

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
Tutkimusraportti n:o 39

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND
Report of Investigation no. 39

N. Gustavsson, P. Noras and H. Tanskanen

**SELOSTE GEOKEMIALLISEN KARTOITUKSEN
TUTKIMUSMENETELMISTÄ**

Summary: Report on geochemical mapping methods

Espoo 1979

N. Gustavsson, P. Noras & H. Tanskanen, 1979. Seloste geokemiallisen kartoituksen tutkimusmenetelmistä. Summary: Report on geochemical mapping methods. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation no. 39.* 20 pages, 3 figures, 1 table and 2 microcards.

This report outlines the methods employed since 1973 in regional geochemical mapping conducted by the Department of Geochemistry at the Geological Survey of Finland. The principal materials sampled are till, stream sediment, lake sediment and bedrock. The methods adopted in the field, analytical laboratories and data processing mean that samples and information can be run in great numbers. For example, till is sampled by lightweight percussion drills; the analyses are made by direct reading optical emission spectrometry, and the extensive facilities of ADP ensure versatile representation and interpretation of the data gathered.

Key words: geochemistry, mapping, methodology, till, stream sediment, lacustrine sediment, humus, bedrock, Finland

N. Gustavsson, P. Noras and H. Tanskanen
Geological Survey of Finland, SF-02150 Espoo 15, Finland

ISBN 951-690-104-2
ISSN 0430-5124

Helsinki 1979 Valtion painatuskeskus

SISÄLTÖ – CONTENTS

Johdanto	5
Maaperänäytteet	5
Näytteenotto	5
Analyttiset menetelmät	6
Tietojen käsittely ja esittäminen	7
Purosedimenttinäytteet	11
Näytteenotto	11
Analyttiset menetelmät	11
Tietojen käsittely ja esittäminen	12
Järvisedimenttinäytteet	14
Näytteenotto	14
Analyttiset menetelmät	14
Tietojen käsittely ja esittäminen	14
Kallionäytteet	15
Näytteenotto	15
Analyttiset menetelmät	16
Tietojen käsittely ja esittäminen	16
Humusnäytteet	17
Näytteenotto	17
Analyttiset menetelmät	17
Tietojen käsittely ja esittäminen	17
Tiedon saanti	18
Summary: Report on geochemical mapping methods	19
Kirjallisuutta – References	20

JOHDANTO

Geokemiallisen tutkimuksen tehtävänä on kartoittaa alkuaineiden levinneisyyttä maankamarassa ja auttaa siinä esiintyvien raaka-ainevarojen löytämistä. Samalla toivotaan tietojen palvelevan niin maan- kuin metsänviljelyä, ympäristönsuojelua ja mahdollisesti myös terveydenhuoltoa. Alkuaineiden levinneisyyttä maankamarassa tutkitaan käyttäen kartoitusmateriaalina etupäässä mineraalisia maalajeja (etenkin moreenia) sekä purosedimenttiä ja järvisedimenttiä, jotka kukin kertovat ympäristön kallioperän koostumuksesta.

Maastotutkimus jakautuu yleensä neljään eri vaiheeseen: esitutkimus, alueellinen näytteenotto, tarkistustutkimus ja jatkotutkimus. Maastotutkimusta seuraavat näytteiden käsittely ja analysointi sekä tulosten käsittely, esittäminen ja tulkinta. Suurten näytemäärien analysointiin on käytettävä menetelmiä, joiden tulokset eivät kaikkien alkuaineiden suhteen ole kvantitatiivisia, mutta silti soveltuvat pitoisuussuhteiden tarkasteluun. Tulosten käyttäjän on muistettava tämä tuloksia tarkastellessaan, tulkitessaan ja arvostellessaan. Tämä selvitys, joka kuvaa geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osaston kartoituksessaan käyttämiä työmenetelmiä on tarkoitettu oikeaan suhtautumistapaan opastavaksi taustatiedoksi osaston julkaisemien geokemiallisten kartojen käyttäjille.

MAAPERÄNÄYTTEET

Näytteenotto

Maaperänäytteillä tarkoitetaan moreenia, lajittuneita mineraalisia maalajeja, rapakalliota tai näiden sekoittuneita välimuotoja.

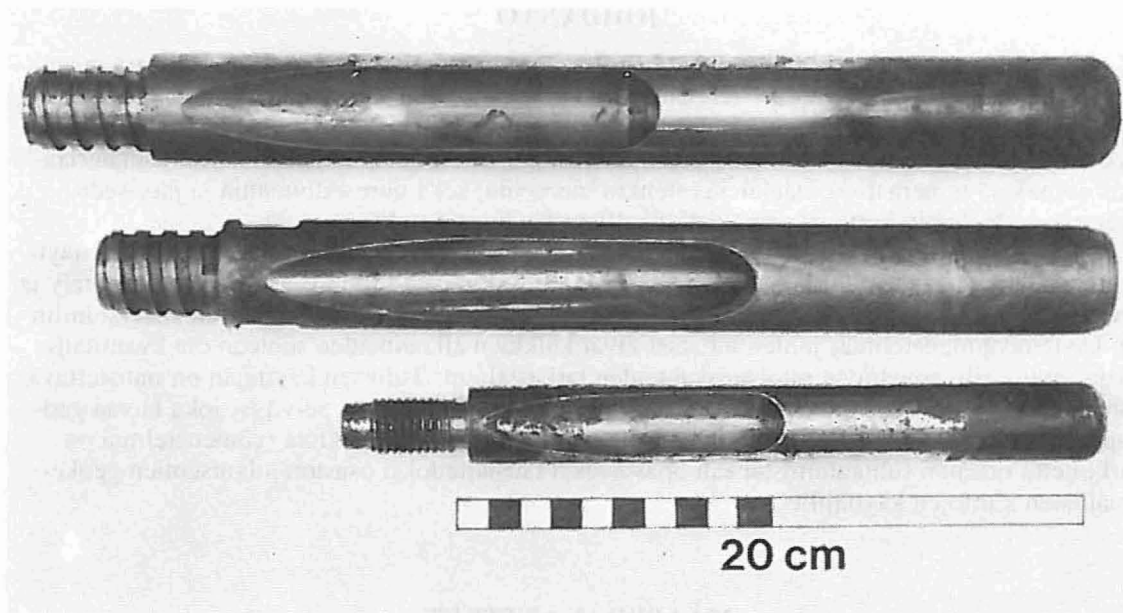
Pistetiheys maaperänäytteenotossa vaihtelee välillä 6–12 kpl/km². Linjaväli on 500–2000 metriä ja pisteväli 100–400 metriä. Näytteenottosyvyys vaihtelee suuresti, mutta on keskimäärin 2 m. Linja- ja pistevälin valinta perustuu matemaattiseen malliin, jossa on optimoitu todennäköisyys osua kahdella näytteellä mineralisaatiosta aiheutuvaan anomaliaan (Savinskii 1965). Eräänä olettamuksena laskelmissa on, että voimme $\pm 30^\circ$ tarkkuudella arvioida anomalian vyöhykkeen pituussuunnan, jonka edelleen oletetaan olevan sama kuin viimeisen mannerjäätikön liikesuunta ko. alueella. Linjoituksella pyritään leikkaamaan tämä suunta samoin kuin kivilajien jatkuvuussuunnat mahdollisimman kohtisuorasti.

Linja- ja pistetiheys määrätään esitutkimuksella hankittujen geologisten ja geokemiallisten ennakkotietojen perusteella. Myös maasto-olosuhteet, kuten kuljettavuus, otetaan huomioon laadittaessa näytteenottoverkostoa.

