TUTKIMUSRAPORTTI REPORT OF INVESTIGATION 78



Markku Tenhola

# Alueellinen geokemiallinen järvisedimenttikartoitus Itä-Suomessa

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

Espoo 1988

Tutkimusraportti 78

Markku Tenhola

## ALUEELLINEN GEOKEMIALLINEN JÄRVISEDIMENTTIKARTOITUS ITÄ-SUOMESSA

Espoo 1988

Tenhola, Markku 1988. Regional geochemical mapping based on lake sediments in eastern Finland. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation* 78, 42 pages, 22 figures and 5 tables.

During 1973—1984 the Geological survey of Finland carried out geochemical mapping based on lake sediments. About 16 000 organic-rich sediment samples were collected from an area of 80 000 m<sup>2</sup> at an average sampling density of 0.2 samples/1 km<sup>2</sup>. All samples were analysed for Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Fe and Mn and some for Cr, Mo, Ag and Cd by AAS after ashing and leaching in hot 6M HCl. The U contents were determined by neutron activation. The contents were calculated to contents in ash. The organic content was determined by loss on ignition (L.O.I.). The published data are available at the 1:100 000 map scale for Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Mn- and U contents.

In this study the regional distributions of Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Mn and U contents and partly of the Fe and Mo contents are presented on maps, at 1:2 000 000 scale, based on interpolated data (1520 points). On these heavily smoothed maps the anomalies are frequently large and uniform with sharp boundaries. The boundaries often coincide with the gravity and magnetic gradients reflecting different geological units. The anomalies are divided into 10 geochemical provinces according to element combinations and further into several subgroups. These element combinations reflect the lithology and structure of the bedrock more accurately than do the individual element distribution patterns.

The contents of the trace elements are strongly affected by the amount of organic material and the Fe and Mn contents. The Pb, Cu and Zn contents are the most dependent on L.O.I., whereas Co, U and Mn contents are only slightly so.

The Co and Zn contents have the highest correlations between Mn and Fe contents. The arithmetic means of the Zn, Cu, Pb, U and Mo contents are 2-4 times higher in small lakes (length <200 m) than in large lakes (length >1000 m).

Key words: geochemistry, surveys, lake sediments, trace elements, geochemical maps, eastern Finland, Finland.

Markku Tenhola Geological Survey of Finland PB 237 SF-70101 Kuopio FINLAND

> ISBN 951-690-278-2 ISSN 0781-4240

Helsinki 1988. Valtion painatuskeskus

## SISÄLLYSLUETTELO

Johdanto	5
Alueelliset järvisedimenttitutkimukset	5
Järvisedimenttien alkuainepitoisuuksiin vaikuttavista tekijöistä	7
Näytteenotto, analysointi ja tulosten käsittely	8
Näytemateriaali ja näytteenotto	8
Näytteiden esikäsittely ja analysointi	8
Tulosten käsittely ja geokemialliset kartat	8
Tutkimustulokset	8
Alkuainepitoisuudet erilaisissa ympäristöissä	8
Alkuainepitoisuuksien keskinäiset suhteet ja riippuvuus orgaanisen aineksen	
määrästä	10
Alkuaineiden alueellinen esiintyminen	12
Yksittäisten alkuaineiden pitoisuuskartat	12
Uraani	12
Kupari	13
Sinkki	16
Nikkeli ja koboltti	16
Lyijy	19
Molybdeeni	23
Mangaani	23
Rauta	23
Alkuaineyhdistelmät	27
Zn-Ni-Co	27
Cu-Co	27
Zn-Pb	27
Geokemialliset provinssit	31
Yhteenveto ja tulosten tarkastelua	38
Kirjallisuutta – References	40

#### JOHDANTO

Järvisedimentteihin perustuva geokemiallinen kartoitus aloitettiin Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osastossa vuonna 1973. Kartoitusta vauhdittivat Kanadasta saadut hyvät kokemukset uraanipitoisten alueiden kartoituksessa. Suomessa tehdyt ensimmäiset järvisedimenttitutkimukset käsittelivät uraanin alueellista levinneisyyttä Pohjois-Karjalassa. Samanaikaisesti kartoitustyön kanssa tehtiin perustutkimuksia, joissa tutkittiin näytteenottomenetelmiä, näytteenottotiheyttä, pitoisuusvaihteluita sedimenteissä ja alkuainepitoisuuksien välisiä suhteita (Tenhola 1983). Vuoteen 1985 mennessä oli kartoitettu n. 80 000 km<sup>2</sup>:n alue Itä- ja Keski-Suomessa (kuva 1). Näytteitä otettiin n. 16 000 kpl näytteenottotiheyden ollessa n. 0.2 näytettä/1 km<sup>2</sup>.

Kaikista tutkimusalueelta otetuista näytteistä on analysoitu koboltti, kupari, mangaani, nikkeli, lyijy ja sinkki. Uraani on analysoitu koko alueelta lukuunottamatta karttalehtialueita 3321, 3322, 3323, 3324 ja 4522. Tulokset on julkistettu 1:100 000 -mittakaavaisina karttoina.

Osasta näytteitä on analysoitu kromi, rauta, molybdeeni, hopea ja kadmium (karttoja ei ole julkistettu). Karttalehtien 3312, 3314, 3321 ja 3323 alueilta otetuista näytteistä on analysoitu laaja valikoima alkuaineita (ICP-analysimenetelmä), joiden perusteella laadittuja karttoja ei myöskään ole julkistettu.

Tässä tutkimuksessa esitetään koko alueelta järvisedimenttien koboltti-, kupari-, mangaani-, nikkeli-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet sekä osasta aluetta uraani-, rauta- ja molybdeenipitoisuudet 1:2 000 000 -mittakaavaisina tasoitettuina karttoina. Tilastollisissa tutkimuksissa ovat mukana myös kromi-, hopea- ja kadmiumpitoisuudet.

#### Alueelliset järvisedimenttitutkimukset

Järvisedimenttien käyttöä alueellisena geokemiallisena malminetsintämenetelmänä alettiin tutkia Kanadassa 1950-luvun loppupuolella. Kuitenkin vasta 1960-luvun loppupuolella menetelmä yleistyi, ja useat malminetsintää harjoittavat yhtiöt ottivat menetelmän käyttöön.

Ensimmäisen alueellisen (4 000 km<sup>2</sup>) järvisedimenttitutkimuksen teki Kanadan geologinen tutkimuslaitos Coppermine Riverin alueella Kanadan luoteisosassa (Allan 1971; Allan ja Hornbrook 1970). Näytteenottotiheys oli 1 näyte/26 km<sup>2</sup>, minkä todettiin olevan riittävä rajaamaan kuparikriittiset alueet. Laajempi tutkimus (93 000 km<sup>2</sup>) tehtiin Bear ja Slave -provinssien alueella näytteenottotiheyden ollessa sama kuin edellä (Allan *et al.* 1973a ja 1973b). Näissä järvisedimenttitutkimuksissa näytemateriaalina oli siltti (raekoko alle 0,063 mm), ja näytteet otettiin järven rantavyöhykkeestä. Jatkotutkimuksia Bear- ja Slave -provinssien alueilla tekivät Cameron ja Allan (1973), Cameron ja Durham (1974) ja Cameron (1977).

Ensimmäiset orgaanisiin jävisedimentteihin perustuvat alueelliset (51 800 km<sup>2</sup>) järvisedimenttitutkimukset tehtiin Saskatchewanin itäosassa (Hornbrook *et al.* 1975; Hornbrook ja Garret 1976) sekä Manitoban alueella (Hornbrook *et al.* 1976). Niissä näytteenottotiheys oli 1 näyte/13 km<sup>2</sup>, ja näytteet otettiin järven keskiosasta. Jatkotutkimuksia Manitoban alueella on tehnyt Coker (1976). Saskatchewanin alueella järvisedimenttitutkimukset painottuivat pääasiassa uraanin etsintään (Darnley *et al.* 1975; Lehto 1977; Ramaekers ja Dunn 1977). Saskatchewanin luoteisosasta Carswellin alueelta on tehty järvisedimenttejä ja järvivesiä käsittelevä tutkimus 74:stä järvestä (Dunn 1980).

Coker et al. (1982) ovat todenneet Saskatchewanin alueella järvisedimenttien soveltuvan myös kullanetsintään. Tällöin pitää ottaa useita näytteitä samasta järvestä ja



Kuva 1. Tutkimusalue sekä karttalehtijaotus

Fig. 1. Study area and the division of map sheets

näytteiden edustavuuteen on kiinnitettävä huomiota. Heidän mukaansa arseeni soveltuu hyvin path-finder-alkuaineeksi tietyntyyppisille kultaesiintymille.

Ontarion alueella on tehty useita alueellisia järvisedimenttitutkimuksia (Hornbrook ja Gleeson 1972; Coker ja Jonasson 1977) sekä yksityiskohtaisempia tutkimuksia, jotka käsittelevät erilaisten fysikaalis-kemiallisten tekijöiden vaikutusta orgaanisten järvisedimenttien metallipitoisuuksiin (Timperley ja Allan 1974; Coker 1974; Coker ja Nichol 1975; Coker 1980 ja 1981).

Newfoundlandissa tehdyt järvisedimenttitutkimukset käsittelevät mm. sinkin alueellista jakautumista (Davenport *et al.* 1975). Alueella on tehty myös tutkimus, jossa järvisedimenttien hivenalkuaineiden perusteella on luokiteltu alueen mineralisoituneet granitoidit (Davenport 1982). Brittiläisen Kolumbian eteläosassa laajimmat orgaanisiin järvisedimentteihin perustuvat tutkimukset on tehty Nechaco Plateaun alueella (Hoffman ja Fletcher 1976). Yhteenvedon vuoteen 1979 mennessä tehdyistä järvisedimenttitutkimuksista ovat tehneet Coker *et al.* (1979).

Suomessa tehdyt alueelliset järvisedimenttitutkimukset käsittelevät uraanin alueellista levinneisyyttä Pohjois-Karjalassa (Björklund *et al.* 1976; Björklund ja Tenhola 1976; Tenhola 1976; Tenhola 1979). Eräitä uraanianomalioita on tarkistettu ottamalla alueilta useita näytteitä (Tenhola 1978). Sinkin alueellista levinneisyyttä Itä-Suomessa ovat tutkineet Tenhola ja Lummaa (1979). Järvisedimenttien geokemiaan liittyviä perustutkimuksia on tehnyt Tenhola (1983). Sandberg (1976 ja 1978) on todennut järvien alla sijaitsevien kuparimineralisaatioiden kuvastuvan ympäristöään suurempina pitoisuuksina järvisedimenteissä. Tuokon (1980) mukaan emäksisiin ja ultraemäksisiin kiviin liittyvät nikkeli-, kupari- ja sinkkimineralisaatiot aiheuttavat kohonneita pitoisuuksia etenkin pienten järvien sedimentteihin. Järvisedimenttien seleenipitoisuuksien on todettu olevan poikkeuksellisen suuria sulfidimalmin läheisyydessä olevassa järvessä (Koljonen 1976).

#### Järvisedimenttien alkuainepitoisuuksiin vaikuttavista tekijöistä

Järvisedimenttien alkuainekoostumus on tulos erilaisista fysikaalis-kemiallisista prosesseista, joita ovat kallioperän rapautuminen, alkuaineiden kulkeutuminen vesistöihin sekä kerrostumisen jälkeiset muutokset. Joen laskiessa järveen veden mukanaan kuljettamasta aineksesta osa laskeutuu joen suistoalueelle, kun taas hienorakeiset kolloidit levittäytyvät laajalle alueelle järvialtaassa. Suurimpien metallipitoisuuksien on todettu esiintyvän järven keskeltä otetuissa näytteissä, joissa myös orgaanisen aineksen osuus on yleensä suurempi kuin rantavyöhykkeestä otetuissa näytteissä (Coker ja Nichol 1975). Eräissä tapauksissa suurimmat alkuainepitoisuudet on todettu järveen tulevien jokien suistoalueilta otetuissa näytteissä (Coker 1974; Tenhola 1976). Tenholan (1983) mukaan syvänteistä otettujen järvisedimenttinäytteiden alkuainepitoisuudet ovat mangaania lukuun ottamatta suuremmat kuin matalikoilta otettujen näytteiden pitoisuudet.

