

OULUN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Kaivannaisalan yksikkö

Suomen geokemiallinen kartoitus

Pauli Kangas
Kandidaatin tutkielma
05.03.2019

Sisällysluettelo

Johdanto.....	3
1. Syitä geokemialliseen kartoitukseen.....	4
2. Moreeni.....	5
2.1 Yleistä moreenien geokemiallisesta kartoituksesta.....	
2.2 Menetelmät.....	
2.3 Moreenin geokemiallinen kartoitus.....	7
3. Pohjavedet.....	9
3.1 Yleistä pohjavesien geokemiallisesta kartoituksesta.....	
3.2 Pohjavesien geokemiallisen kartoituksen näytteenotto ja tutkimusmenetelmiä.....	
3.3 Suomen pohjavesien geokemiallinen kartoitus.....	10
4. Purovedet ja purosedimentit.....	11
4.1 Yleistä purovesien ja -sedimenttien geokemiallisesta kartoituksesta.....	
4.2 Purovesien ja -sedimenttien näytteenotto ja tutkimusmenetelmiä.....	12
5. Muita kartoituksen kohteita.....	13
5.1.1 Peltomaiden geokemiallinen kartoitus 1996-1997.....	
5.1.2 Näytteenotto ja tutkimus.....	15
5.2.1 Järvisedimenttien geokemiallinen tutkimus.....	
5.2.2 Näytteenotto ja tutkimus.....	16
6. Tulosten tarkastelu ja pohdinta.....	17
7. Lähdeluettelo.....	21

JOHDANTO

Suomen geokemiallinen kartoitus on aiheena laaja, joten tutkielma käsittelee lähinnä pintapuolisesti Suomessa tehtyä geokemiallista kartoitusta eri näyttemateriaaleista ja niihin liittyvistä näytteenottomenetelmistä sekä tulkituista tuloksista. Tutkielmassa käytetään esimerkkeinä suurimman osan Suomea kattavista kartoituksista tehneen Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) aineistoja ja laajempia julkaisuja.

Käsiteltäessä aihetta on ensimmäiseksi otettava huomioon yleisesti tunnetut Suomen viimeisimmät geologiset tapahtumat. Viimeisimmät merkittävät tapahtumat olivat nopeat kylmän ja lämpimän ilmaston vaihtelun aiheuttamat jääkaudet sekä niiden jälkeen jättämät maaperämuodostumat ja niissä virtaavat vedet. Jääkauden jäljet näkyvät mm. runsaana maapeitteenä, kuten moreeneina, järvisedimentteinä, biologisina sedimentteinä, hiekka- ja harjuaineiksena.

Vuonna 1947 Thure Georg Sahama määritteli Geokemia opuksessaan geokemiallisen tutkimuksen periaatteet, jotka nojasivat Victor Goldschmidin ajatuksiin geokemian peruskysymyksistä. Ehkä tärkein edellä mainituista periaatteista on atomien ja alkuaineiden määrien selvittäminen maapallolla. Alunperin kuitenkin pääasiassa malminetsintää varten aloitetut geokemialliset tutkimukset aloitettiin Suomessa 1950-luvulla GTK:n toimesta. Suomen geokemiallinen kartoitus ja sen tulokset on tyypillisesti esitetty erilaisina diagrammeina ja karttoina, jotka kuvastavat esitystavasta riippuen kunkin alkuaineen esiintymistä alueellisesti tai kohteellisesti (kts. Suomen geokemian atlas osat 1-3). Edellytykset geokemiallisten karttojen tuottamiseen luotiin kehittämällä menetelmiä, joilla voitiin kerätä ja analysoida suuria näyttemääriä sekä käsitellä ja esittää suuria aineistoja. (Koljonen 1992.)

1. SYITÄ GEOKEMIALLISEEN KARTOITUKSEEN

Tyypillisesti geokemiallista kartoitusta ovat vauhdittaneet taloudelliset hyödyt, kuten eri alueiden malmipotentialit ja mahdollisuudet eri alkuaineiden löytämiselle. Suomen kallioperä on suurimmaksi osaksi moreenin ja eri sedimenttien peitossa, on siis oltava keinoja joilla kallioperän kemiallista koostumusta voidaan kartoittaa ja näin ollen todeta siitä saatava hyöty. Jo 1940-luvulla L. K. Kauranne aloitti sedimenttien paikallisen tutkimisen malminetsinnässä. (Salminen 1995.)

Kartoitusta ei ole ainoastaan rajoitettu moreeniin, vaan sitä on tehty muunmuassa purovesille ja -sedimenteille, järvisedimenteille ja pohjavesille. Syyt kartoituksissa vaihtelevat muuhunkin kuin malminetsintään. Esimerkiksi pohjavesien geokemiallinen kartoitus ei niinkään johdu malminetsinnällisestä tavoitteesta, vaan enemmänkin veden laadun ja käytettävyyden näkökulmasta. (Lahermo et al. 1990) Tenholan ja Tarvaisen (2008) mukaan purovesien ja sedimenttien tutkimus ja kartoitus on hyvä keino tarkkailla ympäristön tilaa ja tutkia sen vaihteluja.