Näytteenottosyvyys määrätään kullakin alueella erikseen. Esitutkimuksella (kairauksilla, kaivauksilla sekä aikaisemmista tutkimuksista saatavilla tiedoilla) selvitetään maaperän stratigrafia sekä moreenin kulkeutumissuunnat ja -matka tutkittavalla alueella. Tällöin pyritään myös löytämään sellainen moreenikerros, joka esiintyy yhtenäisenä koko alueella ja joka kuvastaa mahdollisimman luotettavasti alla olevaa kallioperää. Näytteet otetaan tästä kerroksesta. Tämän lisäksi otetaan stratigrafian tarkistamista varten näytteet joka toisen linjan joka neljänestä pisteestä yhden metrin syvyysvälein niin syvälle kuin päästään.

Näytteen kokoon vaikuttavat: a) näyteaineksen edustavuus, b) analyysissä tarvittava ainesmäärä ja c) taloudelliset tekijät. Alueellisessa näytteenotossa koko on 30–90 cm³, mistä yleensä saadaan riittävästi hienoainesta (-0.06 mm) analyysia varten. Kaivausten ja tehokai- rausten yhteydessä saatavien näytteiden koko on riittävän suuri monipuolisempaankin tutkimukseen.

Näytteenottokaluston tyyppi valitaan kartoituksen vaiheen ja maaperän laadun mukaan. Selvitettäessä (esitutkimusvaiheessa) maaperän stratigrafiaa käytetään traktorikaivuria. Raskasta traktoriin asennettua auger-kairaa käytetään mm. alueilla, joilla paksut (>10 m) lajittuneet maakerrokset peittävät moreenin ja kallioperän. Erittäin paksujen (>20 m) moreenikerrosten lävistämiseen on (rajoitetusti) käytetty keskiraskasta paineilmakalustoa (kompressorin teho 10–20 m³/min). Alueellisessa näytteenotossa käytetään polttomoottorikäyttöisiä kevyitä Partner M 100-, Wacker BHF 25 S- ja Cobra BBM 47-iskuporakoneita. Ensimmäisessä käytetään tankokalustoa halkaisijaltaan 25 mm ja jälkimmäisissä myös 35 mm:n kalustoa. Näytteen-



Kuva 1. Erikokoisia läpivirtausperiaatteella toimivia näytteenottimia.
Fig. 1. Different sizes of through-flow sampler bits.

ottimet ovat läpivirtausperiaatteella toimivia (kuva 1). Alueilla, joilla näytteenottosyvyys (<1,2 m) ja maalajit (ei lohkaraita) sen sallivat, on käytetty myös käsikäyttöistä iskukairaa nk. "kilkkakalustoa" varustettuna joko kierreterällä tai läpivirtausterällä. Joka 30. näyte otetaan kahteen kertaan, jotta voidaan seurata jatkuvasti näyteaineksen epähomogeenisuuden aiheuttaman näytevirheen suuruutta.

Havaintolomakkeille merkitään seuraavat tiedot:

- näytetunnus
- näytteenottopisteen koordinaatit, yksikkönä 10 metriä
- näytteenottosyvyys, yksikkönä desimetri
- näytteenotossa käytetyt välineet
- näyteaineksen
- maannoskerros
- maaperän stratigrafia

Analyttiset menetelmät

Seitsemäntoista alkuaineen määrittämiseksi maaperänäytteistä on analyysimenetelmäksi valittu optinen emissiospektroskopia (taulukko 1).

Esikäsitely. Moreeni- ja rapakallionäytteet sekä lajittunut mineraaliaineksen (n. 80 g tai n. 200 g) kuivataan 70–80°C:n lämpötilassa. Näytteet seulotaan PVC-kehysisillä nailonseuloilla, joissa on alumiinikannet. Seulonnassa erotetaan seuraavat kolme lajitetta:

- 0,06 mm, hieno, P
- + 0,06 – 0,25 mm, keski, K (vuodesta 1978 lähtien +0,06–0,50 mm)
- + 2,0 mm, karkea, L

P-lajite sellaisenaan ja rapakallionäytteiden L-lajite Schwing-myllyllä hienoksi jauhettuna analysoidaan ilman jatkokäsittelyä. Muut lajitteet varastoidaan mahdollisia myöhempiä tutkimuksia varten.

Taulukko 1. Emissiokvantometrillä määritettävät alkuaineet, analyttiset spektriviivat, puolikvantitatiiviset pitoisuusalueet ja -yksiköt.

Table 1. Element channels, wavelengths and semiquantitative analytical ranges of a direct-reading OES.

Alkuaine		Spektriviiva	Pitoisuusalue	
		nm	%	ppm
Pii	Si	288,16	5. . .45	
Alumiini	Al	394,40	1. . .13	
Rauta	Fe	273,95	1. . .25	
Magnesium	Mg	279,08	0,1. . .15	
Kalsium	Ca	396,85	1. . .25	
Natrium	Nr	330,23	1. . .30	
Kalium	K	404,42	0,5. . .10	
Titaani	Ti	365,35		1000. . .25000
Vanadiini	V	437,92		150. . . 1500
Kromi	Cr	267,72		100. . . 5000
Mangaani	Mn	293,31		150. . . 3000
Koboltti	Co	345,35		15. . . 500
Nikkeli	Ni	341,48		20. . . 3000
Kupari	Cu	327,40		10. . . 5000
Sinkki	Zn	213,85x2		100. . . 3000
Lyijy	Pb	283,31		50. . . 1000
Hopea	Ag	338,29		10. . . 200

Analysointi. Analyysilaitteena käytetään optiseen emissiospektrometriaan perustuvaa, suoraan tulostavaa ARL Model 31000-emissiokvantometriä (EKV), jonka syöttö- ja herätysyksikkönä on Danielssonin teippikone (Danielsson *et al.* 1959). Herätys tapahtuu argonsuojakaasussa ja on luonteeltaan matalajännitteinen tasavirta-katkokaari. Herätyksen kesto aika on 10 sekuntia. Kullekin alkuaineelle valitun analyttisen spektriviivan (kiinteät toisioraot) intensiteetti mitataan valomonistinkenoilla. Laitte tulostaa intensiteetit jänniteyksikköinä, jotka muunnetaan pitoisuuksiksi HP-3000-keskustietokoneella käyttäen tunnettuja näytteitä analysoimalla aikaansaatuja laskentamalleja.

Näytteet analysoidaan 1:100 000-karttalehdittäin yhtäjaksoisesti. EKV:n analyysikapasiteetti on noin 250 maaperänäytettä työpäivää kohden. Tulosten laatua tarkkaillaan vertailunäytteiden ja toistoanalyysien avulla. Nämä näytteet käyttävät n. 15 % laitteen analyysikapasiteetista.

EKV:n alkuainekohtaiset analyttiset spektriviivat ja pitoisuusalueet on esitetty taulukossa 1. EKV:n antamien pitoisuuksien toistettavuus on alkuaineesta riippuen 20–50 % luotamustasolla 95 %, jos tarkastellaan tavanomaisia geokemiallisia pitoisuuksia ja tuloksia voidaan näin ollen kutsua puolikvantitatiivisiksi.

Kvalitatiivista testiä varten tulostetaan lisäksi seuraavien alkuaineiden intensiteetit: Mo, W, Sn, Sb, Sr, Ba, Rb, Li, Be, B, P, Y, La, Nb ja As.