Järven pohjan topografia säätelee veden virtausta ja sitä kautta sedimentin kerrostumista. Syvännekohdissa orgaanisen liejukerroksen paksuus saattaa olla useita metrejä, kun taas järvialtaan reunaosissa liejukerros on usein ohut tai se puuttuu kokonaan. Reunavyöhykkeissä rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat usein korkeat (Tenhola 1983).

Järvisedimenttien Eh- ja pH-arvot säätelevät alkuaineiden liukoisuustasapainoja. Makeiden vesien pH- ja Eh-alueet sijoittuvat kenttään, jota rajoittavat pH-arvot 5 ja 9 sekä Eh-arvot -200...+600 mV (Baas Becking *et al.* 1960). Tällä alueella pienet pH:n muutokset vaikuttavat suuresti raudan ja mangaanin liukoisuuksiin. Eräissä vähähappisissa järvissä Eh-arvon pienentyessä metallipitoisuudet kasvavat jyrkästi. Kuitenkin hapettavissa olosuhteissa mobiilien alkuaineiden (esim. sinkki ja uraani) pitoisuudet ovat yleensä pienemmät sedimentin yläosassa kuin alaosassa (Tenhola 1983).

Lajittuneiden maalajien alueilla järvisedimenttien metallipitoisuudet, etenkin pienten järvien sedimenteissä, ovat usein suuret. Tämä saattaa johtua siitä, että järvet näillä alueilla ovat usein välittömässä yhteydessä pohjaveteen, mikä aiheuttaa pohjaveteen rikastuvien alkuaineiden pitoisuuksien kasvun myös sedimenteissä.

## NÄYTTEENOTTO, ANALYSOINTI JA TULOSTEN KÄSITTELY

#### Näytemateriaali ja näytteenotto

Näytemateriaalina käytettiin runsaasti kasvi- ja eläinjäänteitä sisältävää pitkälle maatunutta orgaanista sedimenttiä. Näytteen orgaanisen aineksen määrät vaihtelivat kuitenkin huomattavasti hyvin minerogeenisesta näytteestä (esim. suurten järvien savilie-jusedimentit) hyvin humuspitoiseen näytteeseen (esim. suolammet). Kaikkien näytteiden orgaanisen aineksen määrän aritmeettinen keskiarvo oli 36 % laskettuna polttohäviöprosenttina kuivapainosta.

Näytteenoton alkuvaiheessa järvisedimenttinäytteet otettiin  $2x2 \text{ km}^2$ :n näytteenottoruudun keskeltä. Mikäli järvitiheys ei ollut riittävä, orgaanisia sedimenttinäytteitä otettiin myös puroista. Myöhemmin purosedimenttinäytteistä luovuttiin ja järvisedimenttinäytteitä otettiin ensisijaisesti järvistä, joiden pituus oli 200 – 1 000 m. Suurista järvistä otettiin yleensä useita näytteitä järveen tulevien jokien edustoilta. Näytteet otettiin pääasiassa talvella.

Jokaiselta näytteenottopisteeltä kirjattiin havaintokorttiin seuraavat tiedot: vuosiluku, pistenumero, aines (muta, lieju, savi, siltti, hiekka), koordinaatit, näytteenottopaikka (järvi, joki, lähde, umpilampi), kohde (miltä kohdin järveä näyte on otettu), järven koko (pituus alle 200 m, 200 — 1 000 m, yli 1 000 m), veden väri (kirkas, normaali, tumma) ja järven syvyys. Näytteenoton alkuvaiheessa tietojen kirjaus oli osittain toisenlainen (ks. Tenhola 1983). Myöhemmin havaintotiedot on kuitenkin yhdenmukaistettu siltä osin kuin se on ollut mahdollista. Näytteet otettiin sedimenttilukolla varustetulla teräslieriöottimella, jolla saatiin sekoittunut näyte sedimentin yläosasta (Tenhola 1983). Näytemäärä oli 0,2 - 0,5 1.

#### Näytteiden esikäsittely ja analysointi

Sedimenttinäytteet preparoitiin ja analysoitiin Geologisen tutkimuslaitoksen Heinävaaran kenttälaboratoriossa ja Kuopion laboratoriossa sekä osa näytteistä Rovaniemen laboratoriossa. Näytteet kuivattiin (70 – 80 °C:ssa) ja tuhkistettiin (500 °C:ssa), minkä jälkeen analyysiin käytettiin 1 g tuhkaa. Tuhkasta erotettiin lisäksi yksi gramma uraanianalyysejä varten.

Näytteet uutettiin kuumaan 6 M HCl-liuokseen, josta analyysit tehtiin AAS-analyysilaitteistolla (Gustavsson *et al.* 1979). Uraanianalyysit tehtiin Teknillisen korkeakoulun reaktorilaboratoriossa automaattisella rapiduran analyysimenetelmällä (Rosenberg 1977). Kaikki pitoisuudet on ilmoitettu pitoisuuksina tuhkassa.

#### Tulosten käsittely ja geokemialliset kartat

Järvisedimenttikartat on julkistettu 1:100 000 -mittakaavaisina karttoina, joissa tulokset on esitetty luokiteltuina kuuteen pitoisuusluokkaan. Alkuainekohtainen luokitus on sama koko tutkimusalueella.

Tässä tutkimuksessa tutkimustulokset esitetään koko aluetta käsittävinä 1:2 000 000 -mittakaavaisina karttoina. Epäsäännöllisen pisteverkon alkuainepitoisuusarvot on tasoitettu ja interpoloitu säännölliseen pisteverkkoon, jonka pisteväli on 7 km (näytepisteitä 1 520 kpl). Tasoitus on suoritettu laskemalla kullekin säännöllisen verkon pisteelle sen ympäristön arvoista painotettu keskiarvo. Ympäristöksi on määritelty ympyrä, jonka säde on 7 km. Paino on suurin ympyrän keskipisteen lähellä ja pienin ympyrän kehällä olevilla pisteillä.

#### **TUTKIMUSTULOKSET**

#### Alkuainepitoisuudet erilaisissa ympäristöissä

Järvisedimenttien keskimääräiset  $(\bar{x})$  kupari-, nikkeli-, lyijy-, sinkki-, uraani- ja molybdeenipitoisuudet, kuten myös polttohäviöiden arvot (L.O.I.%), ovat huomatta-

vasti suuremmat pienistä järvistä otetuissa näytteissä kuin suurista järvistä otetuissa näytteissä (taulukko 1). Sen sijaan rauta-, mangaani-, koboltti- ja kromipitoisuudet ovat suuremmat suurten järvien sedimenteissä kuin pienten järvien sedimenteissä. Pitoisuuksien ja polttohäviöarvojen keskihajonnat (stdv) ovat suuret kaikissa kokoluokissa, ja ne ovat huomattavan suuret pienimmässä kokoluokassa (poikkeuksena rauta- ja kromipitoisuudet). Suuret sinkki-, kupari- ja uraanipitoisuuksien keskihajonnat pienimmässä kokoluokassa osoittavat hyvin pienten järvien soveltuvan huonosti järvisedimenttinäytteen ottoon.

Laskujoettomiin lampiin (umpilammet) ovat rikastuneet voimakkaimmin kupari ja sinkki, kun taas lähteisiin ovat rikastuneet uraani ja kupari (taulukko 2). Sen sijaan lähteistä otettujen näytteiden mangaanipitoisuudet ovat alhaiset. Purosedimenttien

Taulukko 1. Eri kokoisista järvistä (pituus < 200 m, 200-1000 m, >1000 m) otettujen järvisedimenttinäytteiden alkuainepitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot ( $\bar{x}$ ), standardipoikkeamat (stdv) ja näytteiden lukumäärät (N).

Table 1. Arithmetic means  $(\bar{x})$ , standard deviations (stdv) and number of lake sediment samples (N) taken from lakes of different sizes (length < 200 m, 200—1000 m, >1000 m).

	Järven pituus Length of the lake								Kol T	ko aineis iotal data	sto 7	
	<200m 200—1000 m						>	1000 m				
	Ā	stdv	Ν	Ā	stdv	Ν	Ā	stdv	Ν	x	stdv	N
Со	18,9	35,1	3791	18,1	44,2	6072	19,2	19,6	5903	18,7	34,5	15766
Cr	47,4	54,9	2572	44,7	52,7	4871	48,9	133,0	4257	46,8	90,8	11700
Cu	67,2	121,3	3793	34,3	68,7	6090	20,5	28,4	5895	37,1	77,3	15778
Mn	67,2	1499,0	3817	903,0	3622,0	6096	1801,0	5070,0	5922	1183,0	3929,0	15835
Ni	48,6	79,8	3806	34,3	100,6	6089	31,4	79,9	5910	36,7	88,7	15805
Pb	48,2	882,0	3808	19,3	95,3	6089	13,4	16,7	5896	24,1	437,6	15793
Zn	214,3	392,3	3813	134,4	286,3	6090	100,9	89,3	5919	141,1	271,2	15822
U	12,5	110,1	3529	6,2	16,6	5756	5,5	32,2	5608	7,4	58,1	14893
Mo	7,9	13,7	1067	3,8	6,2	2543	2,4	4,6	1947	4,1	8,1	5557
Fe%	3,4	4,4	2982	3,0	4,3	5128	4,2	4,7	4589	3,5	4,4	12699
L.O.1%	51,8	25,8	3837	40,4	20,5	6095	21,3	17,8	5895	36,0	24,3	15827

Taulukko 2. Eri kohteista (järvi, umpilampi, lähde, joki) otettujen järvisedimenttinäytteiden alkuainepitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot (x̄) ja standardipoikkeamat (stdv) sekä näytteiden lukumäärät (N).

Table 2.	Arithmetic means $(\bar{x})$	, standard deviati	ons (stdv) and n	number of lake sediment	samples (N) taken from different
	targets (lake, withou	t inlet or outlet,	well, river).		

	Järvi Lake			Järvi Umpilampi Lake Lake without inlet or outlet			Lähde Well			Joki <i>River</i>		
	Ā	stdv	Ν	Ā	stdv	Ν	x	stdv	N	Ā	stdv	N
Co	19,0	35,3	14257	16,6	25,8	1264	19,9	33,2	31	12,9	31,5	894
Cr	46,1	93,6	10402	52,3	63,6	1264	60,8	76,5	31	34,2	24,7	19
Cu	35,4	71,5	14282	53,3	113,5	1264	171,8	262,2	31	31,7	98,1	897
Mn	1249,0	4100,0	14312	552,7	1356,0	1264	279,7	242,2	31	752,3	3694,0	940
Ni	36,2	90,6	14288	42,4	62,3	1264	122,4	223,6	31	25,4	103,5	915
Pb	23,5	459,8	14282	31,2	58,0	1264	62,9	139,3	31	19,0	33,5	903
Zn	136,4	267,2	14302	211,0	320,7	1264	174,7	346,0	31	53,4	104,3	927
U	7,2	55,6	13523	6,0	15,0	1117	51,9	69,3	28	18,5	189,4	933
Mo	3,9	7,5	5003	5,4	11,7	532	9,2	14,0	23	8,4	4,8	16
Fe%	3,6	4,4	11260	2,8	4,6	1290	2,7	6,2	31	2,3	3,1	224
L.O.I.%	34,2	23,2	14288	60,0	21,4	1280	47,5	29,9	31	23,3	29,1	937

pitoisuudet ovat keskimäärin alhaisemmat kuin järvisedimenttien. Kuitenkin uraanipitoisuudet ovat keskimäärin suuremmat purosedimenteissä kuin järvisedimenteissä. Kuparija sinkkipitoisuuksien keskihajonnat ovat huomattavan suuret umpilammista ja lähteistä otetuissa näytteissä.