Joissakin tilanteissa kallioperästä ei ainoastaan hyödytä, vaan siitä voi seurata niin ikään negatiivisia vaikutuksia, kuten yleisesti mediassakin viimeisinä vuosikymmeninä huolta aiheuttanut radioaktiivinen radon ja sen aiheuttamat terveyshaitat. Vuosina 1982-1994 Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) suorittaman Alueellisen geokemiallisen kartoituksen tutkimustuloksia ja näytteitä on hyödynnetty myöhemmin muun muassa ympäristön- ja metsäntutkimuksessa. Tutkimustulosten suurin hyödyntäjä on välillä malminetsijä, välillä ympäristön tilan tutkimus riippuen taloudellisista suhdanteista. (Salminen 1995.)

Käsitteistä mainittakoon, että tutkielmassa käydään läpi geokemiallisen kartoituksen suurimittakaavaista kartoitusta sekä alueellista tarkempaa kartoitusta. Geokemiallisen kartoituksen kohteita ovat pohjavedet, jääkauden jättämät moreenikerrostumat, purovedet ja niiden sedimentit. Lisäksi esitellään marginaalisempia tutkimuksia kuten peltomaiden ja järvisedimenttien kartoitus.

2 MOREENI

2.1 Yleistä moreenin geokemiallisesta kartoituksesta

Tässä osiossa keskitytään moreenin geokemialliseen kartoitukseen. Mineraalista maainesta alettiin käyttää 1940-luvulla geokemiallisessa malminetsinnässä jolloin L. K. Kauranne aloitti malminetsinnälliset tutkimukset moreenin hienoainekseen Outokummun alueella ja myöhemmin moreenin hyväksikäyttö malminetsinnässä yleistyi 1950-luvulla (Salminen 1995). 1960-luvulla geokemiallinen malminetsintä muuttui huomattavasti tehokkaammaksi, kun malminetsinnällisesti tärkeät alkuaineet opittiin määrittämään tehokkammin ja käytännöllisemmin (Kvalheim 1967, Hawkes 1976). 1970-luvulla geokemiallista kartoitusta edesauttoi taas tietojenkäsittelyn kehittyminen, jonka ansioista pystyttiin pitämään kirjaa mm. yhä kasvavasta näytemäärästä ja analyysituloksista. GTK:n tuottamassa moreenin atlaskartoituksessa Suomessa osin lapiolla, osin kevyellä iskuporauskalustolla otettujen moreeninäytteiden pisteväli oli 1 näyte /300 km² joka käsittää yhteensä 1057 osanäytettä (Koljonen 1992). Tässä tapauksessa geokemiallinen kartta on hyvin suurpiirteinen. GTK suoritti vuosina 1982-1994 tarkemman alueellisen geokemiallisen kartoituksen Suomessa moreeneista, jota tarkastelemme lähemmin tutkielman tässä osiossa atlaskartoituksen ohella. (Salminen 1995).

2.2 Moreenien geokemiallisen kartoituksen näytteenotto- ja tutkimusmenetelmiä

Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994 oli ensimmäinen suhteellisen tiheällä pistevälillä koko maasta tehty geokemiallinen kartoitus. GTK suoritti näytteenoton pääasiassa vuosina 1982-1991. Yhtenäinen näytteenotto kattoi lähes koko Suomen, mutta osissa alueista voitiin hyödyntää vanhempaa aineistoa. Näytteet pyrittiin ottamaan riittävän tiheällä pistevälillä riittävän edustavuuden aikaansaamiseksi. Näytepisteverkoksi muodostoi 1 näyte per 4 km², joka jaettiin vielä 3-5 osanäytteeseen. Näyteverkko kattoi lähes koko Suomen, lukuunottamatta muutamia vaikeampia lajittuneita maaperäyksiöitä kuten laajoja glasifluvialisia alueita ja saarettomia järviä. (Salminen 1995.)



Kuva 1. Suomessa yleinen podsolimaannos Kittilän Juurivaarassa. (Koljonen 1992, GTK)

Näytteenotossa Suomi jaettiin 2x2 km ruutuihin, joista valittiin sopiva näytteenottopaikka maaperän, asutuksen ja tiestön perusteella. Näytteenotossa käytettiin tyypillisemmin iskuporausmenetelmää kuten Atlas Cobcon Cobraa tai muita vastaavia. Menetelmässä näytteet otettiin moreenista poraamalla 16-17 mm läpivirtausterällä. Kultakin näytepaikalta otettiin 3-5 osanäytettä, jotka otettiin 3-4 eri pisteestä noin 10-20 metrin säteeltä. Näytteiden keskimääräinen syvyys kaikista näytteistä on 1,5-2 m. Etelä- ja Väli-Suomessa pisteet sijoitettiin kohtisuorasti jäätikön kulkusuuntaan nähden ja Pohjois-Suomessa 20x20 m neliön keskeltä sekä kulmista. Näyte tuli pääsääntöisesti

ottaa pohjaveden pinnan alta. Kuvassa 1 nähdään tyypillinen kangasmaaston podsolimaannos, jossa muuttuneiden humuskerroksen (A_0), uuttumiskerroksen (A), rikastumiskerroksen (B) alla on muuttumaton moreeni (C) josta näytteet pääsääntöisesti otettiin pohjaveden pinnan alta. (Salminen 1995)