Esitutkimusten ja tarkistusten yhteydessä otetuista maaperänäytteistä analysoidaan myös atomiabsorptiospektrofotometrisesti kromi, mangaani, rauta, koboltti, nikkeli, kupari, sinkki ja lyijy. Uuttamisessa käytetään kuumaa 7M typpihappoa. Menetelmään liittyvät työvaiheet on kuvattu mineraalisten puresedimenttien analysoinnin yhteydessä (s. 12).

Valikoiduista maaperänäytteistä analysoidaan uraani Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa automaattisella RAPIDURAN-analysaattorilla. Menetelmä perustuu viivästyneiden neutronien laskentaan (Rosenberg *et al.* 1977).

Tietojen käsittely ja esittäminen

Tietojen keruu ja taltiointi. Maaperänäytetietoja kerätään kolmessa eri vaiheessa: näytteenotossa kentällä ja esikäsittelyssä sekä analysoitaessa laboratoriossa.

Esikäsitteilyn yhteydessä merkitään analyysiin menevän näyteosan käsittelykoodi näyteampullin etikettiin.

EKV:n analyysitulokset tulostetaan automaattisesti intensiteettiarvoina reikänauhalle, jonka sisältö laaduntarkastuksen jälkeen taltioidaan magneettinauhoille jatkokäsittelyä ja varmuusarkistointia varten.

Kenttä- ja analyysitiedot yhdistetään näytetunnuksen perusteella. Yhdistetyt tiedot jaetaan 1:100 000-karttalehtikohtaisiin tiedostoihin, joita vastaavat jo olemassa olevat nauhatiedostot päivitetään. Tiedot taltioidaan peruskarttalehden ja näytenumeron mukaan lajiteltuina magneettinauhoille 1:100 000-karttalehdittään. Tieto on nauhoilla merkkimuotoisena ASCII-standardin mukaisesti ja nauhan kopiointi muille tietokoneille on vaivatonta.

Tietuekuvaus. Maaperätiedoston yksittäinen tietue sisältää yhden näytteen kaikki tiedot. Jos samaa näytettä on käsitelty eri tavoin (eri lajitteet jauhettu jne.), niin kutakin esikäsitteilyä vastaavat tiedot ja analyysitulokset ovat eri tietueissa. Tietuepituus on 442 merkkiä ja jakso 1326 merkkiä. Tietokentät on kiinteästi merkitty seuraavasti:

Merkkipaikka	Sisältö
1 ja 2	näytteenottovuoden 2 viimeistä numeroa
3. . .7	näytteenottopisteen numero
8. . .10	näytteenottosyvyyys, dm
11. . .14	X-koordinaatti, yksikkönä 10 m
15. . .18	Y-koordinaatti, yksikkönä 10 m
19 ja 20	maalaji 2-merkkisenä kirjainkoodina, joista seuraavat ovat käytössä: HK hiekka HT hieta MR moreeni RM rapakalliomoreeni RP rapakallio SA savi SI siltti SR sora
21	näytteenottokaluston koodi: A augerkaira C iskuporakone (Cobra tms.) K käsikaira ("kilikka") L lapio M kaivinkone P paineilmakaira S pyörityskaira (Borro tms.)
22	maannoskerros: A A-kerros B B-kerros C C-kerros K kallio
23. . .28	1:20 000-karttalehden numero
29 ja 30	analyysilaitteen koodi: AA AAS MN neutroniaktivointi KV kvantometri
31 ja 32	esikäsitteilykoodi: P hienolajite, -0,06 mm K keskilajite, +0,06 – 0,25 mm ¹⁾ L karkealajite +2,0 mm R seulottu ja jauhettu J jauhettu
33. . .212	kvantometrin tulostamat 36 intensiteettiarvoa (mV) 4-numeroisina lukuina
213. . .218	analyysipäivämäärä
219 ja 220	analyysin päiväkohtainen nauhanumero
221. . .430	alkuaineiden Si, Fe, Al, Mg, Ca, Na, K, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Sn ja Sb pitoisuudet eksponenttimuodossa kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, intensiteetin ylivoitto tai tekninen häiriö.
431. . .436	magneettinen massasuskeptibiliteetti
437. . .442	päivämäärä, jolloin alkuainepitoisuudet on laskettu

¹⁾ vuodesta 1978 lähtien +0,06–0,50 mm.

Tiedon esittäminen kartalla. Alkuainepitoisuudet on luokiteltu aluekohtaisen tilastollisen jakauman perusteella pitoisuusluokkiin, joita vastaavat symbolit piirretään havaintopisteisiin kartalle. Symbolit korostavat suuria pitoisuusarvoja. Poikkeuksellisen pienet arvot on merkitty omalla symbolilla.

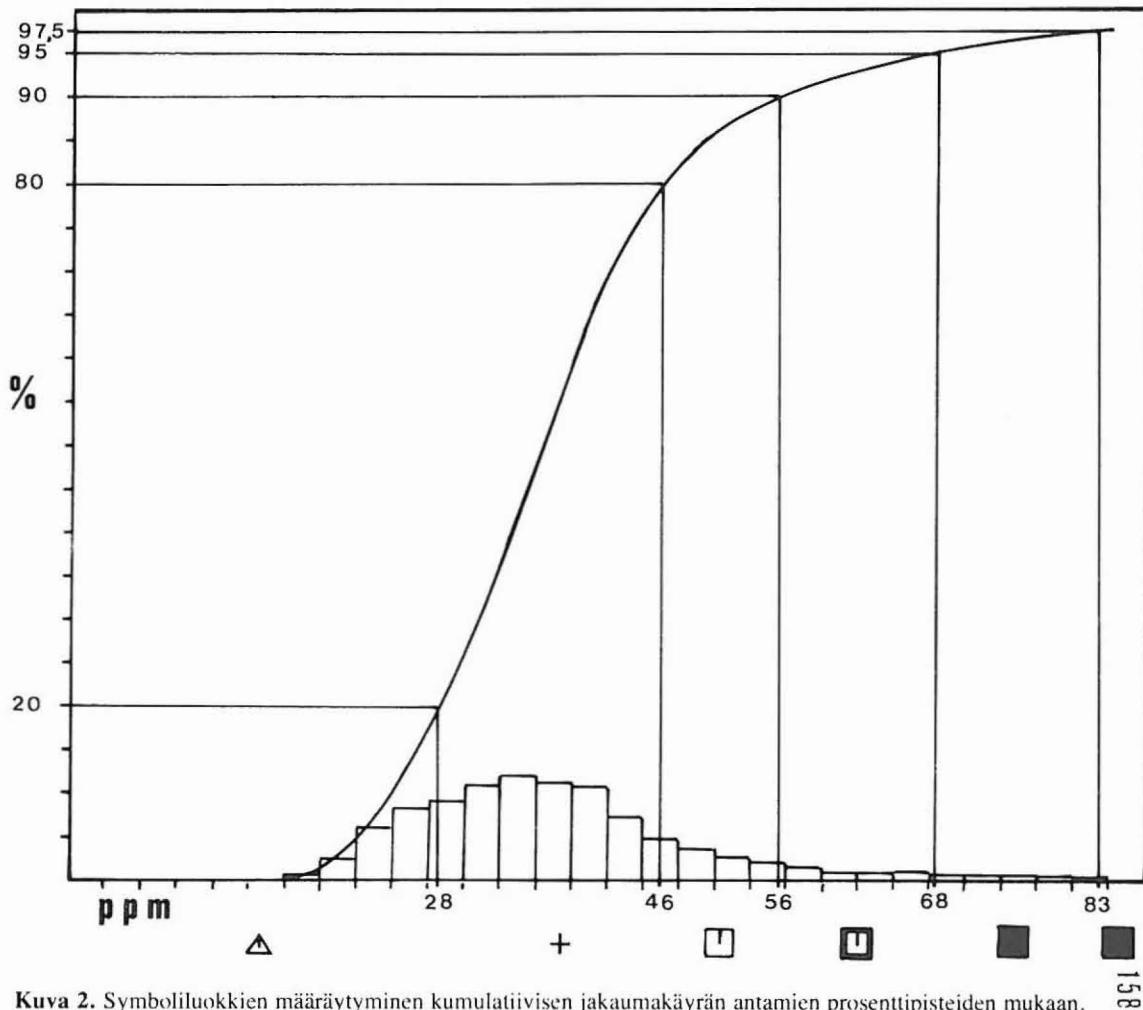
Käytössä on kuusi symboliluokkaa, joiden väliset rajat määräytyvät 20, 80, 90, 95 ja 97,5 % prosenttipisteiden mukaan (kuva 2).