Järven keskiosasta otettujen näytteiden metallipitoisuudet ovat yleensä suuremmat kuin erillisestä lahdesta tai järveen laskevan joen edustalta otetuissa näytteissä (taulukko 3). Pitoisuuksien keskihajonnat ovat pienemmät järveen laskevan joen edustalta otetuissa näytteissä kuin muissa näytteissä (poikkeuksena uraanipitoisuudet).

Taulukko 3. Järvialtaan eri osista (järven keskiosa, järven lahti, järveen laskevan joen edusta) otettujen järvisedimenttinäytteiden alkuainepitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot (x) ja standardipoikkeamat (stdv) sekä näytteiden lukumäärät (N).

	Järv Mid	en keskiosa Idle of lake		Järven lahti Bay			Laskujoen edusta Mouth of river			
	x ppm	stdv	Ν	x ppm	stdv	Ν	x ppm	stdv	N	
Со	18.5	40,5	7311	17,7	19,2	3289	17.2	17.1	889	
Cr	49,0	56,0	7311	44,4	146,7	3290	36,2	39,0	890	
Cu	44,4	90,0	7311	20,5	34,3	3289	19,0	36,7	889	
Mn	1030,0	4015,0	7311	1435,0	4409,0	3289	1265,0	3332,0	889	
Ni	38,2	95,4	7311	30,5	103,1	3289	25,2	31,5	889	
Pb	21,1	43,5	7311	12,0	16,6	3289	13,2	16,6	889	
Zn	162,1	350,9	7311	102,8	103,6	3289	95,7	86,3	889	
U	6,9	31,1	6689	4,6	12,6	3073	5,9	45,3	818	
Mo	4,9	9,2	3450	1,9	3,2	1501	1,7	2,7	436	
Fe%	3,3	4,4	7352	3,7	4,1	3290	3,3	4,3	890	
L.O.I.%	43,9	22,7	7326	23,5	17,6	3265	24,8	17,4	880	

Table 3. Arithmetic means  $(\bar{x})$ , standard deviations (stdv) and number of lake sediment samples (N) taken from different parts of a lake basin (middle of lake, bay, mouth of river).

## Alkuainepitoisuuksien keskinäiset suhteet ja riippuvuus orgaanisen aineksen määrästä

Alkuainepitoisuuksien välisiä suhteita on tutkittu R-mallisen faktorianalyysin avulla (Orthogonal Varimax). Pohjana faktorianalyysille on taulukossa 4 esitetty korrelaatiomatriisi.

Taulukko 4. Järvisedimenttien alkuainepitoisuuksien ja polttohäviön (L.O.I. %) välinen korrelaatiomatriisi.

Table 4. Correlation matrix between contents and L.O.I. % values in lake sediment samples.

Co Ci Cu Mii Ni Po Zii O Mo Fe	Ag	Cd
L.O.I.% 1.000 0.120 0.162 0.416 -0.011 0.166 0.463 0.460 0.095 0.272 0.038 0	.023	0.050
Co 1.000 0.288 0.241 0.488 0.385 0.140 0.443 0.146 0.367 0.598 0	.054	0.091
Cr 1.000 0.333 0.004 0.849 0.114 0.088 0.171 0.309 0.063 0	.017	0.017
Cu 1.000 0.003 0.363 0.260 0.377 0.467 0.433 0.100 0	.326	0.377
Mn 1.000 0.019 0.079 0.222 0.004 0.146 0.440 0	.020	0.054
Ni 1.000 0.129 0.127 0.180 0.403 0.074 0	.034	0.039
Рь 1.000 0.466 0.060 0.171 0.153 -0	.011	0.060
Zn 1.000 0.119 0.339 0.386 0	.142	0.243
U 1.000 0.244 0.068 0	.093	0.105
Mo $n = 2095$ 1.000 0.275 0	.279	0.346
Fe 1.000 0	.093	0.159
Ag 1	.000	0.770
Cd		1.000

Faktori 1 kuvastaa rauta-mangaaniyhdisteisiin adsorboituneita ja absorboituneita alkuaineita (taulukko 5). Raudan ja mangaanin lisäksi voimakkaimmat lataukset faktoriin 1 antavat koboltti ja sinkki. Hopea- ja kadmiumpitoisuudet antavat voimakkaimmat lataukset faktoriin 2. Faktorin merkitys on kuitenkin kyseenalainen, koska suurin osa hopea- ja kadmiumpitoisuuksista on alle määritysrajan. Faktori 3 (nikkeli ja kromi) johtunee alueen emäksisistä kivilajeista. Myös koboltti ja molybdeeni antavat tähän faktoriin heikon latauksen. Faktori 4 kuvastaa orgaaniseen ainekseen voimakkaimmin sitoutuneita alkuaineita (lyijy, sinkki ja kupari). Uraani- ja kuparipitoisuudet muodostavat oman faktorinsa (faktori 5).

Taulukko 5. R-malliseen faktorianalyysiin (Orthogonal Varimax) perustuvat faktorit, faktorien ominaisarvot ja selittävyysprosentit.

	Fal Fa	ktori 1 <i>actor 1</i>	Faktori 2 Factor 2	Faktori 3 Factor 3	Faktori 4 Factor 4	Faktori 5 <i>Factor 5</i>
LOIM		0.065	0.008	0 131	0.824	0.107
L.O.I. %		0.804	0.008	0.131	-0.824	-0.107
Cr "		-0.032	-0.013	0.935	-0.051	-0.107
Cn ,,		0.010	0.270	0.310	-0.001	-0.008
Cu Mn ??		-0.010	0.370	0.510	-0.403	-0.391
IVIII		-0.782	-0.014	-0.000	0.024	0.035
INI Dh ??		-0.088	0.017	0.940	-0.008	-0.088
P0 7- ''		-0.083	-0.030	0.040	-0.604	0.032
Zn		-0.423	0.181	0.013	-0.097	-0.089
0		-0.048	0.018	0.073	-0.003	-0.951
Mo "		-0.285	0.391	0.406	-0.241	-0.251
Ag "		-0.006	0.924	0.005	0.018	-0.038
Cd "		-0.072	0.927	-0.005	-0.065	-0.038
Fe %		-0.823	0.105	-0.002	-0.096	-0.024
Faktori	Ominaisarvo	Selitt	ävyys			
Factor	Eigenvalue	Explan	ation %			
1	2.223	17.	100			
2	2.050	15.	768			
3	2,167	16.	671			
4	2.070	15.	923			
5	1.368	10.	519			

Table 5. Factors based on R-mode factor analysis, eigenvalues and percentages of explanation.

Alkuainepitoisuuksien mediaaniarvojen riippuvuutta polttohäviöprosentista on havainnollistettu kuvassa 2. Pitoisuudet on ilmoitettu mediaaneina eri polttohäviöluokissa (0 - 10 %, 10 - 20 %) jne.). Yli 30 %:n ylittävillä polttohäviön arvoilla lyjy-, nikkeli-, kupari- ja molybdeenipitoisuuksien mediaanit ovat suuresti riippuvaiset polttohäviöprosentista. Suuria keskimääräisiä sinkki- ja lyjypitoisuuksia esiintyy silloin, kun polttohäviöprosentti on yli 90 %. Sen sijaan 0 - 30 %:n välillä pitoisuudet pysyvät lähes muuttumattomina. Mangaanin, koboltin ja uraanin keskimääräiset pitoisuudet eivät ole merkittävästi riippuvaiset orgaanisen aineksen määrästä.

Eri kokoisista järvistä otettujen näytteiden kuparipitoisuuksien ja polttohäviöiden välinen riippuvuus on esitetty näiden välisellä hajontakuviolla (kuva 3). Hajontakuvio on hajanainen, ja suuria kuparipitoisuuksia esiintyy runsaasti kaikilla polttohäviön arvoilla.

Björklund *et al.* (1976) ovat esittäneet polttohäviön suhteen korjatut järvisedimenttikartat, joissa uraanipitoisuudet on esitetty residuaaleina käyrän suhteen, joka kulkee eri polttohäviöluokille laskettujen mediaanien kautta. Samantapainen korjaus on esitetty polttohäviöiden ja sinkkipitoisuuksien välille, jolloin residuaalit on laskettu poikkeamina regressiosuorasta (Tenhola ja Lummaa 1979). Edellä esitettyjen korjattujen järvisedimenttikarttojen tulkinta on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi ja vaatisi yksityiskohtaisempia jatkotutkimuksia.



Kuva 2. Alkuainepitoisuuksien mediaanien ja polttohäviöiden (L.O.I. %) väliset riippuvuudet eri polttohäviöluokissa (0-10 %, 10-20 % jne.).

Fig. 2. Medians of the contents in different classes of L.O.I. % (0-10 %, 10-20 % etc.).

#### Alkuaineiden alueellinen esiintyminen

#### Yksittäisten alkuaineiden pitoisuuskartat

#### Uraani

Järvisedimenttien uraanipitoisuudet (kuva 5) ovat keskimäärin huomattavasti suuremmat arkeeisilla kivilajialueilla kuin proterotsooisilla alueilla (vrt. kuva 4). Suuret pitoisuudet sijoittuvat pääasiassa myöhäisarkeeisia kaligraniitteja käsittäville kivilajialueille, joita ovat mm. Kutsun graniitti (Kouvo 1958), Konivaaran graniitti (kallioperäosaston vuosikertomus 1983) ja Tuliniemen graniitti (E. Luukkonen, suullinen tiedoksianto). Mahdollisesti myöhäisarkeeisiin kaligraniitteihin lukeutuvat lisäksi Loitimon graniitti (Nykänen 1971b) sekä Koitereen graniitti. Lisäksi suuria uraanipitoisuuksia esiintyy laajalti arkeeisella kivilajialueella, mikä kuvastanee runsaasti porfyyrisiä kaligraniitteja sisältäviä sekä voimakkaasti migmatisoituneita alueita (mm. Koitereen ja Pielisen välinen alue). Voimakkaalle uraanianomalialle Nurmeksen ja Valtimon välisellä alueella ei ole löytynyt selitystä.

Proterotsooisilla Kajaanin ja Puolangan graniittialueilla (Kouvo ja Tilton 1966; Laajoki 1986) uraanipitoisuudet ovat myös suuret. Maarianvaaran graniittialue näkyy lievänä anomaliana. Suuria uraanipitoisuuksia esiintyy lisäksi karjalaisissa kvartsiiteissa



Kuva 3. Eri kokoisista järvistä (pituus 200 m, 200–1000 m ja >1000 m) otettujen näytteiden kuparipitoisuuksien ja polttohäviöiden välinen hajontakuvio.

Fig. 3. Scatter diagram of copper contents and L.O.I. values for lakes of different sizes (length <200 m, 200-1000 m and >1000 m).

Enon ja Kolin välisessä jaksossa sekä Kuusamon kvartsiitteja ja vihreäkiviä käsittävässä vyöhykkeessä. Iivaaran alkalikivimassiivi ja sitä ympäröivät graniitit erottuvat voimakkaina uraanianomalioina.

Tunnetuista uraanimineralisaatioista Enon Paukkajanvaara, Riutta ja Revonkylä sekä Kajaanin Losonvaara sijoittuvat alueille, joilla esiintyy suuria järvisedimenttien uraanipitoisuuksia. Sen sijaan Paltamon Nuottijärven, Kuhmon Vepsänkylän, Siilinjärven Temon ja Pielaveden Lemmetyn uraanimineralisaatiot eivät tule näkyviin kohonneina uraanipitoisuuksina. Järvisedimenttien uraanianomalioita on tarkistettu ottamalla useita näytteitä anomaalisista järvistä ja ympäristön puroista (Tenhola 1978).