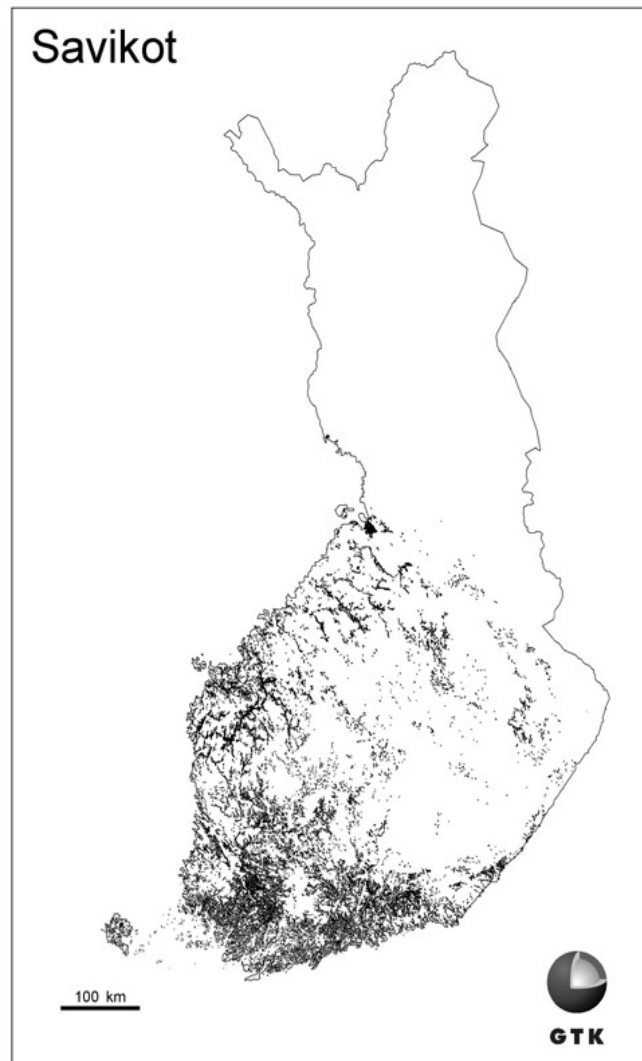
Analyysimenetelminä niin alueellisessa geologisessa kartoituksessa, kuin atlaskartoituksessa käytettiin pääasiallisesti induktiivisesti kytkettyä plasma-massaspektrometriä (ICP-MS) tai induktiivisesti kytkettyä plasma-atomiemissiomassaspektrometriä (ICP-AES). Analysoinnista ja esittämistavasta johtuen atlasnäytteet liuotettiin osittain ja kokonaan. Kokonais- ja osittaisliuotus tehtiin, jotta saataisiin tulokset sekä alkuaineiden kokonaispitoisuuksista (fluorivety-happo HN), että kuningasvesiliuotuksen osittaisliukoinen tulos. Tämä voitiin tutkimuksessa hyödyntää tutkimalla luonnossa esiintyvien happojen liuottavuutta eri alkuaineisiin. Tällä voitiin kuvata esimerkiksi rapautumisprosesseissa liukenevia alkuaineita, sekä eri mineraalien sisältämien alkuaineiden liukenemistä. Lisäksi käytettyjä analyysimenetelmiä ovat neutroniaktivointianalyysi (NAA), kullin ja palladiumin atomiabsorptioanalyysi (AAS) sekä rikkianalyysit käyttäen siihen tarkoitettua analysaattoria, esim Leco SC-32 rikkianalysaattori. Edellä mainituista voit lukea lisää Suomen geokemian atlas osa 2: moreeni sivulta 18. (Koljonen 1992.)

2.3 Moreenien geokemiallinen kartoitus

Moreenin geokemiallista kartoitusta on tehty useissa eri GTK:n tutkimuksissa aina 1940-luvusta lähtien. Syitä miksi moreeni on hyvä geokemiallisen kartoituksen kohde perustuu sen hienoaineksen lyhyeen kuljetusmatkaan, sen hyvään mineralogiseen ja kemialliseen edustavuuteen sekä vähäiseen kemialliseen muuttumiseen. Moreeni on ikään kuin geokemiallinen kuvaus sen alla makaavasta kallioperästä. Moreenin jäätikön mukana kulkema matka on tyypillisesti lyhyt, ollen muutamista sadoista metreistä korkeintaan muutamaan kilometriin. Jäätikön kuljetusuuntien ollessa tiedossa, voidaan käytännössä moreenin perusteella karkeasti tulkita sen alla ja lähistöllä olevaa kallioperää. (Koljonen 1992.)