Havaintopisteeseen piirrettävä symboli määräytyy pisteen syvimmästä moreeninäytteestä saadun alkuainepitoisuuden mukaan. Jos havaintopisteestä ei ole saatu moreeninäytettä, ei pistettä merkitä moreenikartalle lainkaan. Muun kuin moreeniaineksen näytetiedot ovat kuitenkin mikrokorteilla listatietona ja niistä tehdään karttoja erillistilauksesta.

1:20 000-kartan selityksessä on tavanomaisten karttatietojen lisäksi seuraavat tiedot (kuva 3):

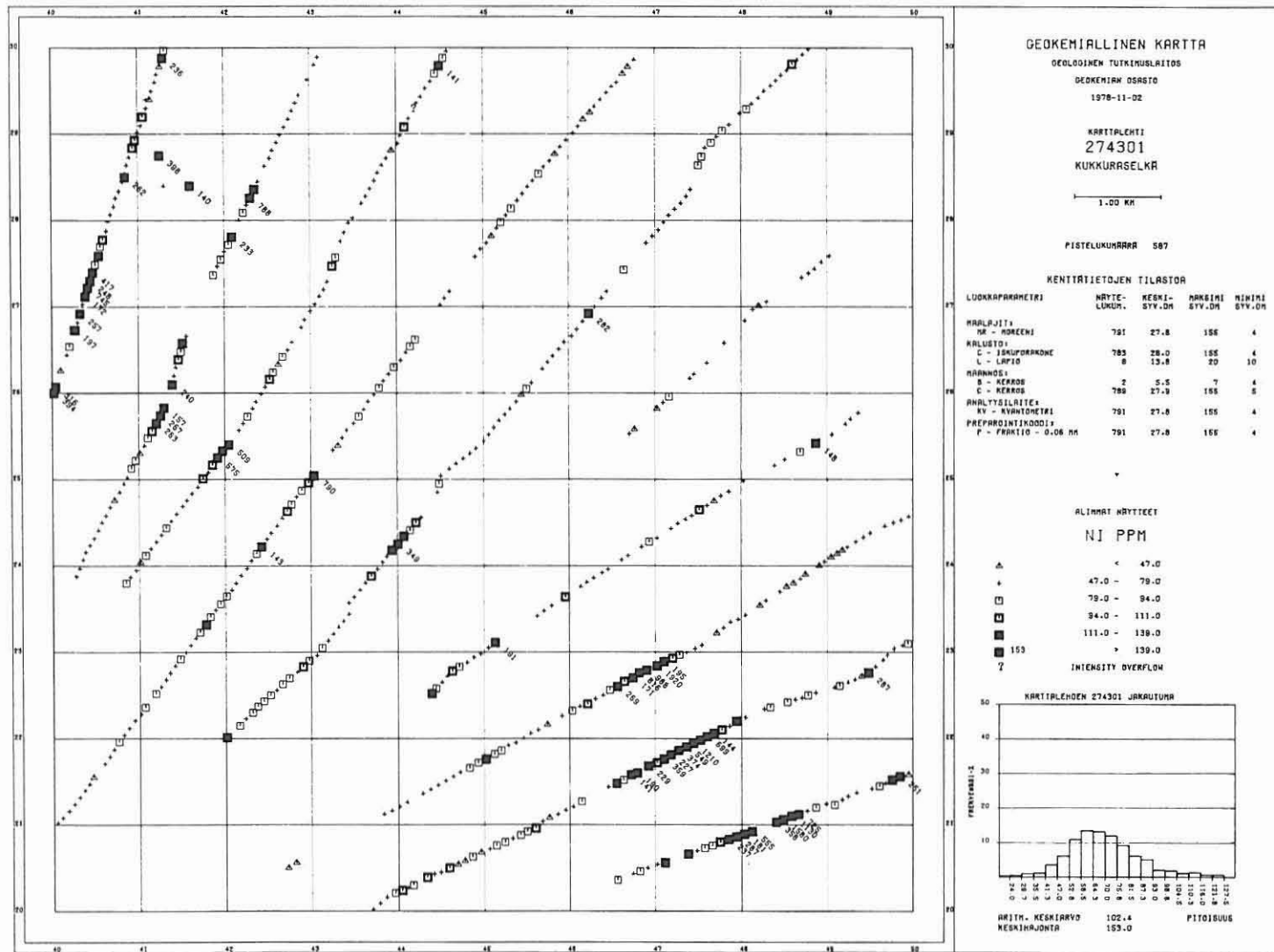
- lajite, kalusto, maannos ja esikäsitteily
- näytteenottosyvyyksien minimi, maksimit ja keskiarvot
- piirrettyjen pitoisuusarvojen tilastollinen jakauma
- jakauman aritmeettinen keskiarvo ja keskihajonta

Kartat piirretään CalComp -kynäpiirturilla mittakaavan 1:20 000 ja pienennetään valokuvaamalla 1:100 000-mittakaavaisiksi. Pienennetyt kartat asemoidaan 1:100 000-lehtikokoinaisuuksiksi ja kuvataan 35 mm:n filmille, joka taskutetaan A6L-kokoisille mikrokorteille (liite).



Kuva 2. Symboliluokkien määräytyminen kumulatiivisen jakaumakäyrän antamien prosenttipisteiden mukaan.

Fig. 2. Symbol classes according to cumulative distribution and percentiles.



Kuva 3. Moreenin nikkelipitoisuutta kuvaava geokemiallinen kartta. (peruskarttalehti 2743 01).

Fig. 3. Geochemical map. Nickel concentrations in till (sheet no. 2743 01).

Alkuainekarttojen lisäksi kuvataan pistenumero kartat mikrofilmille. Pistenumero karttaa käytetään yksittäisen näytetiedon haussa. Tutkittavan kohteen pistenumerot löytyvät kartalta ja niitä vastaavat tiedot mikrokorteilta kortin oikeassa alanurkassa olevan indeksin avulla (liite).

PUROSEDIMENTTINÄYTTEET

Näytteenotto

Sekä orgaaninen että mineraalinen purosedimenttinäyte ovat jatkuvasti veden pinnan alapuolella olevaa puron uomaan kerrostunutta eloperäistä tai vastaavasti mineraalista ainesta.

Pistetiheys. Näytteenottopisteiden väli on 50–300 metriä purojen ja jokien varsilla. Järven tai saaren rannoilla on suurin näytteenottoväli 500 metriä. (ks. s. 13, tiedon esittäminen kartalla) Pistetiheys on alueen puro-/jokiverkostosta riippuen 1–2,5 näytettä/km². Joka 30. näyte otetaan kahteen kertaan näytevirheen seuraamiseksi.