#### Kupari

Suuria järvisedimenttien kuparipitoisuuksia esiintyy laajoina yhtenäisinä anomaliaalueina Outokummun, Tohmajärven ja Kiihtelysvaaran alueilla, Enon ja Kolin välisessä vyöhykkeessä, Juuan ja Ylä-Luostan välisellä alueella sekä Sotkamossa, Paltamossa ja Puolangalla (kuva 6). Lisäksi Nurmeksen Kuohattijärven ja Sotkamon välinen alue on kuparin suhteen anomaalista. Kohonneita järvisedimenttien kuparipitoisuuksia esittävä alue on merkitty myös moreenin hienoaineksen kuparipitoisuuksia esittävään karttaan (3.3.3., kuva 18).



Kuva 4. Tutkimusalueen kallioperä (Simonen 1980 sekä Outokummun alueen osalta Koistinen 1981). Fig. 4. Bedrock of the study area (Simonen 1980, the Outokumpu area Koistinen 1981).



Kuva 5. Uraanipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 5. Uranium contents in lake sediments.

Suuret kuparipitoisuudet Outokummun alueella kuvastavat mustaliuskeita, karsikiviä, karbonaattikiviä sekä kvartsiitteja ja kuparimineralisaatioita. Enon ja Kolin alueilla suuret pitoisuudet sijoittuvat alueille, joilla esiintyy runsaasti metavulkaniitteja mm. välikerroksina kvartsiiteissa. Tyypillisiä tämän alueen kuparipitoisille näytteille ovat lisäksi suuret kobolttipitoisuudet sekä alhaiset sinkkipitoisuudet (vrt. kuvat 7 ja 10).

Kainuun liuskejaksossa sekä Tohmajärven ja Kiihtelysvaaran alueilla suuret kuparipitoisuudet kuvastavat mm. mustaliuskeita sekä emäksisiä vulkaniitteja. Tohmajärven itäpuoleisella arkeeisella kivilajialueella suuret kuparipitoisuudet liittynevät suurelta osin metadiabaasijuoniin, joita esiintyy runsaasti karjalaisen liuskejakson ja arkeeisen kivilajialueen kontaktivyöhykkeessä. Tässä vyöhykkeessä esiintyy myös runsaasti myöhäisarkeeisia graniitteja, mistä johtuen myös uraanipitoisuudet ovat suuret.

Juuan — Säyneisten — Ylä-Luostan — Nurmeksen alueella on voimakas kuparianomalia, jonka aiheuttajasta antavat viitteitä useat kuparipitoiset amfiboliitti-, sarvivälkegneissi-, kvartsiitti- ja karsikivilohkareet (Malmiaihetiedosto 1984). Mustaliuskeiden vaikutus tällä alueella anomalioiden aiheuttajana lienee vähäistä, mitä osoittaa etenkin anomaliajakson itäosan alhaiset koboltti- ja nikkelipitoisuudet (vrt. kuvat 9 ja 10). Sen sijaan mustaliuskeista johtuvaan anomaliaan Nurmeksen Kuohattijärven ja Sotkamon Talvivaaran välisellä alueella viittaavat alueen suuret kupari-, sinkki-, nikkelija kobolttipitoisuudet.

Suurimmista tunnetuista kuparimineralisaatioista Outokumpu, Luikonlahti ja Hammaslahti sijoittuvat anomaalisille alueille, kun taas esim. Säviän mineralisoitunut jakso erottuu vain heikkona kuparianomaliana.

#### Sinkki

Suuret järvisedimenttien sinkkipitoisuudet sijoittuvat pääasiassa karjalaiseen liuskejaksoon Tohmajärven, Kiihtelysvaaran ja Outokummun alueille sekä Kainuun liuskejaksoon (kuva 7). Näillä alueilla esiintyy runsaasti mustaliuskeita, joita suuret sinkkipitoisuudet kuvastavat. Myös kohonneet pitoisuudet Kuhmon liuskejaksossa aiheutuvat osaksi alueen mustaliuskeista. Arkeeisilla kivilajialueilla on suuria sinkkipitoisuuksia Juuan ja Ylä-Luostan välisellä alueella, Talvivaaran — Valtimon — Kuohattijärven jaksossa sekä Naarvan ja Huhuksen alueilla. Kuhmon liuskejakson ja Kainuun liuskejakson välisellä alueella mm. Hyrynsalmen itäpuolella suuret sinkkipitoisuudet kuvastanevat amfiboliitteja, joita esiintyy runsaasti sulkeumina graniittigneississä (Luukkonen 1986).

Pielaveden ja Kiuruveden alueet erottuvat laajana anomaalisena alueena, jossa suuria järvisedimenttien sinkkipitoisuuksia esiintyy mm. Pyhäsalmen kaivoksen itäpuolelta otetuissa näytteissä. Pielaveden Kangasjärven, Kalliokylän ja Hallaperän pienehköt sinkki-kupari -mineralisaatiot sijoittuvat alueelle, jossa sinkkipitoisuudet ovat kohonneet. Myös Pihtiputaan Ritovuori erottuu yksittäisenä sinkkianomaliana.

Kiihtelysvaaran, Enon, Oskajärven ja Ilomantsin alueilta on tehty sinkin alueellista jakaumaa esittävä tutkimus, jossa alkuperäinen aineisto (0,2 näytettä/1 km<sup>2</sup>) on jaettu kahteen luokkaan sen mukaan onko järven pituus yli tai alle yhden kilometrin (kuva 8). Eri järvikokoluokille laaditut kartat on yhdistetty samaksi kartaksi (Tenhola ja Lummaa 1979). Kartoissa voidaan erottaa selvästi Kiihtelysvaaran, Huhuksen ja Ilomantsin anomalia-alueet. Lisäksi voidaan erottaa useita pienempialaisia sinkkianomalioita, jotka saattavat kuvastaa mineralisoitunutta kallioperää mm. Enon Silkun kaakkoispuolella Luhtapohjassa sekä Ilomantsin Haukivaarassa (kuva 8).

#### Nikkeli ja koboltti

Suurimmat nikkeli- ja kobolttipitoisuudet sijoittuvat sinkkipitoisuuksien tavoin runsaasti mustaliuskeita sisältäville kivilajialueille mm. Tohmajärven, Outokummun, Sotkamon, Paltamon, Ristijärven ja Puolangan alueille (kuvat 9 ja 10). Paltamon serpentiniittialue, Kuhmon Ontojärven serpentiniitti sekä Näränkävaaran ultraemäk-



Kuva 6. Kuparipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 6. Copper contents in lake sediments.



Kuva 7. Sinkkipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 7. Zinc contents in lake sediments.



Kuva 8. Alkuperäisten (tasoittamattomien) järvisedimenttien sinkkipitoisuudet Kiihtelysvaaran, Enon, Oskajärven ja Ilomantsin alueilla. Aineisto on luokiteltu kahdessa eri kokoluokassa (järven pituus >1000 m tai <1000 m) (Tenhola ja Lummaa 1979).

Fig. 8. Original (not interpolated) zinc contents in lake sediments in the Kiihtelysvaara, Eno, Oskajärvi and Ilomantsi areas. The data are divided into two lake-size classes (length of the lake >1000 m and <1000 m) (Tenhola and Lummaa 1979).

sinen kivilajialue erottuvat voimakkaina nikkelianomalioina. Myös Enonkosken emäksisiä kivilajeja käsittävä jakso tulee näkyviin kohonneina nikkeli- ja kobolttipitoisuuksina.

Kuhmon — Suomussalmen liuskejakson pohjoisosassa on useita suuria kobolttipitoisuuksia alueella, jossa tunnetaan Peura-Ahon ja Hietaharjun nikkelimineralisaatiot. Suuret kobolttipitoisuudet voivat kuvastaa myös rautamuodostumia, joita on Kuhmon — Suomussalmen liuskejaksossa mm. Saarikylän, Honkajärven ja Härmämäen alueilla. Kuhmon Tipasjärven ja Valtimon välisessä jaksossa suuret koboltti- ja nikkelipitoisuudet sijaitsevat alueilla, joilta on löydetty useita rautamuodostumiin kuuluvia lohkareita (Malmiaihetiedosto 1984).

## Lyijy

Järvisedimenteissä esiintyy kohonneita lyijypitoisuuksia laajalti tutkimusalueen itäosassa, jossa suurimmat pitoisuudet sijoittuvat Huhuksen — Naarvan — Ilomantsin liuskejaksoon tai sen välittömään läheisyyteen (kuva 11). Myös Koitereen pohjoispuolella tavataan suuria pitoisuuksia kapean vulkaniittijakson päällä (Ks. kuva 4.). Muualla



Kuva 9. Nikkelipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 9. Nickel contents in lake sediments.



Kuva 10. Kobolttipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 10. Cobalt contents in lake sediments.



Kuva 11. Lyijypitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 11. Lead contents in lake sediments.

arkeeisella alueella suuria lyijypitoisuuksia esiintyy mm. Nurmeksen Kuohattijärven itäpuolella, Juuassa, Ylä-Luostan alueella sekä Suomussalmen kaakkoispuolella.

Karjalaisessa liuskejaksossa on suuria lyijypitoisuuksia etenkin Pyhäselän ja Tohmajärven välisessä vyöhykkeessä, missä tunnetaan pieniä lyijymineralisaatioita (Nykänen 1967). Myös Rääkkylän ja Tohmajärven välisellä alueella sekä Kesälahden alueella lyijypitoisuudet ovat kohonneet. Outokummun alue tulee näkyviin voimakkaana lyijyanomaliana. Kainuun liuskejaksossa on useita suuria lyijypitoisuuksia mm. Puolangalla ja Hyrynsalmella. Yleensä suuret pitoisuudet näyttävät sijoittuvan liuskejaksojen reunaosiin. Tutkimusalueen länsiosassa suuria lyijypitoisuuksia esiintyy mm. Pihtiputaan Ritovuoren ympäristössä.

#### Molybdeeni

Molybdeeni on analysoitu vain osasta näytteitä. Anomaliat keskittyvät Juuan, Rautavaaran ja Valtimon alueille sekä Nurmeksen Kuohattijärven alueelle (kuva 12). Mätäsvaaran molybdeenimineralisaatio sijaitsee voimakkaasti anomaalisella alueella. Tyypillistä alueille on myös suuret kupari-, uraani-, sinkki- ja lyijypitoisuudet. Kohonneita molybdeenipitoisuuksia esiintyy myös Viitasaaren Lahnasen molybdeenimineralisaation alueella.

Suuria molybdeenipitoisuuksia esiintyy runsaasti lounais — koillis -suuntaisessa vyöhykkeessä, jonka Pielinen katkaisee. Vyöhyke saattaa olla jatkoa samansuuntaiselle molybdeeniprovinssille, joka on todettu Neuvostoliiton puolella (Bilibina 1978).

#### Mangaani

Suuria mangaanipitoisuuksia esiintyy hajanaisesti koko tutkimusalueella (kuva 13). Pitoisuudet ovat keskimäärin alhaisemmat arkeeisella alueella kuin proterotsooisella kivilajialueella, poikkeuksena kuitenkin Kuhmon — Suomussalmen liuskejakson itäpuolinen alue.