Kuten aikaisemmin tuli esille, moreenin geokemiallista kartoitusta on tehty, yksinkertaisella lapionäytteenotolla sekä iskuporalla läpivirtausterän avulla hieman

syvemmillä. Lisäksi mainittakoon moreenin MM- eli monimetallimenetelmä sekä moreenin raskasmineraali eli RM-menetelmä (ks. Koljonen 1992). Varsinaiseen tutkimukseen vaikuttavat epäkohdat ovat tyypillisesti näytteenottoon liittyviä ongelmia. Moreenipatjan kattaessa lähes koko Suomen, näytteiden otto on tyypillisesti kohtuullisen vaivatonta. Mutta esimerkiksi suurilla soilla, järvillä tai harjuilla, moreeniin ei välttämättä päästä käsiksi helposti. Iskuporauslaitteistollakaan ei yllä luotettavasti useampaan kymmeneen metriin, muun sedimentin ollessa näin paksu. Atlaskartoituksessa pisteverkko on sen verran harva, (1 näyte/ 300 km²) että ongelmia ei ilmeisesti ole ollut (Koljonen 1992). Alueellisessa geokemiallisessa kartoituksessa esimerkiksi Etelä-Suomen savikkoalueet tuottivat ongelmia, jolloin näytteet otettiin esiin nousseista moreeniharjanteista, joissa pohjaveden pintaa ei välttämättä tavoitettu. Kuvassa 2 nähdään Suomen savikoita pinta-alasta merkittynä mustalla. (Salminen 1995.)



Kuva 2. Savikot Suomen pinta-alasta. (Geologian tutkimuskeskus)

3. POHJAVEDET

3.1 Yleistä pohjavesien geokemiallisesta kartoituksesta

Suomessa on suhteellisen runsaat pohjavesivarat johtuen useista harjuista, eli edellisten jääkausien kasaamasta moreeni-, hiekka- ja kiviaineksesta, jossa pohjavedet voivat virrata. On sanomattakin selvää, että näitä pohjavesiä on käytetty niin kauan kuin niistä on tiedetty tai lähde on jossain noussut pintaan juotavaksi. Nykyään on korostunut tapa ajatella, mitä vesi sitten sisältää ja onko siinä ulkoisesta puhtaudesta huolimatta esimerkiksi terveyshaittoja. Katso yksityiskohtaisempi kuvaus kappaleesta 3.3.

GTK suoritti vuosina 1978-1982 hydrogeokemiallista tutkimusta ja kartoitusta Suomessa. Pohjavesiä tutkittiin mahdollisista paikoista kuten lähteistä ja kaivoista. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia pohjaveden eri arvoja kuten pH, EC (sähkönjohtavuus) ja eH, sekä pohjaveden yleistä käyttökelpoisuutta. Näytteitä otettiin yhteensä 5900 kappaletta. Suomalaisista tutkimusaikana n. 20-25% turvautui omiin vesivaroihin eritoten harvaan asutuilla alueilla. Tutkimuksia tehtiin jonkin verran myös sekä aikasemmin, että myöhemmin. Tässä tutkielman osioissa keskitytään kuitenkin kyseiseen vuosina 1978-1982 tehtyihin GTK:n tutkimuksiin. (Lahermo et al. 1990.)

3.2 Pohjavesien geokemiallisen kartoituksen näytteenotto- ja tutkimusmenetelmiä

Pohjavesimittausten alkuperäisenä näytteenottovälinä ajateltiin käytettävän kahta näytettä 10x 10 km alueelta eli yhdeltä 1:20 000 kartalehdeltä. Tämä ei tuottanut hankaluuksia eteläisemmässä Suomessa, missä asutusta on enemmän ja paremmat yhteydet. Pohjoiseen-Suomeen mentäessä näyteverkko ei ole niin tarkka, sillä kaikille karttalehdille (1:20 000) ei ole ollut aikarajoissa pääsyä, tai mahdollisuutta teitten varsilta saada pohjavettä kaivojen tai lähteiden puutteessa. Ongelma tuli esille varsinkin Lapissa josta näytteitä ei juurikaan saatu. (Lahermo et al. 1990.)

Lähteistä ja katetuista lähteistä vedet otettiin pulloihin, syvistä kaivoista Ruttner-astioilla tai ämpäreillä ja kallioperän porakaivoista pumppaamalla. Raportointi tapahtui maastossa ja toimistossa vesinäytekorttiin, johon koottiin tärkeimmät tiedot täyttäjistä, paikasta, kenttämääritykset ja myöhemmin laboratoriomääritykset veden eri mitattavista

arvoista. Raportoinnissa otettiin myös huomioon ihmisen toiminta, maaperän koostumus ja paksuus sekä kallioperän koostumus. Vedestä katsottiin kentällä väri ja sameus asteikolla 0-4, lämpötila, CO₂ liukoisuus, O₂ pitoisuus, pH ja Eh. Laboratoriossa tutkitaan koskemattomasta näytteestä mm. veden kovuus, SiO₂, Cl ja F konsentraatiot sekä emäksisyys. Myös nämä lisätään vesinäytekorttiin.