Näytteen koko. Näyte kootaan käsin tai lapiolla vähintään viidestä osanäytteestä noin 20 metrin matkalta. Orgaanisen näytteen koko on noin 200 cm³. Mineraalinen näyte märkäseulotaan niin, että saadaan noin 50 g –0,17 mm:n lajitetta. Seulat ovat alumiinirunkoisia ja verkko nailonia.

Havaintolomakkeille merkitään seuraavat tiedot:

- näytetunnus
- näytteenottopisteen koordinaatit, yksikkönä 10 metriä
- seuraavan näytteen tunnus puron virtaussuunnassa (vuoden 1978 jälkeen ei ole ollut käytössä)
- näyteaines
- puron leveys
- veden virtausnopeus
- vesistötyyppi
- näytteen laatuun vaikuttava ympäristö

Analyttiset menetelmät

Kromin, mangaanin, raudan, koboltin, nikkelin, kuparin, sinkin ja lyijyn määrittämiseksi erityyppisistä geokemiallisista näyteaineksista osastolla on neljä Perkin-Elmer 300-sarjan atomiabsorptiospektrofotometria (AAS).

Orgaanisten sedimenttinäytteiden hehkutusjäännöksen sisältämät yhdisteet ovat yleensä helposti suolahappoon liukenevia. Mineraalisissa purosedimenteissä raskasmetallit esiintyvät pääosin kuumaan typpihappoon helposti liukenevassa muodossa so. adsorboituneina, keraasotuneina, sekundaarisissa mineraaleissa tai mahdollisesti sulfideina.

Purosedimenttinäytteiden analysoinnissa saavutettava tulosten toistettavuus on parempi kuin 15 % luottamustasolla 95 %, kun tarkastellaan määritettävien alkuaineiden tavanomaisia pitoisuustasoja. Mainittujen alkuaineiden määrittämisrajat AAS-tekniikalla alittavat yleensä geokemialliset taustapitoisuudet.

Valikoiduista näytteistä on analysoitu Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa uraani viivästyneiden neutronien menetelmällä.

Orgaanisten purosedimenttinäytteiden (n. 200 cm³) maatumisaste määritetään sovelletun v. Post'in menetelmän mukaisesti käyttäen asteikkoa raaka (R), maatumus (M) tai hyvin maatumus (H).

Näytteet kuivataan 70–80°C:n lämpötilassa ja orgaaninen aines hävitetään hehkuttamalla 12 tuntia lämpötilassa 500°C. Hehkutushäviön määrittämiseksi näyte punnitaan tunnetun painoisessa alumiinifoliossa ennen ja jälkeen polton.

Tuhkan uuttamisessa ja alkuainemäärittäyksissä erotetaan seuraavat työvaiheet:

- (1) Punnitaan uutosputkeen 0,500 g tuhkaa.
- (2) Lisätään 5 ml 6M suolahappoa ja sekoitetaan.
- (3) Putkea pidetään hiekkahauteella yhden tunnin ajan 110°C:n lämpötilassa.
- (4) Liuoksen annetaan jäähtyä, laimennetaan vedellä 30 ml:ksi ja ravistellaan.
- (5) Dekantoidaan n. 10 ml liuosta sentrifuugiputkeen ja sentrifugoidaan 10 min.
- (6) Liuoksesta määritetään Cr-, Mn-, Fe-, Co-, Ni-, Cu-, Zn- ja Pb-ionit AAS:lla ilma-asetyleeniliekkiä käyttäen. Kalibrointiin tarvittavien standardiliuosten happokonsentraatio on yhdenmukainen näyteliuosten happokonsentraation kanssa.

Alkuainepitoisuudet ilmoitetaan ppm-yksikköinä tai prosentteina (rauta) alkuperäisen näytteen kuiva-aineessa. Uraanipitoisuudet on poikkeuksellisesti kuitenkin laskettu tuhkan suhteen, mutta vuodesta 1978 lähtien kuiva-aineessa.

Mineraalinen purosedimenttinäyte (n. 50 g) on märkäseulottu näytteenotto paikalla ja se edustaa -0,17 mm:n lajitetta.

Näyte kuivataan 70–80°C:n lämpötilassa ja uutetaan seuraavasti:

- (1) Punnitaan uutosputkeen 3,00 g näytettä.
- (2) Lisätään 5 ml 7M typpihappoa ja sekoitetaan.

Tämän jälkeen menetelmään liittyvät edellä orgaanisille purosedimenttinäytteille kuvatut työvaiheet (3)–(6).

Tietojen käsittely ja esittäminen

Tietojen keruu ja taltiointi. Purosedimenttitietoja kerätään kentällä näytteenottovaiheessa ja laboratorioissa näytteen käsittely- ja analysointivaiheessa.

Kenttähavainnot samoin kuin laboratorioissa saatavat poltto- ja analyysitiedot kirjoitetaan tätä varten suunnitelluille lomakkeille. Lomaketiedot tallennetaan kaseteille tai reikänauhoille.

Korjausten jälkeen kenttä-, analyysi- ja polttotiedot yhdistetään näytteen tunnuksen perusteella.

Tiedot säilytetään karttalehtikohtaisissa näytetunnuksen mukaan järjestetyissä tiedostoissa magneettinauhoilla merkkimuotoisena ASCII-standardin mukaisesti.

Tietuekuvaus. Purosedimenttitiedoston yksi tietue on 250-merkinen ja sisältää yhden näytteen kaikki tiedot. Tietokentät ovat seuraavat:

Merkkipaikka	Sisältö
1. . .3	vesistön tunnusnumero
4. . .9	1:20 000-karttalehden numero
10. . .14	näytetunnus
15	näyteainees:
	O orgaaninen
	M mineraalinen
16. . .20	alajuoksun seuraavan näytteen tunnus
21. . .24	X-koordinaatti, yksikkönä 10 m
25. . .28	Y-koordinaatti, yksikkönä 10 m
29 ja 30	puron arvioitu leveys, m
31	veden virtausnopeus:
	∅ seisova vesi
	1 liike juuri havaittavissa
	2 selvä virtaus havaittavissa
32	ottopaikka:
	A järvi
	B ruopattu puro
	K koski
	L lähde
	N puro, joki
	O kaivettu oja
	P viemäri
	R ruopattu oja
	S saaren ranta
	T tie yläpuolella

	U	umpilampi
	V	viljelys
33. . .34	maaperä:	
	HK	hiekkä, sora
	LO	louhikko, kallio
	MR	moreeni
	SI	siltti, savi
	TU	turve
35	kosteus:	
	K	kuiva
	M	märkä
36	vaikuttava ympäristö:	
	H	suo, soistunut alue
	K	koski
	N	normaali
	P	viemäri, navetta, romua, teollisuuslaitos, ym.
	R	ruopattu, kaivettu
	T	tie
	V	viljelys tai lannoitettu alue
37	analyysikoodi:	
	A ja B	HNO ₃ -uutos
	C, E ja G	HCl-uutos
	D	HNO ₃ + HCl-uutos
38. . .41	varakenttä	
42 ja 43	lajite:	
	K	mineraalinen lajite -2,0 mm
	H	mineraalinen lajite -0,17 mm
	O	orgaaninen
	M	mineraalinen
44 ja 45	näytteenottovuosi, kaksi viimeistä numeroa	
46. . .210	alkuaineen kemiallinen merkki ja sen pitoisuus (-1, ei analyysiiä)	
211. . .216	tietojen yhdistämispäivä	
217. . .220	pH	
221	maatumisaste:	
	R	raaka
	M	maatunut
	H	hyvin maatonut
222. . .227	näytteen kuivapaino, g	
228. . .233	näytteen tuhkapaino, g	
234. . .239	hehkutushäviö, %	
240	erikoiskäsittely	

Tiedon esittäminen kartalla. Alkuainepitoisuudet luokitellaan 1:100 000-karttalehti-alueen näytteiden pitoisuuksien perusteella luokkiin, joita vastaavat symbolit piirretään kartalle havaintopisteisiin. Purosedimenttinäytteenoton yhteydessä kerätään näytteet myös järvien ja lampien rannoilta. Vanhemmissa kartoissa kaikki näytteet on esitetty yhdessä ja luokittelu suoritettu koko aineistolle. Koska on havaittu, että järvisedimenttien hivenmetallipitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia, on vuodesta 1979 lähtien purosedimenttikartoilla esitetty vain purosedimenttitulokset.

