,55	5,516	9,159	1,325	6,239	1,655	0,106	0,21	0,62	0,08
S6	18,62	42,67	4,35	26,01	4,95	0,46	97,05	5,955	9,157	0,888	5,904	2,003	0,093	0,25	0,61	0,06
S6	19,25	42,29	5,41	26,10	5,39	0,31	98,74	6,031	8,887	1,082	5,802	2,137	0,061	0,27	0,60	0,07
S6	19,68	40,54	6,23	26,44	5,06	0,43	98,39	6,191	8,556	1,252	5,903	2,012	0,085	0,25	0,58	0,08
S6	18,25	40,59	6,67	27,15	4,13	0,61	97,4	5,871	8,759	1,371	6,196	1,682	0,123	0,21	0,60	0,09
S6	15,95	44,23	5,96	26,97	4,2	0,42	97,73	5,164	9,604	1,233	6,196	1,72	0,085	0,22	0,65	0,08
S6	26,16	33,13	6,04	26,22	5,49	0,91	97,95	8,012	6,807	1,182	5,699	2,126	0,175	0,27	0,46	0,07
S6	21	36,15	7,63	26,35	4,75	0,57	96,45	6,704	7,741	1,555	5,969	1,916	0,115	0,24	0,54	0,10
S6	21,06	37,94	6,94	25,90	5,27	0,68	97,79	6,614	7,995	1,392	5,772	2,095	0,133	0,27	0,55	0,09
S6	12,22	48,71	5,59	26,90	3,91	0,31	97,64	4,034	10,789	1,178	6,301	1,635	0,065	0,21	0,73	0,07
S6	14,9	45,51	5,18	27,60	3,56	0,46	97,22	4,892	10,022	1,085	6,428	1,477	0,095	0,19	0,67	0,07
S6	22,52	35,48	7,01	26,04	5,21	0,53	96,78	7,094	7,497	1,409	5,82	2,076	0,104	0,26	0,51	0,09
S6	15,31	42,43	6,89	27,83	3,04	0,79	96,28	5,084	9,454	1,461	6,56	1,276	0,164	0,16	0,65	0,09
S6	11,57	42,59	9,12	26,41	3,22	0,27	93,18	4,027	9,947	2,026	6,524	1,416	0,06	0,18	0,71	0,13
S6	19,73	40,39	6,06	26,85	4,66	0,64	98,33	6,228	8,552	1,221	6,013	1,86	0,127	0,24	0,58	0,08
S6	13,38	45,65	6,76	27,50	3,41	0,53	97,23	4,429	10,14	1,43	6,462	1,428	0,11	0,18	0,70	0,09
S6	17,15	40,9	7,05	27,19	3,88	0,54	96,71	5,59	8,943	1,467	6,29	1,599	0,111	0,20	0,62	0,09
S6	26,88	30,78	6,56	23,73	6,99	0,29	95,22	8,316	6,388	1,296	5,21	2,734	0,056	0,34	0,43	0,08
S6	27,7	29,89	4,68	23,10	6,93	0,34	92,64	8,736	6,322	0,943	5,168	2,765	0,067	0,35	0,42	0,06
S6	21,01	39,12	6,23	27,00	4,82	0,58	98,77	6,561	8,196	1,243	5,983	1,903	0,114	0,24	0,56	0,08
S6	19,49	36,74	5,98	24,58	4,84	0,66	92,29	6,502	8,224	1,274	5,821	2,041	0,138	0,26	0,56	0,08
S6	16,99	44,13	4,77	27,70	3,92	0,34	97,85	5,475	9,542	0,982	6,335	1,596	0,068	0,20	0,64	0,06
S6	17,87	41,84	6,32	27,24	4,21	0,54	98,03	5,722	8,986	1,293	6,187	1,704	0,109	0,22	0,61	0,08
S6	15,1	44,3	6,58	27,97	3,38	0,62	97,96	4,929	9,699	1,371	6,477	1,397	0,127	0,18	0,66	0,09
S6	18,59	42,19	4,90	23,23	6,56	0,37	95,84	5,946	9,053	1,001	5,271	2,656	0,073	0,34	0,60	0,06
S6	14,64	45,55	7,00	28,10	3,63	0,49	99,41	4,717	9,844	1,439	6,422	1,479	0,098	0,19	0,68	0,09
S6	15,94	44,96	5,81	28,07	3,73	0,42	98,94	5,12	9,688	1,192	6,399	1,516	0,085	0,19	0,65	0,08
S6	10,83	49,74	6,54	27,71	3,39	0,38	98,59	3,582	11,036	1,382	6,503	1,417	0,079	0,18	0,76	0,09
S6	21,01	40,23	5,61	27,66	4,5	0,75	99,75	6,519	8,371	1,11	6,089	1,767	0,145	0,23	0,56	0,07
S6	19,46	40,83	7,02	28,84	3,85	0,53	100,52	6,065	8,538	1,397	6,378	1,518	0,104	0,19	0,59	0,09


Tätä julkaisua myy

**GEOLOGIAN  
TUTKIMUSKESKUS (GTK)**  
Julkaisumyynti  
02150 Espoo

 90-46931

Teleksi: 123 185 geolo sf  
Telekopio: 90-462 205

**GTK, Väli-Suomen  
aluetoimisto**  
Kirjasto  
PL 1237  
70701 Kuopio

 971-205 111

Telekopio: 971-205 215

**GTK, Pohjois-Suomen  
aluetoimisto**  
Kirjasto  
PL 77  
96101 Rovaniemi

 960-297 219

Teleksi: 37 295 geolo sf  
Telekopio: 960-297 289

Denna publikation säljes av

**GEOLOGISKA  
FORSKNINGSCENTRALEN (GFC)**  
Publikationsförsäljning  
02150 Esbo

 90-46931

Telex: 123 185 geolo sf  
Telefax: 90-462 205

**GFC, Mellersta Finlands  
distriktsbyrå**  
Biblioteket  
PB 1237  
70701 Kuopio

 971-205 111

Telefax: 971-205 215

**GFC, Norra Finlands  
distriktsbyrå**  
Biblioteket  
PB 77  
96101 Rovaniemi

 960-297 219

Telex: 37 295 geolo sf  
Telefax: 960-297 289

This publication can be obtained  
from

**GEOLOGICAL SURVEY  
OF FINLAND (GSF)**  
Publication sales  
SF-02150 Espoo, Finland

 90-46931

Telex: 123 185 geolo sf  
Telefax: 90-462 205

**GSF, Regional office of  
Mid-Finland**  
Library  
P.O. Box 1237  
SF-70701 Kuopio, Finland

 971-205 111

Telefax: 971-205 215

**GSF, Regional office of  
Northern Finland**  
Library  
P.O. Box 77  
SF-96101 Rovaniemi, Finland

 960-297 219

Telex: 37 295 geolo sf  
Telefax: 960-297 289

ISBN 951-690-464-5  
ISSN 0781-4240

Vammala 1992  
Vammalan Kirjapaino Oy