Lopuksi tulokset koottiin tietokannaksi josta tuloksia pystyttiin tulkitsemaan erilaisilla graafisilla esityksillä kuten pistekarttoina, jotka kattavat koko Suomen alueen. GTK koosti ja tuotti tuloksista tietokannan jonka esitettävään muotoon kehitti N. Gustavsson (kts. Björklund & Gustavsson 1987). Havainnoista koostuvat karttalehdet ovat suhteellisen selkeästi piirretty ja niistä saa hyvän kuvan eri alkuaineiden esiintymisestä pohjavesissä (Lahermo et al. 1990).

3.3 Suomen pohjavesien geokemiallinen kartoitus

Suomen prekambriininen kallioperä koostuu lähinnä arkeisista ja proterotsooisista kivistä. Kallioperää peittää tyypillisesti noin metristä kymmeneen metriin erilaisia glasiogeenisiä ja postglasiaalisia maalajeja, kuten moreenia, mariinisia ja lakustrisia pohjasedimenttejä (savet ja siltit) sekä glasifluviaalisia ja litoraalisia hiekkoja sekä soria. Laajimmat tyypillisimmät pohjaveden kyllästämät ja hyvin vettäjohtavat maalajit eli akviferit sijaitsevat glasifluviaalisissa harjuissa ja reunamuodostumissa (kuten Salpausselät). Pohjavesiesiintymät ja näytteenottoaikat luokitellaan (Lahermo et al. 1990) mukaan seuraavasti:

1. Suuret glasifluviaaliset muodostumat, joista saadaan suurin osa pohjavedestä,
2. pienet glasifluviaaliset suojapuolen muodostumat tai rantakerrostumat,
3. savenpeittämät kerrostumat,
4. moreenikerrostumat jotka ovat tyypillisiä kotitalouksien kaivon paikkoja sekä
5. rakenteeltaan rikkonainen kallioperä, jossa on vain vähän maapeitettä tai ei ollenkaan.

Tutkimukseen vaikuttavia tekijöitä on myös tärkeä tarkastella, kuten vedenlaatuun vaikuttavia ympäristötekijöitä. Käsittelemässämme aineistossa ympäristötekijät ovat luokiteltu seuraavasti:

1. Ilmastolliset eli atmosfääriset tekijät eli ilmatietä mataliin pohjavesiin pääsevät SO₄, NO₃, Cl ja Na, jotka kesällä kokonaishaihtumisesta johtuen väkevöityvät suoloiksi ja

valuvat sateiden mukana pohjavesiin.

2. Geologiset tekijät eli maannoksessa tapahtuvat prosessit, maaperäkerrostumien rakenne, vedenjohtavuus, raekoko sekä maa- ja kallioperän mineraali- ja kivilajikoostumus. Esimerkiksi rapautumisprosessissa pohjaveteen liuenneet alkuaineet tai yhdisteet kuten Ca, SiO₂ ja U. (esim. Lahermo 1970)

3. Merelliset eli mariiniset tekijät, jotka vaikuttavat rannikkoalueilla niin kallioperän kuin pohjasedimenttienkin pohjavedessä. Eniten vaikuttavia tekijöitä luovat reliktiset meriveden suolat (Litorinameri), Cl ja SO₄ joita liukenee eri teitä pohjaveteen. Merivesi harvoin kuitenkin tunkeutuu akvifereihin, tällöin liukeneminen on peräisin vanhemmista saostumista. (Eronen et al. 1979.)

4. Ihmisen vaikutus, eli antropogeeniset ja teknogeeniset tekijät näkyvät lähes kaikkialla matalapohjaveden laadussa. Ilmateitse kulkevat rikki- ja typpilaskeumat aiheuttavat paikallista likaantumista ja luonnontilaisilla alueillakin kontaminaatiota. Teknogeenisistä aineista mainittakoon mm. Fe, Zn, Cu ja Ni sekä antropogeenisistä NO₃, Cl, K ja Na. (Soveri 1985).

4. PUROVEDET JA PUROSEDIMENTIT

4.1 Yleistä purovesien ja -sedimenttien geokemiallisesta kartoituksesta

Vesistöt virtaavat läpi glasigeenisten kerrostumien ollen kosketuksissa kaikenlaisiin sedimentteihin ja kovaan kallioon. Tiedetään yleisesti, että useimmat alkuaineet liukenevat sadeveteen ja näin ollen ovat havaittavissa joko purovedessä, puroveden kerrostamissa sedimenteissä tai saostuneina puroveden kuljettamiin orgaanisiin ja myös epäorgaanisiin sedimentteihin. Kuljettuaan aina sadepisarasta läpi eri maalajien voidaan näistä latvavesistä, eli puroista saada kattava kuvaus kohdealueen geokemiallisesta koostumuksesta.