Kuhmon — Suomussalmen sekä Kainuun liuskejaksojen suuret mangaanipitoisuudet sijoittuvat usein rautamuodostumia sisältäville kivilajialueille mm. Suomussalmen Saarikylään, Honkajärvelle, Kuhmon Härmäjärvelle, Sotkamon Tuomivaaraan sekä Puolangan Väyrylään. Korkeiden mangaanipitoisuuksien riippuvuutta rautamuodostumista on vaikea osoittaa, vaikka korkeita mangaanipitoisuuksia on todettu liittyvän grüneriittipitoisiin rautamuodostumiin Tuomivaarassa (Mäkelä 1976). Sen sijaan Ilomantsin rautamuodostumat (mm. Huhus ja Ukkolanvaara) eivät erotu kohonneina mangaanipitoisuuksina. Suuria mangaanipitoisuuksia esiintyy myös Kuusamon pohjoispuolella vihreäkiviä käsittävillä kivilajialueilla. Suurista järvistä otettujen näytteiden mangaanipitoisuudet ovat usein suuret (esim. Pielinen, Koitere, Höytiäinen, Pyhäselkä ja Orivesi).

#### Rauta

Rauta on analysoitu vain osasta aluetta. Voimakkaimmat anomaliat sijoittuvat Tohmajärven, Kiihtelysvaaran ja Outokummun alueille, missä ne kuvastavat mm. mustaliuskeita (kuva 14). Pienempialaisia rauta-anomalioita on mahdollisesti rautamuodostumiin ja mustaliuskeisiin liittyvinä Kuhmon — Suomussalmen liuskejaksossa. Suuria rautapitoisuuksia esiintyy lisäksi mm. Kerimäellä, Enonkosken pohjoispuolella sekä laajoilla alueilla Kuusamossa. Myös rautapitoisuuskartoissa suurten järvien alueet erottuvat kohonneina pitoisuuksina (mm. Höytiäinen ja Pyhäselkä).



Kuva 12. Molybdeenipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 12. Molybdenum contents in lake sediments.



Kuva 13. Mangaanipitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 13. Manganese contents in lake sediments.



Kuva 14. Rautapitoisuudet järvisedimenteissä.

Fig. 14. Iron contents in lake sediments.

#### Alkuaineyhdistelmät

#### Zn-Ni-Co

Järvisedimenttinäytteistä (n. 16 000 kpl) erotettiin ne näytteet, joiden sinkki-, nikkeli- ja kobolttipitoisuudet ylittivät samassa näytteessä kertymäfunktion 95 %:n arvon. Näytteenottopisteet on esitetty kuvassa 15. Alkuaineyhdistelmä on tyypillinen mustaliuskeille, ja suuret pitoisuudet sijoittuvatkin runsaasti mustaliuskeita sisältäville kivilajialueille mm. Tohmajärven Kiihtelysvaaran, Outokummun, Sivakkavaaran, Talvivaaran, Kontiomäen ja Ristijärven alueille. Hajanaisesti suuria Zn-Ni-Co -pitoisuuksia esiintyy myös Ilomantsin pohjoispuolella.

Suuret Zn-Ni-Co -pitoisuudet muodostavat luode — kaakko-suuntaisen vyöhykkeen Talvivaaran, Valtimon ja Kuohattijärven väliselle alueelle, jossa mustaliuskeita tiedetään olevan vain Talvivaarassa. Kuitenkin mustaliuskelohkareita on tavattu runsaasti Kuohattijärven ympäristöstä sekä Valtimon pohjoispuolelta (Talvitie *et al.* 1980; Malmiaihetiedosto 1984).

#### Cu-Co

Pisteet, joista otettujen näytteiden kupari- ja kobolttipitoisuudet ylittävät kertymäfunktion 95 %:n arvon, on esitetty kuvassa 16. Suuria pitoisuuksia esiintyy runsaasti mm. Outokummun ja Sivakkavaaran alueilla, Enon pohjoispuolella sekä Kontiomäen ja Ristijärven alueilla. Anomaaliset pitoisuudet näyttäisivät seuraavan karjalaisen liuskejakson reunavyöhykkeitä, ja ne saattavat kuvastaa metavulkaniitteja, joita mm. Enon ja Kolin välisellä alueella esiintyy välikerroksina kvartsiiteissa.

Yhdistämällä suuria Zn-Ni-Co- sekä Cu-Co -pitoisuuksia esittävät kartat saadaan esille Cu-Zn-Ni-Co -kriittiset alueet (merkitty kuvaan 15). Alkuaineyhdistelmä on tyypillinen Outokumpu-assosiaation kivilajeille, ja Outokummun alue tuleekin näkyviin selvänä yhtenäisenä anomalia-alueena. Suuria Cu-Zn-Ni-Co -pitoisuuksia on lisäksi mm.Tohmajärven, Kiihtelysvaaran, Kontiomäen ja Ristijärven alueilla sekä Talvivaa-ran, Valtimon ja Nurmeksen välisessä jaksossa.

#### Zn-Pb

Kertymäfunktion 95 %:n arvon ylittävät sinkki- ja lyijypitoisuudet on esitetty kuvassa 17. Anomaalisia pitoisuuksia esiintyy runsaasti Naarvan, Huhuksen, Joensuun ja Outokummun välisellä alueella sekä vyöhykkeessä, joka ulottuu Outokummusta Sivakkavaaran ja Rautavaaran kautta Valtimoon. Myös Pielisen pohjoispuolella on suuria pitoisuuksia luode — kaakko-suuntaisessa vyöhykkeessä. Useita anomaalisia Zn-Pb -pitoisuuksia voidaan todeta myös Tohmajärven, Rääkkylän ja Kiihtelysvaaran välisellä alueella. Sen sijaan Kiihtelysvaaran ja Ilomantsin välisellä graniittigneissialueella suuria pitoisuuksia ei juurikaan esiinny. Kainuun liuskejaksossa useat Zn-Pb -pitoisuudet näyttäisivät liittyvän liuskejakson reunaosiin esim. Puolangan, Hyrynsalmen ja Sotkamon — Ristijärven alueilla. Suuria Zn-Pb -pitoisuuksia esiintyy lisäksi mm. Lieksan pohjoispuolella sekä Pielaveden Koivujärvellä.

Rautavaaran — Siilinjärven — Kiuruveden — Sukevan rajoittama alue, Nurmeksen — Lieksan — Miihkalin alue, Suomussalmen pohjoispuoli sekä Kuhmon ympäristö erottuvat alueina joissa ei esiinny korkeita Zn-Pb -pitoisuuksia. Myös Enonkosken ja Kuopion välillä on vain muutama suuri Zn-Pb -pitoisuus.



Kuva 15. Järvisedimenttien Zn-Ni-Co -pitoisuudet, jotka ylittävät kertymäfunktion 95 %:n rajan. Fig. 15. Zn-Ni-Co contents in lake sediments exceeding the cumulative frequency of 95 %.



Kuva 16. Järvisedimenttien Cu-Co -pitoisuudet, jotka ylittävät kertymäfunktion 95 %:n rajan. Fig. 16. Cu-Co -contents in lake sediments exceeding the cumulative frequency of 95 %.



Kuva 17. Järvisedimenttien Zn-Pb -pitoisuudet, jotka ylittävät kertymäfunktion 95 %:n rajan. Fig. 17. Zn-Pb contents in lake sediments exceeding the cumulative frequency of 95 %.



Kuva 18. Suomen geokemiallinen Atlas-kartta, kuparipitoisuudet moreenissa. Tummennettu alue edustaa aluetta, jossa korkeita järvisedimenttien kuparipitoisuuksia esiintyy runsaasti, (vrt. kuva 6).

Fig. 18. Geochemical Atlas of Finland, copper contents in till. The shading shows the area with high copper contents in lake sediments (compare Fig. 6).

#### Geokemialliset provinssit

Järvisedimenttien yksittäiset alkuainepitoisuudet muodostavat usein laajoja ja yli kivilajirajojen ulottuvia anomalioita. Esimerkiksi kuparipitoisuudet ovat kohonneet laajalla vyöhykkeellä, joka käsittää Pohjois-Karjalan ja Kainuun liuskejaksot sekä osia arkeeisesta kivilajialueesta (kuva 6). Verrattaessa järvisedimenttien kuparipitoisuuksien alueellisia jakaumia vastaaviin pitoisuuksiin moreenissa (kuva 18), voidaan todeta kuparipitoisuuksien hyvä yhteensopivuus.

Laajat anomaliat (vrt. edellä) on jaettu pienempiin yksikköihin eli geokemiallisiin provinsseihin (kuva 19). Provinssiksi on luokiteltu ne yhtenäiset anomalia-alueet, joilla tietyt alkuainepitoisuudet tai pitoisuuksien yhdistelmät ovat kohonneet. Myös eräiden alkuaineiden alhaiset pitoisuudet saattavat luonnehtia provinssia. Usein geokemialliset anomaliat, ja näin ollen myös geokemialliet provinssit, rajautuvat terävästi ympäristöönsä anomaliarajojen yhtyessä paikoin magneettisella (kuva 20) ja painovoimakartalla (kuva 21) esiintyviin gradienttisuuntiin. Eräissä tapauksissa geokemialliset provinssit rajautuvat harjujaksoihin (kuva 22). Provinssit on jaettu edelleen osaprovinsseihin, jotka kuvastavat pienempiä geologisia yksiköitä kuin geokemialliset provinssit.

Tutkimusalue on jaettu 10 geokemialliseen provinssiin (1-10), jotka on erotettu toisistaan paksulla yhtenäisellä viivalla (kuva 19). Epävarmat provinssirajat on merkitty paksulla katkoviivalla. Provinssien sisäiset osaprovinssit (a, b, jne.) on erotettu ohuella yhtenäisellä viivalla. Kunkin alueen sisään on merkitty ne alkuaineet, jotka sen määrittelevät.

Provinssien ulkopuolisilla alueilla metallipitoisuudet ovat yleensä alhaiset, joskin yksittäisiä suuria pitoisuuksia voi esiintyä. Anomalioita tulkittaessa tulee ottaa huomioon, että suurista järvistä otettujen näytteiden metallipitoisuudet ovat yleensä alhaiset (ks. 3.1.). Provinssien erottelu perustuu geokemiallisilta kartoilta tehtyyn visuaaliseen tulkintaan.

*Provinssiin 1* kuuluvat kohonneet nikkeli-, koboltti-, sinkki- ja rautapitoisuudet tutkimusalueen eteläosassa (kuva 19). Provinssi sijoittuu vain osittain tutkimusalueelle ja on osa ns. Kotalahden nikkelivyöhykettä. Jaksossa tunnetaan emäksisiä syväkiviä sekä mm. Enonkosken ja Kotalahden nikkelimineralisaatiot. Nikkelipitoisen vyöhykkeen pohjoispuolella on n. 20 km:n levyinen alhaisten nikkeli-, koboltti-, sinkki-, rauta- ja kuparipitoisuuksien alue, jota luonnehtivat granitoidit sekä voimakkaasti migmatisoituneet liuskeet (kuva 4).

Provinssin 2 määrittelevät selvästi kohonneet sinkkipitoisuudet sekä lievästi kohonneet kobolttipitoisuudet. Provinssi on osa Kahman (1973) esittämää Vihannin ja Pyhäsalmen sinkki- ja kuparipitoista vyöhykettä. Provinssin on tulkittu rajoittuvan lounaassa luode — kaakko-suuntaiseen harjujaksoon (vrt. kuva 22). Myös moreenin geokemiaan perustuvissa tutkimuksissa harjujakson on todettu edustavan erilaisten kivilajialueiden välistä rajaa (Gaál ja Kuosmanen 1988). Provinssin itäraja on määritelty sinkkipitoisuuksien perusteella, vaikkakin kobolttipitoisuudet ovat lievästi kohonneet rajan itäpuolella. Raja "seuraa" osittain svekokarjalaisten ja arkeeisten kivilajien välistä kontaktivyöhykettä ja yhtyy likimain Kuosmasen *et al.* (1983) esittämään voimakkaaseen deformaatiovyöhykkeeseen (vrt. kuva 4). Provinssin kaakkoisrajaa ei järvisedimenttien pitoisuuksien perusteella ole voitu määrittää.