Käsityönä piirrettyissä kartoissa Pohjois-Suomen alueelta on käytetty viittä symboliluokkaa, jotka on saatu Keski-Lapin liuskealueelta tehdyn otoksen jakauman 80, 90, 95 ja 97,5 %:n prosenttipisteiden mukaan.

Piirturilla piirrettyissä kartoissa on käytetty kuutta symboliluokkaa, joiden rajat määräytyvät kyseisen 1:100 000-lehden alueelta laskettujen 20, 80, 90, 95 ja 97,5 %:n prosenttipisteiden mukaan. Kartoilla on myös piirrettyjen pitoisuusarvojen tilastollinen jakauma.

Kartat piirretään mittakaavaan 1:20 000, pienennetään ja kootaan 1:100 000-mittakaavaisiksi sekä kuvataan mikrokorteille kuten moreenikartat.

JÄRVISEDIMENTTINÄYTTEET

Näytteenotto

Järvisedimenttinäyte on järvioltaan pohjalle laskeutunutta pääasiassa eloperäistä ainesta.

Pistetiheys järvisedimenttinäytteenotossa määritellään kussakin näytteenottosuunnitelmassa erikseen. Ohjeellinen pistetiheys on 0,2 näytettä/km².

Näytteen koko on noin 500 cm³. Näytteenotossa käytetään sedimenttilukolla varustettua sylinteriputkea, joka narun varassa lasketaan altaan pohjaan. Näytteenottimella saadaan näyte n. 10 cm:n paksuudelta pohjasedimentin ylimmästä osasta. Joka 30. näyte otetaan kahden kertaan näytevirheen suuruuden määrittämiseksi.

Havaintolomakkeille merkitään seuraavat tiedot:

- näytetunnus
- näytteenottopisteen koordinaatit yksikkönä 10 m
- näyteaines
- saman näytteenottopisteen eri näytteiden vertikaalinen järjestys
- vesistötyyppi
- näytteenottoaikan sijainti vesistössä
- sedimentaatioaltaan koko
- veden väri ja syvyys näytteenottoaikalla
- näytteen laatuun vaikuttava ympäristö

Analyttiset menetelmät

Järvisedimenttinäytteet (n. 500 cm³) kuivataan (70°–80°C) ja hehkutetaan kuten orgaaniset puosedimenttinäytteet (12 h 500°C:ssa). Punnitushavainnoista saadaan lasketuksi hehku-tushäviö.

Uuttamisessa 6M suolahapolla ja AAS:lla analysoitaessa noudatetaan menettelyä, jonka vaiheet on esitetty edellä orgaanisten puosedimenttinäytteiden analysoinnin yhteydessä (s. 11).

Uraanimääritykset on suoritettu Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen reaktorilaboratoriossa viivästyneiden neutronien menetelmällä.

Ennen vuotta 1978 julkaistuissa kartoissa alkuainepitoisuudet on ilmoitettu ppm-yksiköinä tuhassa ja sen jälkeen kuiva-aineessa.

Tietojen käsittely ja esittäminen

Tiedon keruu ja taltiointi. Järvisedimenttinäytteiden tietoja kerätään kolmessa vaiheessa: näytteenotto-, esikäsittely- ja analyysivaiheessa.

Eri vaiheissa saatu lomaketieto tallennetaan reikänauhalle tai kasetille, tarkistetaan, korjataan ja yhdistetään siten, että kutakin näytettä koskevat kaikki tiedot kootaan yhteen tietueeseen. Tietueet lajitellaan 1:20 000-karttalehdittäin ja taltioidaan magneettinauhalle.

Tieto on nauhoilla merkkimuotoisena ASCII-standardin mukaisesti. Tietuepituus 255 merkkiä ja jakson pituus 2040 merkkiä.

Tietuekuvaus. Kunkin näytteen kaikki tiedot ovat yhdessä tietueessa ja tietokentät ovat kiinteästi sijoitetut seuraavasti:

Merkkipaikka	Sisältö
1. . . 3	vesistötunnus hydrologisen kartan mukaan
4. . . 9	peruskarttalehden numero
10 ja 11	näytteenottovuoden kaksi viimeistä numeroa
12. . . 15	pistenumero
16	aines:
	M muta
	L lieju

17	kerrosjärjestys, näytteet on numeroitu syvyysuuntaan kasvavalla pistekohtaisella juoksevalla numerolla 1, 2, 3, . . .
18. . .21	X-koordinaatti, yksikkönä 10 m
22. . .25	Y-koordinaatti, yksikkönä 10 m
26	näytteenottoaika: A järvi L lähde U umpilampi
27	kohteen sijainti ympäristössä: E keskellä järveä F erillinen lahti G järveen laskevan joen edusta
28	sedimentaatioaltaan koko (leveys): 1 0–200 m 2 200–1000 m 3 > 1000 m
29	veden väri: 1 kirkas 2 ruskea, harmaa 3 tumma
30 ja 31 32	veden syvyys ottopaikassa, m vaikuttava ympäristö: H suo, soistunut alue K koski N normaali (ei em. ympäristökijöitä) P viemäri, navetta, romua, teollisuuslaitos yms. R ruopattu tai kaivettu T tie V viljely tai muu lannoitettu alue
33. . .38	sedimentin pH
39. . .44	upokkaan paino, g
45. . .50	näytteen kuivapaino + upokkaan paino, g
51. . .56	poltetun näytteen kuivapaino + upokkaan paino, g
57. . .62	polttohäviö, %
63. . .73	varakenttä
74. . .181	alkuaineiden Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, U, Mo, Y, V ja Fe pitoisuudet

Tiedon esittäminen kartalla. Alkuainepitoisuuksista piirretään symbolikarttoja. Tilauksesta myös muista tiedoista kuten polttohäviöistä, syvyyksistä ja alkuainesuhteista voidaan piirtää symbolikarttoja.

Alkuaineiden pitoisuuskynnysarvot ovat järvisedimenttikartoilla samat koko maassa. Kartat piirretään 1:100 000-mittakaavaan ja 1:400 000-mittakaavaiset kartat valmistetaan valokuvaamalla.

Lisäksi piirretään 1:50 000-mittakaavaisia indeksikarttoja, joista ilmenee kunkin havaintopisteen sijainti ja pistetunnus.

Alkuainekartat kuvataan 35 mm:n mikrofilmille, joka taskutetaan A6L-kokoisille mikrokorteille.