Vuonna 1982 GTK ryhtyi ottamaan mm. moreeninäytteiden lisäksi purovesi-, purosammal- ja purosedimenttinäytteitä, jotta kattavampi geokemiallinen kartoitus saataisiin aikaiseksi (Salminen 1994). Erinäisistä syistä laajempi purovesien ja orgaanisten sedimenttien näytteenotto jäi vähemmälle tai vain osittaiseksi, kunnes varsinaiset purovesi ja purosedimenttinäytteet otettiin kuitenkin kattavammin vasta 1990, 1995, 2000 ja 2006. Näytteistä ja niiden analytiikasta on julkaistu useampia teoksia ja raportteja, mainittakoon ensimmäisenä vuonna 1990 otetuista näytteistä

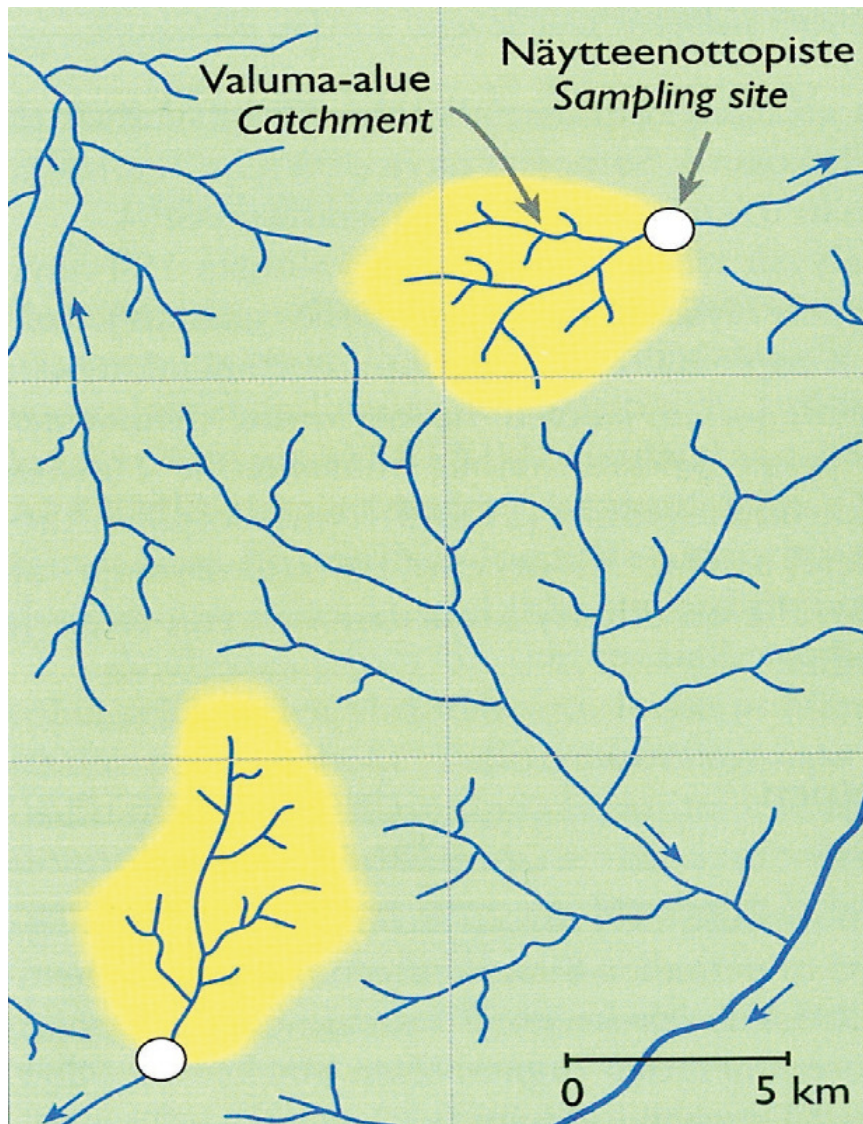
julkaistuun Suomen Geokemian atlas osa 3 ja tuoreimpana Tenholan ja Tarvaisen 2008 koostama GTK:n Tutkimusraportti 172. (Tenhola & Tarvainen 2008.)

4.2 Purovesien ja -sedimenttien näytteenotto ja tutkimusmenetelmiä

Ensimmäissä laajemmassa näytteenottoerässä vuonna 1990, näytteitä otettiin yhteensä 1160:ltä eri valuma-alueelta. Kuvassa 1 on havainnollistettu näytteenottopiste ja valuma-alue. Näytteenottoalueet on valittu mahdollisimman tarkasti mittakaavoiltaan 1:20 000 ja 1:50 000 topografiakartoilta (Lahermo 1996). Näytteenotto toistettiin vuosina 1995, 2000 ja 2006, mutta ainoastaan joka neljänneltä pisteeltä. Näytteenottoajankohta on jokaisena näytteenottovuotena ollut loppukesästä alkusyksyyn kuukauden marginaalilla vaihdellen. Näytteenottoajankohtien vaihtelujen johdosta virtaamat ja vedenkorkeudet ovat luonnollisesti poikenneet toisistaan. Purojen leveys näytteenottopaikoilla on vaihdellut kahdesta viiteen metriin, mutta jokainen näyte on otettu ns. ulosvirtauspisteestä, jossa purolle on kertynyt oma valuma-alueensa (katso Kuva 3). (Tenhola ja Tarvainen 2008)