Provinssin 2 lounaispuolella esiintyy suuria lyijy- ja molybdeenipitoisuuksia. Myös järvisedimenttien arseenipitoisuuksien on todettu olevan suuria osassa tätä aluetta (Tenhola 1988). Anomaliat esiintyvät kuitenkin verrattain hajanaisesti, joten aluetta ei ole erotettu omaksi geokemialliseksi provinssiksi.

Provinssin 2 itäpuolella on alue, jossa lievästi kohonneet kobolttipitoisuudet muodostavat yhtenäisen anomalia-alueen (*provinssi 3*). Lisäksi provinssia 3 luonnehtivat alhaiset sinkkipitoisuudet. Alueella esiintyy runsaasti emäksisiä syväkiviä, joita kobolttipitoisuudet mahdollisesti kuvastavat (kuva 4). Emäksisten kivilajien muodostamat alueet erottuvat myös voimakkaasti magneettisina (liite 20).

Provinssit 2 ja 3 sijoittuvat alueille, joita luonnehtivat sekä emäksinen vulkanismi että emäksinen plutonismi. Provinssien rajat lähes yhtyvät Kuosmasen *et al.* (1983) esittämiin kallioperän blokkirajoihin.

*Provinssi 4* käsittää laajan pääasiassa karjalaisia metasedimenttejä sisältävän kivilajialueen, josta tunnetaan mm. Outokummun, Luikonlahden ja Hammaslahden kuparimineralisaatiot. Tyypillisiä alueelle ovat kohonneet kupari-, sinkki-, nikkeli- ja kobolttipitoisuudet. Provinssi on jaettu osaprovinsseihin 4a, 4b, 4c ja 4d siten, että aluetta 4a luonnehtivat suuret kupari-, sinkki-, nikkeli-, koboltti- ja rautapitoisuudet sekä osittain myös suuret lyijypitoisuudet. Osaprovinssissa 4b ovat tyypillisiä suuret sinkki-, nikkeli-, koboltti-, lyijy-, kupari- ja rautapitoisuudet sekä paikoin myös suuret mangaanipitoisuudet. Osaprovinssi 4c erottuu alhaisten nikkeli-, koboltti-, lyijy- ja



Kuva 19. Geokemialliset provinssit

Fig. 19. Geochemical provinces



Kuva 20. Aeromagneettinen kartta ja geokemialliset provinssit (vrt. kuva 19). Fig. 20. Aeromagnetic map and geochemical provinces (see Fig. 19).



Kuva 21. Painovoimakartta ja geokemialliset provinssit (vrt. kuva 19). Fig. 21. Gravity map and geochemical provinces (see Fig. 19).



Kuva 22. Sora- ja hiekkaesiintymät Suomessa sekä geokemialliset provinssit (kts. kuva 19). Fig. 22. Gravel and sand deposits in Finland and geochemical provinces (see Fig. 19).

mangaanipitoisuuksien alueena, jossa kuitenkin kupari- ja sinkkipitoisuudet ovat paikoin suuret. Osaprovinssia 4d luonnehtivat vain lievästi kohonneet nikkeli-, kupari-, koboltti- ja sinkkipitoisuudet. Provinssille 4 on tyypillistä myös erittäin alhaiset uraanipitoisuudet.

Provinssin 4 kaakkoisraja sekä osa luoteis- ja pohjoisrajasta rajautuvat arkeeisiin kivilajeihin (kuva 4). Eteläraja yhtyy osittain Suvasveden — Savonrannan siirrokseen, joka erottaa Outokumpu-alueen liuskeet voimakkaimmin migmatisoituneesta ja runsaasti granitoideja sisältävästä liuskealueesta (Halden 1982). Metamorfoosiasteen on todettu olevan suuremman siirroksen länsipuolella kuin sen itäpuolella (Nykänen 1975; Korsman *et al.* 1984).

Osaprovinssi 4a rajoittuu etenkin suurten sinkkipitoisuuksiensa vuoksi likimain alueelle, jonka Koistinen (1981) on katsonut edustavan Outokumpu-alueen kivilajeja (kuva 4). Osaprovinssien 4a ja 4b välinen raja on vaikeasti määritettävissä, mikä johtuu laajoista vesistöistä niiden välillä. Osaprovinssin 4c alhaiset metallipitoisuudet saattavat osaltaan johtua siitä, että se sijoittuu aktiivisen jäätikkökielekevirran alueelle, jossa mm. moreenin kulkeutumismatka on ollut pitkä, ja jossa maapeitteen paksuudet ovat huomattavan suuret (Salminen ja Hartikainen 1985).

*Provinssi 5* (osaprovinssit 5a, 5b ja 5c) rajautuu terävästi kohonneiden nikkelipitoisuuksiensa vuoksi. Osaprovinssia 5a luonnehtivat suuret kupari-, molybdeeni-, uraani-, sinkki-, nikkeli- ja lyijypitoisuudet. Sen sijaan koboltti- ja mangaanipitoisuudet ovat alueella alhaiset. Osaprovinssille 5b ovat tyypillisiä suuret nikkeli-, koboltti-, kupari-, sinkki-, molybdeeni-, uraani- ja rautapitoisuudet sekä alueen kaakkoispäässä myös lyijypitoisuudet. Osaprovinssissa 5c nikkeli-, koboltti-, uraani-, kupari- ja molybdeenipitoisuudet ovat suuret, kun taas sinkki- ja lyijypitoisuudet ovat alhaiset. Mangaanipitoisuudet ovat suuret vain Pielisestä otetuissa näytteissä.

Osaprovinssin 5c eteläosa eroaa muista alueista sikäli, että se käsittää osan karjalaisesta liuskejaksosta ja voisi näin olla rinnastettavissa provinssiin 4. Kuitenkin alueelle ovat tyypillisiä suuret uraanipitoisuudet sekä alhaiset sinkkipitoisuudet, mikä erottaa sen provinssista 4. Osaprovinssit 5a ja 5c erottaa toisistaan voimakas luode — kaakko-suuntainen Pielisen kautta kulkeva deformaatiovyöhyke (Tuominen *et al.* 1973; kuva 4).

*Provinssin 6* erottavat provinssista 5 erittäin alhaiset nikkeli-, koboltti-, sinkki- ja uraanipitoisuudet. Sen sijaan kupari- ja molybdeenipitoisuudet ovat suuret. Provinssin länsiosan molybdeeni- ja kuparikriittisyyttä osoittavat myös useat alueelta löydetyt molybdeeni- ja kuparipitoiset lohkareet (Malmiaihetiedosto 1984). Provinssi rajautuu lännessä voimakkaaseen magneettiseen anomaliaan, johon liittyy kohonneita kobolttipitoisuuksia (vrt. provinssi 3). Raja yhtyy myös painovoimakartalla esiintyvään gradienttisuuntaan (liite 21). Pohjoispuolella provinssi rajoittuu luode — kaakko-suuntaisen deformaatiovyöhykkeen (ks. edellä) kautta Kainuun liuskejaksoon.

Kainuun liuskejakso on erotettu laajaksi ja verrattain epäyhtenäiseksi *provinssiksi* 7, jolle ovat tyyppillisiä suuret nikkeli-, sinkki-, koboltti-, kupari-, lyijy- ja mangaanipitoisuudet. Geokemiallisesti alue on rinnastettavissa Pohjois-Karjalan liuskejaksoon (provinssi 4), joskin suuria mangaanipitoisuuksia esiintyy runsaammin provinssin 7 alueella kuin provinssin 4 alueella.

Provinssi 7 on jaettu osaprovinsseihin siten, että provinssia 7a luonnehtivat suuret nikkeli-, sinkki-, koboltti-, kupari- ja mangaanipitoisuudet. Provinssissa 7b suuret nikkeli-, koboltti- ja kuparipitoisuudet ovat keskittyneet vain alueen itäosaan, kun taas suuria sinkki-, lyijy- ja uraanipitoisuuksia esiintyy laajemmalla alueella. Osaprovinssin 7b länsiosassa vain lyijypitoisuudet ovat suuret. Osaprovinssi 7c käsittää alueen, jossa lyijy-, uraani-, mangaani-, sinkki- ja kobolttipitoisuudet ovat lievästi kohonneet.

Provinssin 7 lähes pohjois — etelä-suuntainen itäraja on määritetty pääasiassa nikkeli- ja sinkkipitoisuuksien perusteella, ja raja seuraa magneettisen häiriöjakson samansuuntaista itäreunaa (kuva 20). Lounaassa provinssi rajoittuu terävästi Kajaanin graniittialueeseen. Sen sijaan lännessä provinssin rajat ovat vaikeasti määritettävissä. Osaprovinssin 7b lounaisraja, joka näkyy mm. sinkkipitoisuuksissa, yhtyy alueen poikki kulkevaan harjujaksoon (kuva 22). Tämä raja leikkaa kuitenkin magneettisella ja painovoimakartalla esiintyviä anomaliasuuntia (kuvat 20 ja 21). Osaprovinssin 7b itäraja yhtyy likimain Väyrylänkylän – Peräkorpisen siirrokseen (Laajoki 1986). Luoteessa osaprovinssi 7b:n raja on piirretty yhtymään Auhon siirrokseen (Laajoki 1986; kuva 4).

Tutkimusalueen itäosan suuret lyijypitoisuudet muodostavat provinssin 8. Provinssin 8 ja osaprovinssin 4b välinen raja selittyy sillä, että karjalaisella liuskealueella nikkeli-, koboltti-, sinkki ja mangaanipitoisuudet ovat suuremmat ja uraanipitoisuudet alhaisemmat kuin arkeeisella aueella. Alkuaineyhdistelmien perusteella provinssi on jaettu osaprovinsseihin 8a, 8b ja 8c siten, että provinssia 8a luonnehtivat suuret lyijy-, uraani-, kupari-, sinkki- ja kobolttipitoisuudet, provinssia 8b kohonneet lyijy- ja uraanipitoisuudet sekä provinssia 8c kohonneet lyijy-, sinkki-, uraani-, nikkeli- ja kobolttipitoisuudet. Salminen ja Hartikainen (1986) ovat todenneet osaprovinssi 8c:n moreenissa myös suuria kulta-, arseeni-, molybdeeni- ja volframipitoisuuksia.

Provinssi 8 erottuu voimakkaana magneettisena anomaliana ja rajautuu pohjoisessa Mikkolan ja Niinen (1968) esittämään siirrosvyöhykkeeseen (kuva 4). Osaprovinssien 8a ja 8b välinen raja yhtyy Tuomisen *et al.* (1973) esittämään deformaatiovyöhykkeeseen, joka ulottuu Pielisen kautta Muhokselle (kuva 4) ja erottaa myös osaprovinssit 5a ja 5c sekä provinssit 6 ja 7a toisistaan. Tämän rajan eteläpuolella (osaprovinssi 8a) esiintyy runsaammin metadiabaasijuonia kuin sen pohjoispuolella (Nykänen 1967, 1971a; Lavikainen 1975; Laiti 1983), mikä osaltaan selittää alueen kohonneet kuparipitoisuudet. Osaprovinssit 8b ja 8c erottava raja on jatkoa luode — kaakko-suuntaiselle geokemialliselle lineamenttisuunnalle, joka yhtyy provinssin 7b lounaisrajaan sekä provinssin 5b pohjoisrajaan.

Kuhmon liuskejakso erottuu vain heikosti anomaalisena järvisedimenttikartoissa (provinssi 9). Provinssi on jaettu kahteen osaprovinssiin Ämmänsaaren kautta kulkevaa siirrosta myöten (Tuokko 1979; kuva 4). Osaprovinssia 9a luonnehtivat suuret kobolttija mangaanipitoisuudet sekä lievästi kohonneet sinkki-, nikkeli-, kupari- ja rautapitoisuudet. Liuskejakson eteläosassa (osaprovinssi 9b) sinkki-, koboltti-, mangaani-, uraanija rautapitoisuudet ovat selvästi kohonneet. Nikkelipitoisuudet ovat suuret vain aivan jakson eteläpäässä.