KALLIONÄYTTEET

Näytteenotto

Pistetiheys riippuu kalliopaljastumien (rakka- ja lohkarekenttien) tiheydestä tutkittavalla alueella. Enimmäismäärä on peruskarttalehden alueella 10–20 kpl ja siten 0,1–0,2 näytettä/km². Näyte kootaan iskuporakoneella (esim. Skil Rotohammer 628) otetuista 3–5 osanäytteestä siten, että saadaan mahdollisimman edustava näyte.¹⁾ Kukin osanäyte on kooltaan n. 4 cm³. Jokaista näytettä kohti otetaan vasaralla myös palanäyte (0,5 kg), joka edustaa kivilajia, mistä osanäytteet on porattu.

¹⁾ terän kovametalli saattaa antaa volframi- ja kobolttikontaminaatiota.

Havaintolomakkeelle merkittävät tiedot:

- näytetunnus
- näytteenottopisteen koordinaatit, yksikkönä 10 m
- näytteenottopisteen laatu
- näytteenottopisteen koko
- geologinen pääalue
- muodostuma
- kivilajia koskevat tiedot GEOKU-lyhentein (Vuorimiesyhdistys, 1973)
- malmiutumista koskevat tiedot

Analyttiset menetelmät

Esikäsittely. Kuivatut ja homogenisoidut osanäytteet (4 cm³) yhdistetään. Yhdistelmä-näyte (12–20 cm³) homogenisoidaan, jonka jälkeen osa (4 cm³) jauhetaan Schwing-myllyssä (Labor-Scheibenschwingmühle, Siebtechnik GmbH, Mülheim-Ruhr). Jauhatusessa käytetään matalaseosteista teräspannua ja jauhatusaika on yksi minuutti.

Analysointi. Jauhe analysoidaan suoraan tulostavalla emissiokvantometrillä (EKV) maaperänäytteiden tavoin (s. 7). Tarkistusten yhteydessä samoista näytteistä voidaan määrittää typpihiappouutoksella tärkeimmät raskasmetallit AAS-tekniikalla (s. 12).

Tietojen käsittely ja esittäminen

Tietojen keruu ja taltiointi tapahtuu pääosin samoilla tavoin kuin on kuvattu maaperänäytteiden yhteydessä (s. 7).

Tietuekuvaus. Kallionäytetiedoston yksi tietue sisältää yhden näytteen kaikki tiedot 186 merkillä. Tietokentät ovat seuraavat:

Merkkipaikka	Sisältö
1 ja 2	näytteenottovuoden kaksi viimeistä numeroa
3. . .7	näytteenottopisteen numero
8. . .13	karttalehden numero
14. . .17	X-koordinaatti, yksikkönä 10 m
18. . .21	Y-koordinaatti, yksikkönä 10 m
22	näytteenottopisteen laatu: H helposti havainnoitava paljastuma K kohtalaisen helposti havainnoitava paljastuma V vaikeasti havainnoitava paljastuma E epävarma paljastuma L lohkarieikko, rakka S kairareikä R porareikä
23	näytteenottopisteen koko (osanäytteiden kattama pinta-ala): 1 < 5 m ² 2 5–100 m ² 3 > 100 m ²
24. . .43	aikaisemmin tehdyn paljastumahavainnon tunnus (organisaatio-havainto-havainnoija-vuosi)
44. . .48	geologinen pääalue (esim. liuskealue)
49. . .53	kivilajista tutkittavalla alueella käytetty muodostumanimike
54	muodostuman numero (esim. KVT 1)
55. . .59	kivilaji (GEOKU-lyhenne)
60. . .71	kivilajin lisämääre (4 kenttää x 3 paikkaa, GEOKU-lyhenne)
72	raekoko: Ø: rakeita ei näy; 1: 0,05–1 mm; 2: 1–3 mm; 3: 3–10 mm; 4: 10–20 mm; 5: > 20 mm; 6: vaihteleva
73. . .88	rakenne (4 kenttää, joissa kussakin 4 paikkaa, erillinen koodiluettelo osaston kenttätöohjeessa, 1978)

89. . .93	hajarakeet 1: mineraali (3 paikkaa, GEOKU) koko (1 paikka; koodit 1. . .5. vrt. paikka 72) määrä (1 paikka: 1, vähän; 2, kohtalaisesti; 3, runsaasti)
94. . .98	hajarakeet 2 (vrt. paikat 89. . .93)
99. . .101	malmiutumisen merkit: RUO ruosteinen kalliopinta RTP ruostetäplä KSH kiisuhometta MAV malmimineraaleja vähän MAK malmimineraaleja kohtalaisesti MAR malmimineraaleja runsaasti
102. . .104	malmimineraali 1 (GEOKU-lyhenne)
105. . .107	malmimineraali 2 (GEOKU-lyhenne)
108. . .179	havainnot, joita ei esitetä koodein
180	tyhjä
181. . .186	analysoinnin päivämäärä

HUMUSNÄYTTEET

Näytteenotto

Humuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä orgaanista, maatonutusta ainesta, joka esiintyy mineraalimaan pinnassa aluskasvillisuuden alla. Humustutkimusten yhteydessä otettavat turvenäytteet käsitellään samoin kuin humusnäytteet, mutta tulokset esitetään erikseen.

Pistetiheys. Kohteellisessa tutkimuksessa voi näytteenottolinjojen väli olla 10–100 metriä ja pisteväli vastaavasti 5–50 metriä. Alueellisessa tutkimuksessa voidaan noudattaa esim. moreeninäytteiden pistetiheyttä eli linjaväli 500–2000 metriä ja pisteväli 100–400 metriä.

Näyte otetaan mineraalimaan pinnalla olevan orgaanisen aineksen maatumesta pohjaosasta siten, että vältetään mineraalista ainesta ja poistetaan karkeat maatumattomat kasvinsat.

Näytteen koko on noin 400 cm³.

Havaintolomakkeille merkitään seuraavat tiedot:

- näytetunnus
- näytteenottopisteen koordinaatit, yksikkönä 10 m
- näyteaines
- kasvillisuus
- kosteus
- kasvualusta

Analyttiset menetelmät

Humusnäytteiden kuivaus, hehkutus, uuttaminen ja alkuainemääritykset AAS:lla suoritetaan edellä orgaanisille puosedimenteille kuvattujen (s. 11) menetelmien mukaisesti. Kromin, mangaanin, raudan, koboltin, nikkelin, kuparin, sinkin ja lyijyn pitoisuudet ilmoitetaan alkuperäisen näytteen kuiva-aineessa.

Tietojen käsittely ja esittäminen

Tietojen keruu ja taltiointi. Kenttä-, poltto- ja analyysitiedot merkitään lomakkeille, joista tieto tallennetaan kasetille tai reikänauhalle ja tiedot yhdistetään näytteen tunnuksen perusteella.

Tiedot säilytetään näytetunnuksen mukaan lajiteltuina magneettinauhoilla merkkimuotoisena ASCII-standardin mukaisesti.

Tietuekuvaus. Humustiedoston tietue on 143-merkkinen. Yksi tietue sisältää yhden näytteen kaikki tiedot. Tietokentät ovat seuraavat:

Merkkipaikka	Sisältö
1. . .6	1:20 000-karttalehden numero
7 ja 8	näytteenottovuosi, kaksi viimeistä numeroa
9. . .13	näytteen tunnus
14. . .17	X-koordinaatti, yksikkö 10 m
18. . .21	Y-koordinaatti, yksikkö 10 m
22 ja 23	aines: HU humus TU turve
24. . .26	kasvillisuus: KAT katajikko KOR korpi KUU kuusimetsä LEH lehtimetsä MAN mäntymetsä NEV neva RAM räme RUO ruohikko SEK sekametsä TUN tunturiylänkö, tundra
27 ja 28	kasvualusta: HK hiekka KA kallio LO lohkarieppo MR moreeni RP rapakallio SA savi SI siltti SR sora
29	kosteus: 1 kuiva 2 kostea 3 vetinen, märkä
30. . .35	astian paino, g
36. . .41	näytteen kuivapaino, g
42. . .47	näytteen tuhkapaino, g
48. . .52	hehikutushäviö, %
53. . .62	huomautuksia
63. . .143	alkuainepitoisuudet ppm:nä kolmella merkitsevällä numerolla. Järjestys: Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe ja U.