Itse näytteenotto tehtiin kentällä täyttämällä 500 ml muovipullo fysikaalis-kemiallis- sekä anionianalyysejä varten, ja suodattamalla erikseen 100 ml raskasmetallianalyysejä varten, joka kestävästi millilitralla typpihappoa. Tämän jälkeen näytteet kuljetettiin kylmäketjussa 4 C° lämpötilassa pimeään kylmiöön odottamaan analysointia. Orgaaniset purosedimenttinäytteet otettiin 0,06 mm silmäkoon tiheällä näytteenottohaavilla 10-20 metrin matkalla hieman sekoittamalla sedimentin löyhempää vesipitoista kerrosta. Näytteistä puristettiin ylimääräinen vesi käsin puristamalla, ja siitä dekantoiitiin mineraaliaines pois ämpärissä. Sedimentit säilöttiin pakastamalla, jonka jälkeen näyte kuivattiin 40-60 C° lämpötilassa ja seulottiin alle 2 mm silmäkoon seulalla. (Tenhola ja Tarvainen 2008)

Näytteet analysoitiin pitkälti GTK:n toimesta sekä osa Norjan geologisen tutkimuskeskuksen (NGU) toimesta. Vesinäytteiden analysoinnissa käytettiin ICP-MS ja ICP-AES joista anionit määritettiin IC eli, ionikromatografista menetelmää käyttäen. Veden pH-arvo ja sähkönjohtavuus mitattiin teknisesti eri laitteilla osin laboratorioissa, osin kentällä. Alkaliteetin määrittäminen suoritettiin eri pääosin titraamalla tai digitaalisella titraattorilla.



Kuva 3. Kaavamainen kuva valuma-alueista ja näytteenottopisteistä. Valuma-alueen koko on n. 30 km² (Tenhola & Tarvainen 2008)

KMnO₄- ja väriluvun määrittäminen suoritettiin pääosin titrimetrisesti, joskin osa massaspektrometrillä (ICP-AES). Näytteiden alkuainepitoisuudet mitattiin niin ikään ICP-MS ja osin ICP-AES-laitteistoilla. Hiili, vety ja typpi määritettiin hiili-typpi-analyysaattorilla ja elohopea kylmähöyrymenetelmällä tai elohopeaanalyysaattorilla. (Tenhola & Tarvainen 2008)

5. MUITA GEOKEMIALLISEN KARTOITUKSEN KOHTEITA

5.1.1 Peltomaiden geokemiallinen kartoitus 1996-97

1990-luvun lopulla Pohjoismaisten geologisten talvipäivien yhteydessä syntyi Baltic

soil survey eli BSS. Ajatuksena oli hanke kartoittaa peltomaiden geokemiaa, niin muokattavaa pintamaata kuin 50-75 cm syvyydeltä peltojen pohjamaata. Suomessa näytteenotosta vastasi luonnollisesti GTK. Näytteiden käsittely suoritettiin pääosin Norjassa ja näytteiden analysointi puolestaan Saksan BGR:ssä XRF-laitteistolla. Suomessa kerättiin näytteitä jo 1996, jolloin näistä näytteistä suoritettiin GTK:lla vertailun vuoksi analytiikka samalla menetelmällä, jolla GTK aikaisemmin tutki Suomen moreenigeokemiallisen kartoituksen. GTK:ssa näytteille suoritettiin kuningasvesiliuotus, jonka perusteella tehtiin alkuaineanalyysit. Edellämainittua analyysitulosta voitiin näin verrata Saksasta tulleisiin BSG:n XRF:llä tehtyihin kokonaispitoisuuksiin. Tämän tutkimuksen tulokset perustuvan Suomen alueelle sijoittuneeseen tutkimukseen, jonka GTK suoritti 1996 otetuista näytteistä. Taulukossa 1 nähdään esimerkkinä pohjanmaan tunnuslukuja. (Tarvainen 1996.)

Taulukko 1. Baltic soil surveyn Suomen pohjamaan (50-75 cm) tunnusluvut. (Tarvainen 1997)

	Mediaani	Keskiarvo	K.hajonta	Minimi	Maksimi
Ag (mg/kg)	<.50	<.50	.088	<.50	.661
Al (mg/kg)	7420.	10156.	8977.	370.	46900.
As (mg/kg)	1.54	2.31	2.51	<.200	12.0
Ba (mg/kg)	37.3	61.1	60.4	4.79	272.
Be (mg/kg)	<.50	<.50	.316	<.50	2.08
Bi (mg/kg)	<.020	<.020	.022	<.020	.183
Ca (mg/kg)	2350.	3138.	2519.	673.	18600.
Cd (mg/kg)	.036	.056	.057	<.01	.318
Co (mg/kg)	4.98	6.57	6.24	<1.00	33.8
Cr (mg/kg)	24.5	28.8	22.1	<5.00	104.
Cu (mg/kg)	12.8	16.8	14.8	1.38	78.2
Fe (mg/kg)	12000.	15856.	12852.	560.	63800.
K (mg/kg)	464.	1279.	1886.	<50.0	9440.
Mg (mg/kg)	2760.	3813.	3633.	120.	18800.
Mn (mg/kg)	110.	158.	155.	<2.00	850.
Mo (mg/kg)	<.200	.475	1.02	<.200	7.97
Na (mg/kg)	75.5	119.	127.	<50.0	572.
Ni (mg/kg)	10.5	13.7	11.5	<2.0	59.7
P (mg/kg)	526.	539.	251.	103.	1660.
Pb (mg/kg)	<5.00	5.62	5.22	<5.00	25.5
S (mg/kg)	78.6	761.	1539.	<50.0	10800.
Sb (mg/kg)	.048	.054	.041	<.040	.192
Se (mg/kg)	<.10	.182	.595	<.10	5.88
Sr (mg/kg)	12.7	17.5	15.3	<2.0	84.7
Ti (mg/kg)	718.	849.	718.	<5.00	3010.
V (mg/kg)	26.1	31.8	23.6	1.55	122.
Zn (mg/kg)	16.3	26.8	30.3	<1.00	140.