Oman geokemiallisen provinssinsa muodostavat suuret uraani-, mangaani-, koboltti- ja rautapitoisuudet tutkimusalueen pohjoisosassa (*provinssi 10*). Osaprovinssissa 10a rauta-, mangaani- ja uraanipitoisuudet ovat suuret, kun taas provinssia 10b luonnehtivat kohonneet koboltti-, mangaani- ja rautapitoisuudet.

## YHTEENVETO JA TULOSTEN TARKASTELUA

Järvisedimenttien alkuainepitoisuudet muodostavat hyvin heterogeenisen tulosaineiston. Jokainen järvi on oma kokonaisuutensa, jossa alkuaineiden saostumista ja liukenemista säätelevät järven pH- ja Eh-olosuhteet. Näytteenotossa ei ole voitu ottaa huomioon tekijöitä, jotka vaikuttavat alkuainetasapainoon järvessä (mm. järvityyppi). Näin ollen yksittäisten järvien sedimenttien analyysitulokset eivät aina ole vertailukelpoisia keskenään, vaan tulkinnan tulee perustua laajaan aineistoon. Tasoitetuilla kartoilla eri vaihtelutekijöiden vaikutus vähenee, koska havainto edustaa useista järvistä otettujen näytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvoa.

Koska suurten järvien sedimenttien hivenalkuainepitoisuudet ovat yleensä alhaiset, erottuvat suuret vesistöt alhaisten pitoisuuksien alueina. Koboltti- ja nikkelipitoisuudet ovat usein kohonneet myös suurissa järvissä, joten niiden muodostamat anomaliajaksot ovat yhtenäisemmät kuin muiden hivenalkuaineiden.

Järvisedimenttinäytteiden metallipitoisuudet (uraani- ja mangaanipitoisuuksia lukuun ottamatta) ovat riippuvaisia orgaanisen aineksen määrästä, etenkin polttohäviön ollessa suurempi kuin 30 %. Metallipitoisuuksien ja polttohäviöprosentin väliset hajontakuviot ovat kuitenkin hyvin hajanaiset kaikilla polttohäviöprosentin arvoilla.

Mangaanipitoisuuksilla on voimakas positiivinen korrelaatio kobolttipitoisuuksien kanssa, mikä näkyy mm. suurten järvien kohonneina kobolttipitoisuuksina. Sen sijaan nikkelipitoisuuksilla tämä korrelaatio on heikko. Uraani- ja kuparipitoisuudet eivät ole juuri lainkaan riippuvaisia näytteen mangaanipitoisuudesta.

Alkuainepitoisuuksien riippuvuudet orgaanisen aineksen määrästä sekä mangaanipitoisuuksista tulivat esiin myös faktorianalyysin tuloksissa. Faktoriin 1 (mangaanifaktori) antoivat voimakkaimmat lataukset mangaani, rauta ja koboltti, kun taas faktoriin 4 (L.O.I.-faktori) voimakkaimmat lataukset antoivat L.O.I., lyijy, sinkki ja kupari.

Alkuaineiden alueelliset pitoisuusjakaumat kuvastavat kallioperän suurpiirteitä. Arkeeiset graniittigneissialueet erottuvat alueina, joissa uraanipitoisuudet ovat keskimäärin suuremmat kuin proterotsooisilla alueilla. Suurimmat uraanipitoisuudet sijoittuvat suurelta osin myöhäisarkeeisia graniitteja sisältäville kivilajialueille. Sen sijaan mangaanipitoisuudet ovat keskimäärin alhaisemmat arkeeisilla granitoidialueilla kuin proterotsooisilla alueilla, poikkeuksena kuitenkin Kuhmon — Suomussalmen itäpuolinen alue.

Kuhmon — Suomussalmen liuskejakso erottuu selvästi kohonneiden mangaani-, sinkki- ja kobolttipitoisuuksiensa puolesta. Suuret rauta-, mangaani- ja kobolttipitoisuudet saattavat kuvastaa alueen rautamuodostumia. Kohonneet sinkki- ja kobolttipitoisuudet liuskejakson pohjoispäässä voivat osittain johtua suurista mangaanipitoisuuksista. Myös lyijy- ja molybdeenipitoisuudet ovat paikoin suuret arkeeisilla kivilajialueilla.

Suuret kuparipitoisuudet Tohmajärven — Kiihtelysvaaran itäpuolisella alueella on selitetty johtuvaksi metadiabaasijuonista. Siellä, kuten myös Juuan länsipuolella, kuparipitoisiin vyöhykkeisiin liittyy myös suuria uraanipitoisuuksia. Näiden alkuaineiden samantapainen alueellinen esiintyminen selittää faktorin 5, johon suurimmat lataukset antoivat uraani ja kupari.

Alkuaineyhdistelmä sinkki-nikkeli-koboltti on tyypillinen runsaasti mustaliuskeita sisältäville kivilajialueille. Suuret kupari- ja kobolttipitoisuudet liittyvät usein samoihin vyöhykkeisiin ja kuvastanevat mahdollisesti metavulkaniitteja. Usein suuret kupari- ja kobolttipitoisuudet littyvät karjalaisen liuskejakson raunaosiin. Myös suuria mangaanipitoisuuksia tavataan runsaasti Kainuun liuskejakson reunaosissa. Laajat ultraemäksiset kivilajialueet erottuvat kohonneina nikkelipitoisuuksina.

Tutkimusalueella on erotettu 10 geokemiallista provinssia, joita luonnehtivat tietyt alkuaineet tai alkuaineiden yhdistelmät. Usein anomaliat rajautuvat aeromagneettisella ja painovoimakartalla näkyviin gradienttisuuntiin ja kuvastavat mahdollisesti kallioperän lohkojen välisiä rajoja.

Laaja-alaisimmat provinssit ovat toisiaan geokemiallisesti muistuttavat Pohjois-Karjalan ja Kainuun liuskejaksot (provinssit 4 ja 7). Näille alueille on tyypillistä mustaliuskeiden runsas esiintyminen, minkä takia sinkki-, nikkeli- ja kobolttipitoisuudet ovat paikoin suuret. Myös kuparipitoisuudet ovat usein suuret samoissa vyöhykkeissä. Mangaanipitoisuudet ovat sen sijaan korkeammat Kainuun liuskejaksossa kuin Pohjois-Karjalan liuskejaksossa. Provinssien 4 ja 7 väliin jäävä vyöhyke on vaikeasti tulkittavissa (provinssi 5). Suuria uraani- ja molybdeenipitoisuuksia lukuun ottamatta alkuaineyhdistelmät muistuttavat proterotsooisella alueella esiintyviä monimetallianomalioita. Osaprovinssin 5c kohdalla eroa ei olekaan voitu tehdä, vaan alue käsittää sekä arkeeisia että karjalaisia kivilajeja.

Tutkimusalueen itäosan suuret lyijypitoisuudet (provinssi 8) sekä pohjoisosan suuret rauta-, mangaani-, koboltti- ja uraanipitoisuudet (provinssi 10) muodostavat terävästi erottuvat alueet. Sen sijaan Kuhmon liuskejakson epäyhtenäiset anomaliat (provinssi 9), Pielaveden — Kiuruveden sinkkipitoinen alue (provinssi 2) sekä Iisalmen — Sukevan lievästi kobolttipitoinen alue (provinssi 3) ovat rajoiltaan vaikeammin määriteltävissä. Enonkosken nikkelipitoinen vyöhyke (provinssi 1) sijoittuu vain osittain tutkimusalueelle, mutta rajautuu koillispuolelta terävästi ympäristöönsä.

Edellä mainittujen kohonneiden pitoisuuksien ja geokemiallisten provinssien määrittelemisen lisäksi tutkimusalueella voidaan erottaa laajoja yhtenäisiä alueita, joilla metallipitoisuudet ovat alhaiset. Näitä ovat Lapinlahden — Iisalmen alue (vain kobolttipitoisuudet ovat lievästi kohonneet), Suomussalmen Kiannanniemen ja Kuusamon välinen alue (lukuun ottamatta Näränkävaaran ja Iivaaran alueita), Kainuun liuskejakson länsipuolinen alue sekä Kuhmon liuskejakson itäpuolinen alue, jossa kuitenkin mangaani- ja kobolttipitoisuudet ovat kohonneet.

Geokemiallisessa alueellisessa tutkimuksessa järvisedimenttien käyttö mahdollistaa laajojen alueiden nopean kartoituksen. Menetelmä soveltuu ennen kaikkea alueille, joilta muuta geologista tietoa on vähän. Jatkotutkimuksissa anomalioita voidaan tarkentaa tihentämällä järvisedimenttinäytteenottoverkkoa tai ottamalla alueilta purosedimenttinäytteitä. Tässä tutkimuksessa analysoitujen alkuaineiden määrä on ollut hyvin suppea. Suotavaa olisikin analysoida näytteistä koko alueelta molybdeeni sekä myös arseeni, jonka on todettu MM-projektin alueella tuovan hyvin esiin kultakriittiset vyöhykkeet (Tenhola 1988).

## KIRJALLISUUTTA — REFERENCES

- Allan, R. J., 1971. Lake sediment: a medium for regional geochemical exploration of the Canadian Shield. Bull. Can. Inst. Mining Metall. 64 (715), 43-59.
- Allan, R. J. & Hornbrook, E. H. W., 1970. Development of geochemical techniques in permafrost, Coppermine River Region. Can. Min. J. 91 (4), 45-49.
- Allan, R. J., Cameron, E. M. & Durham, C. C., 1973a. Lake geochemistry a low density technique for reconnaissance geochemical exploration and mapping of the Canadian Shield. *Teoksessa* Geochemical Exploration M. J. Jones, toim. Inst. Mining Metall., London, 131–160.
- Allan, R. J., Cameron, E. M. & Durham, C. C., 1973b. Reconnaissance geochemistry using lake sediments of a 36,000 square mile area of northwestern Canadian Shield. Geol. Surv. Can., paper 75–50, 90 s.
- Baas Becking, L. G. M., Kaplan, I. R. & Moore, D., 1960. Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials. J. Geol. 68, 243-284.
- Bilibina, T. V., 1978 (toim.). Baltian kilven itäosan metallogeeninen aluejakokartta. 1:1 500 000, Neuvostoliiton geologian ministeriö (VSEGEI), luot. geol. aluehallinto.
- Björklund, A. & Tenhola, M., 1976. Karelia: regional prospecting for uranium. J. Geochem. Explor. 5, 244-246.
- Björklund, A., Tenhola, M. & Rosenberg, R., 1976. Regional geochemical uranium prospecting in Finland. *Teoksessa* Exploration for Uranium Ore Deposits. IAEA, Vienna, March 29 — April 2, 238—295.
- Cameron, E. M., 1977. Geochemical dispersion in lake waters and sediments from massive sulphide mineralization. Agricola Lake area, Northwest Territories. J. Geochem. Explor. 7, 327-348.
- Cameron, E. M. & Allan, R. J., 1973. Distribution of uranium in the crust of northwestern Canadian Shield as shown by lake sediment analysis. J. Geochem. Explor. 2, 237–250.
- Cameron, E. M. & Durham, C. C., 1974. Follow-up investigations on the Bear-Slave geochemical operation. In Report of Activities, part A. Geol. Surv. Can., paper 74-IA, 53-60.
- Coker, W. B., 1974. Lake sediment geochemistry in the Superior Province of the Canadian Shield. Unpublished Ph. D. Thesis, Queens University, Kingston, 297 s.
- Coker, W. B., 1976. Geochemical follow-up studies, northwestern Manitoba. *Teoksessa* Report of Activities, Part C. Geol. Surv. Can., paper 76–IC, 263–267.
- Coker, W. B., 1980. Geochemical orientation survey for uranium of the Montreal River Area, District of Algoma, Ontario. Geol. Surv. Can., paper 79–18, 27 s.
- Coker, W. B., 1981. A geochemical orientation survey for uranium in MacNicol, Tustin, Bridges, and Docker Townships, District of Kenora, Ontario. Geol. Surv. Can., Paper 79–11, 23 s.
- Coker, W. B. & Nichol, I., 1975. The relation of lake sediment geochemistry to mineralization in the north-western Ontario region of the Canadian Shield. Econ. Geol. 70, 202–218.
- Coker, W. B. & Jonasson, I. R., 1977. Geochemical orientation survey for uranium in the Grenville province of Ontario. Geol. Surv. Can., Open-file Report 461, 45 s.
- Coker, W. B., Hornbrook, E. H. W. & Cameron, E. M., 1979. Lake sediment geochemistry applied to mineral exploration. *Teoksessa* Geophysics and Geochemistry in the search for Metallic Ores P. J. Hood, toim. Geol. Surv. Can., Economic Geology Report 31, 435–478.
- Coker, W. B., Fox, J. S. & Sopuck, V. J., 1982. Organic Centre-Lake Sediments: applications in the geochemical exploration for gold in the Canadian Shield of Saskatchewan. *Teoksessa* Geology of Gold Deposits. CIM, Gold Symposium, Vol. 24, 267–280.
- Darnley, A. G., Cameron, E. M. & Richardson, K. A., 1975. The Federal-Provincial Uranium Reconnaissance Program. In Uranium Exploration '75. Geol. Surv. Can., Paper 75-26, 49-68.
- Davenport, P. H., 1982. The identification of mineralized granitoid plutons from ore-element distribution patterns in regional lake sediment geochemical data. CIM Bull. 75 (840), 79-90.
- Davenport, P. H., Hornbrook, E. H. W. & Butler, A. J., 1975. Regional lake sediment geochemical survey for zinc mineralization in western New Foudland. *Teoksessa* Geochemical Exploration 1974 J. L. Elliot & W. K. Fletcher, toim. Elsevier, Amsterdam, 555–578.
- Dunn, C. E., 1980. Lake sediment and water gochemistry of the Carswell structure, northwestern Saskatchewan. Saskatchewan Mineral Resources, Report 224, 35 s.

Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H., 1979. Seloste geokemiallisen kartoituksen tutkimusmenetelmistä. Tutkimusraportti 39, Geologinen tutkimuslaitos. 20 s.

- Halden, N. M., 1982. Structural, metamorphic and igneous history of migmatites in the deep levels of a wrench fault regime, Savonranta, eastern Finland. Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci. 73, 17–30.
- Hoffman, S. J. & Fletcher, W. K., 1976. Reconnaissance geochemistry of the Nechaco Plateau, British Columbia, using lake sediments. J. Geochem. Explor. 5, 101-114.
- Hornbrook, E. H. W. & Gleeson, C. F., 1972. Regional geochemical lake bottom sediment and till sampling in the Timmis – Val'Or region of Ontario and Quebec. Geol. Surv. Can., Open-file Report 112.
- Hornbrook, E. H. W., Garret, R. G., Lynch, J. J. & Beck, L. S., 1975. Regional geochemical lake reconnaissance data, east-central Saskatchewan. Geol. Surv. Can., Open-file Report 266, 59 s.
- Hornbrook, E. H. W. & Garret, R. G., 1976. Regional geochemical lake sediment survey east-central Saskatchewan. Geol. Surv. Can., Paper 75-41, 20 s.
- Hornbrook, E. H. W., Garret, R. G. & Lynch, J. J., 1976. Regional lake sediment reconnaissance data, northwestern Manitoba, Geol. Surv. Can., Open-file Report 320.
- Kahma, A., 1973. Metallogenic map of Finland. 1:2 000 000. Geol. Surv. Finland, Bull 265, 28 s.
- Koistinen. T. J., 1981. Structural evolution of an early Proterozoic strata-bound Cu-Co-Zn deposit, Outokumpu, Finland. Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci. 72, 115–158.
- Koljonen, T., 1976. Luikonlahti: selenium in the vicinity of copper ore. J. Geochem. Explor, 5, 263—265.
  Korsman, K., Hölttä, P., Hautala, T. & Wasenius, P., 1984. Metamorphism as an indicator of evolution and structure of the crust in eastern Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 328, 40 s.
- Kouvo, O., 1958. Radioactive age of some Finnish Pre-Cambrian minerals. Bull. Comm. Géol. Finlande 182, 70 s.
- Kouvo. O. & Tilton G. R., 1966. Mineral ages from the Finnish Precambrian. J. Geol., 74, 421-442.
- Kuosmanen, V., Kuivamäki, A. & Tuominen, H. V., 1983. Structural distribution of sulphide ore deposits in the Lake Ladoga-Bothnian Bay zone. Project: Structural Investigation of the Lake Ladoga-Bothnian Bay Zone. Department of Geology, University of Helsinki, 39 s.
- Laajoki, K., 1986. The Central Puolanka Group a Precambrian regressive metasedimentary sequence in northern Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 58, 179–193.
- Laiti, I., 1983. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Lehti-4242-Eno. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Lavikainen, S., 1975. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Lehti-4243-Oskajärvi. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Lehto, D. A. W., Arnold, R. G. & Smith, J. W. J., 1977. Lake sediments as a media for exploration in Saskatchewan. In Uranium in Saskatchewan (C. E. Dunn, Editor). Sask. Geol. Soc., Spec. Pub. 3, 100–124.
- Luukkonen, E., 1986. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Lehti-4421-Moisiovaara. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Mikkola, A. & Niini, H., 1968. Structural position of ore-bearing areas in Finland, Bull. Geol. Soc. Finland 40, 17–33.
- Mäkelä, K., 1976. On the stratigraphy and petrography of the Tuomivaara iron formation in Sotkamo, northern Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 48, 71–78.
- Nykänen, O., 1967. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Lehti-4232-4234-Tohmajärvi. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Nykänen, O., 1971a. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta. Lehti-4241-Kiihtelysvaara. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Nykänen, O., 1971b. Kallioperäkartan selitys. Lehti-4241-Kiihtelysvaara. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Nykänen, O., 1975. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartan selitykset. Lehti-4213-Kerimäki ja 4231-Kitee. 1:100 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Rosenberg, R. J., 1977. Instrumental neutron activation analysis as a routine method for rock analysis. Tec. Res. Cent. Finland, Electr. Nucl. Technol. 19, 139 s.
- Ramaekers, P. P. & Dunn, C. E., 1977. Geology and geochemistry of the eastern margin of the Athabasca Basin. In Uranium in Saskatchewan (C. E. Dunn, Editor). Sask. Geol. Soc., Spec. Pub. 3, 297-322.
   Salminen, R. & Hartikainen, A., 1985. Glacial transport of till and its influence on interpretation of
- geochemical results in North Karelia, Finland. Geol. Surv. Finland, Bull. 335, 48 s.
- Salminen, R. & Hartikainen, A., 1986. Tracing of gold, molybdenum and tungsten mineralization by use of a step by step geochemical till study in Ilomantsi, eastern Finland. *Teoksessa* Prospecting in glaciated terrain 1986. Inst. Min. Metall. London, 201–209.
- Sandberg, E., 1976. Vedenalaisen sulfidimalmin geokemiallisesta heijastumisesta päällä olevissa sedimenteissä Juojärvellä ja Pielavedellä. Laudatur-tutkielma (julkaisematon). Turun yliopiston geologian ja maantieteen laitos, geologian ja mineralogian osasto, 57 s.
  Sandberg, E., 1978. Vedenalaisen sulfidimalmin vaikutuksesta rauta-mangaanisaostumien syntyyn ja
- Sandberg, E., 1978. Vedenalaisen sulfidimalmin vaikutuksesta rauta-mangaanisaostumien syntyyn ja geokemiaan Pielavedellä ja Juojärvellä. Lisensiaattitutkielma (julkaisematon). Turun yliopiston geologian ja maantieteen laitos, geologian ja mineralogian osasto 117 s.
- Simonen, A., 1980. Suomen kallioperä. 1:1 000 000, Geologian tutkimuskeskus.
- Talvitie, J., Damsten, M., Heino, T., Niemelä, M., Vanne, J., Äikäs, T. & Tervo, T., 1980. Väliraportti Kainuun ja Ylä-Savon mustaliuske-serpentiniittijakson malmitutkimuksista vuonna 1980. Raportti no. M 19/3432/-80/1/10. Geologinen tutkimuslaitos, 53 s.

Tenhola, M., 1976. Ilomantsi: distribution of uranium in lake sediments. J. Geochem. Explor. 5, 235–239.
 Tenhola, M., 1978. Järvisedimenttien uraanianomalioiden luokittelusta Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa. Geologian tutkimuskeskuksen geokemian osaston sisäinen raportti no. S/41/0000/1/1978, 8 s.

- **Tenhola, M., 1979.** Järvisedimenttien uraanianomalioiden merkittävyydestä. *Teoksessa* Geokemiallisten puro- ja järvisedimenttitutkimusten tuloksiin ja niiden tulkintaan vaikuttavista tekijöistä R. Salminen, toim. Tutkimusraportti 34, 115–123.
- toim. Tutkimusraportti 34, 115–123. Tenhola, M. & Lummaa, M., 1979. Regional distribution of zinc in lake sediments from eastern Finland. *Teoksessa* Prospecting in glaciated terrain 1979. Inst. Mining. Metall., London, 67–73.
- Tenhola, M., 1983. Orgaanisten järvisedimenttien käyttö geokemiallisessa kartoituksessa Pohjois-Karjalassa. Lisensiaattitutkimus, julkaisematon. Helsingin yliopiston geologian laitos, geologian ja mineralogian osasto. 102 s.
- Tenhola, M., in print. 1988. Geochemical data. *Teoksessa* Exploration target selection by integration of geodata using statistical and image processing techniques: an example from Central Finland. G. Gaál & V. Kuosmanen, toim.
- Timperley, M. H & Allan, R. J., 1974. The formation and detection of metal dispersion halos in organic lake sediments. J. Geochem. Explor. 3, 167-190.
- Tuokko, I., 1979. Sulfidimineralisaatioiden heijastumisesta lampisedimenttien geokemiaan Ontojärven-Arolan alueella Kuhmossa. Kuhmon ja Kittilän malmiprojekti, raportti 35, 44 s.
- Tuominen, H. V., Aarnisalo, J. & Söderholm, B., 1973. Tectonic patterns in the central Baltic Shield. Bull. Geol. Soc. Finland 45, 205-217.

Tätä julkaisua myy

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS Julkaisumyynti 02150 Espoo Puh. (90) 46931 Teleksi 123185 geolo sf

0 VALTION PAINATUSKESKUS

KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ

Annankatu 44 (Et. Rautatiekadun kulma) Vaihde (90) 173 4396 Eteläesplanadi 4 Puh. (90) 662 801

Denna publikation säljs av

GEOLOGISKA FORSKNINGSCENTRALEN Publikationsförsäljning 02150 Esbo Tel. (90) 46931 Telex 123185 geolo st

STATENS TRYCKERICENTRAL

BOKHANDLARNA I HELSINGFORS

Annegatan 44 (I hörnet av S. Järnvigi) Växel 1901 173 4396 Södra esplanaden 4 Tel, (90) 662 801

This publication is available from

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND Publication sales SF 02150 Espoo Finland Phone + 358 0 46931 Telex 123185 geolo sf

## 5 GOVERNMENT PRINTING CENTRE

BOOKSHOPS IN HELSINKI Annankatu 44 Phone (90) 173 4396

Eteläesplanadi 4 Phone (90) 662 801

ISBN 951-690-278-2 ISSN 0781-4240