Tiedon esittäminen. Humustiedot esitetään rivikirjoitinlistauksena. Jokaisella sivulla on otsikkotiedot, joissa päiväyksen ja sivunumeron lisäksi on karttalehtinumero. Yksi listauksen rivi käsittää yhden näytteen tiedot. Tietokentät ovat seuraavat:

Merkkipaikka	Sisältö
1 ja 2	näytteenottovuosi
3. . .7	näytetunnus
10. . .13	X-koordinaatti, yksikkö 10 m
15. . .18	Y-koordinaatti, yksikkö 10 m
21 ja 22	aines
25. . .27	kasvillisuus
29 ja 30	kasvualusta
32	kosteus
34. . .38	hehikutushäviö, %
41. . .132	alkuainepitoisuus ppm:nä kuiva-ainessa

TIEDON SAANTI

Geokemiallisia karttoja ja niihin liittyvää aineistoa voidaan tilata osoitteella: Geologinen tutkimuslaitos, Kivimiehentie 1, 02150 Espoo 15.

Tietoja saadaan seuraavanmuotoisina:

- 1:20 000- tai 1:100 000-mittakaavaisina symbolikarttoina joko paperi- tai kuultokopioina, sekä mikrokortteina (liite).
- näytetiedot A6L-kokoisilla mikrokorteilla (liite).
- lähtötiedosto kokonaisuudessaan 1 200 jalan magneettinauhalla.

Tiedon julkistamisesta ilmoitetaan noin 80 laitokseen ja yhtiöön kirjeitse. Ilmoituksen mukana seuraa taulukko julkistetusta aineistosta sekä tilauslomake.

Tietoja voidaan muokata asiakkaan toivomusten mukaisesti.

Summary

REPORT ON GEOCHEMICAL MAPPING METHODS

Regional geochemical mapping started in 1971. In 1973 the Department of Geochemistry was established at the Geological Survey of Finland to continue the work more systematically. The annual coverage of the mapping was intended to be about 7 000 km². Field operations started in and are still concentrated on two areas of higher ore potential, i.e. the Ladoga-Bothnian Bay belt and the schist zone of Central Lapland. The results of the mapping are expected to contribute to mineral exploration, and to agriculture, forestry, environmental and public health organizations. By the current year, 1979, a total of 320 000 till samples, 125 000 stream sediment samples, 7 500 lake sediment samples, 14 000 bedrock samples and around 30 000 other samples have been studied; most of the results have been published as geochemical maps. The regional maps are indexed and scaled according to the general map sheet division of Finland. Geochemical mapping takes places in four phases: reconnaissance, regional, control and follow-up phases. This report aims to give the necessary methodical information required for interpreting the results.

Till samples, glacial sediments and weathered rock samples are studied at a density of 6–12 samples/km². The sampling traverse interval varies from 500 to 2 000 m and the sampling site spacing from 100 to 400 m. Samples are taken from an average depth of 2 m. The sampling error is monitored by replicate sampling, and the vertical variation of the element concentrations in the till cover is estimated by profile sampling. The grid dimensions and the traverse direction with regard to the direction and distance of glacial transport and the strikes or trends of the bedrock formations are optimized mainly as described by Savinskii (1965). Orientation studies enable the grid, depth and equipment of the sampling to be defined in detail. Regional sampling is typically carried out by a portable petrol engine-powered percussion drill (e.g. Partner M 100, Wacker BHF 25 or Cobra BBM 47) equipped with 25 or 35 mm rods. The sampler bits are of through-flow type (Fig. 1). Heavier pieces of equipment, i.e. excavators and tractor mounted augers, are employed during the orientation or follow-up studies. Compressed air-driven drills are sometimes used for penetrating thick layers of overburden.

The minus 0.06 mm fraction of the till samples or the pulverized weathered rock samples are analysed by direct reading optical emission spectrometry with a tape machine (ARL Model 31 000 with Danielsson-type tape machine, Danielsson *et al.* (1959). A set of 15–17 elements are determined semiquantitatively (Table 1). Without further preparation or additives the material is excited by an interrupted arc in an argon atmosphere with a constant exposure time of 10 secs. The spectrum line intensities of each fixed channel are read out on a punched tape, background corrected and transformed into elemental concentrations, and stored by ADP. The precision of the method is 20–50 % at the 95 % confidence level.

The extensive use of ADP methods enables all field and analytical data to be represented in their appropriate forms. The data base is arranged in accordance with the general map sheet division. The element concentrations are classified into six intervals by using the

cumulative distribution of the abundance of each element in the map sheet area and displaying them on the automatically drawn geochemical maps as symbols. The principle of classifying with corresponding percentiles is shown in Fig. 2. Complete data and maps are available as lists, microfiches (examples in the pocket of the back cover) or copies of maps at scales of 1:20 000 (as originally drawn) or 1:100 000 (Fig. 3).

Stream sediments are studied at an average density of 1–2.5 samples/km², the sampling interval varying from 50 to 300 m. Both organic-rich and non-organic material are collected, and element symbol maps are compiled separately for both types of samples. The analytical procedure consists of leaching the residue of the dry-ashed organic sample in a hot 6-M hydrochloric acid solution. The wet-sieved minus 0.17 mm fraction of the non-organic material is leached in a hot 7-M nitric acid solution. Finally Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Pb are determined by atomic absorption spectrophotometry (Perkin-Elmer 300 series). The data are displayed and the maps compiled in much the same way as outlined above for till samples.

Lake sediments (mostly organic-rich material) are collected at a density of about 0.2 samples/km². Most of the field work is done during the winter season with the aid of a tube sampler. Hot 6-M HCl leach is applied and the same elements as above are determined by AAS. Symbol maps for each element are available at scales of 1:100 000 and 1:400 000.

Systematic procedures for geochemical bedrock mapping are still being developed. The samples are taken by a lightweight petrol-powered rotary percussion drill. A representative composite sample consists of 3–5 subsamples and is analysed by a direct reader. Some rock samples are obtained in the course of routine till sampling also.

Humus, peat, vegetation and water samples are taken in more limited numbers during detailed follow-up studies. A total of 15 000–20 000 samples, mostly stream and lake sediments, are analysed annually for uranium. These determinations are made by delayed neutron counting by a contracting laboratory at the Technical Research Centre of Finland (Rosenberg *et al.*, 1977).

KIRJALLISUUTTA – REFERENCES

- Danielsson, A. & Sundkvist, G., 1959. The tape machine I–III. *Spectrochim. Acta* 15, 122–137.
- Rosenberg, R.J., Pitkänen, V. & Sorsa, A., 1977. An automated uranium analyzer based on delayed neutron counting. *J. Radioanal. Chem.* 37, 169–179.
- Savinskii, I.D., 1965. Probability tables for locating elliptical underground masses with rectangular grid. Consultants Bureau, New York. 110 s.
- Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen r.y., 1973. ATK-menetelmien käyttö kallioperäkartoituksessa. Tutkimusseloste n:o 39. 36 s.