5.1.2 Näytteenotto ja tutkimus

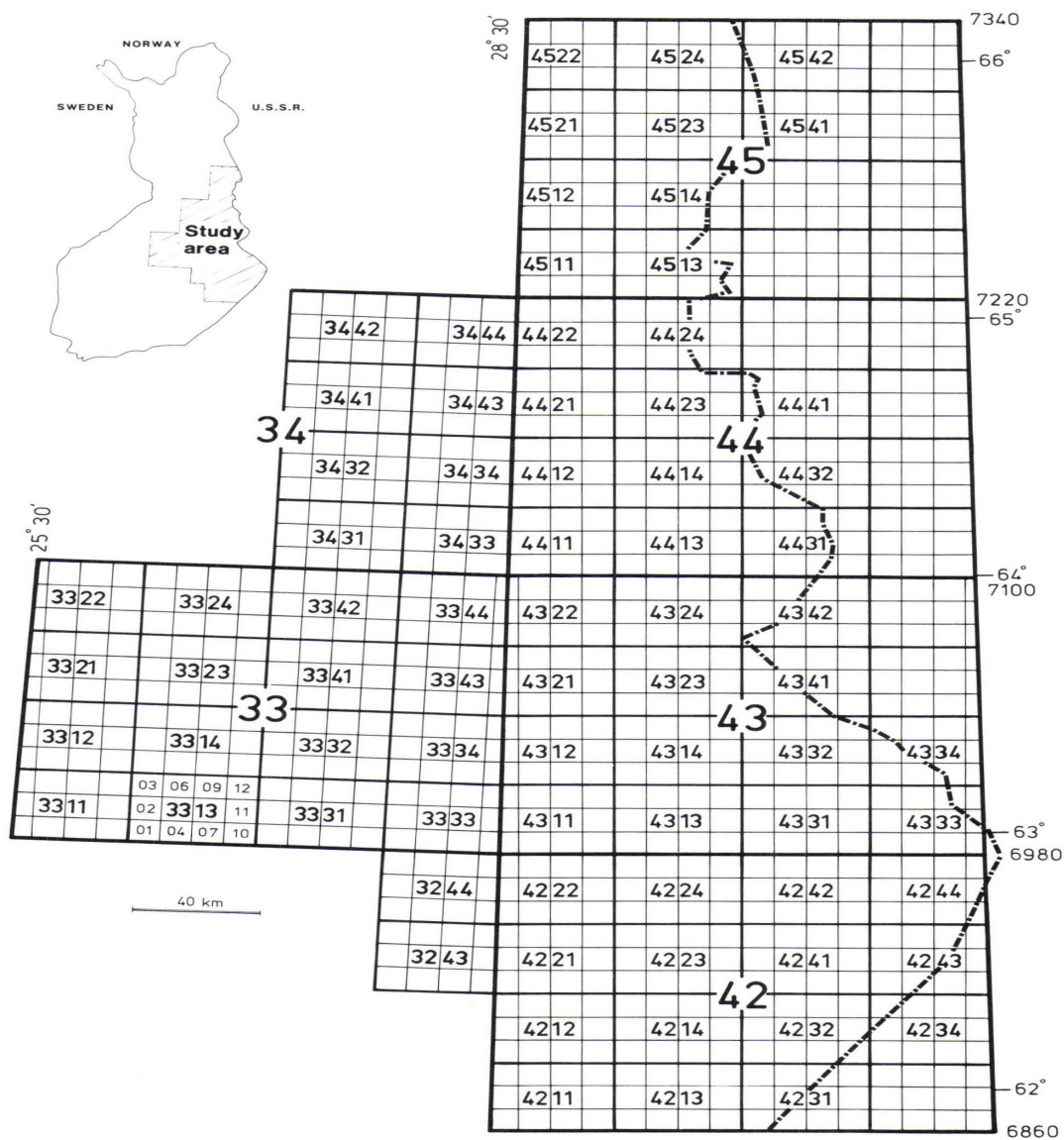
Pelto maiden kartoituksessa Suomi jaettiin yhtenäiskoordinaatiston mukaan 50 km x 50 km. Jokaisesta ruudusta valittiin yksi piste 0-25 cm syvyyden näytteeseen, sekä toinen 50-75 cm syvyydeltä otettavaan näytteeseen. Näytteenottopaikaksi valittiin (50x50) ruudun keskeltä vähintään 1 ha kokoinen niitty tai pelto josta otettiin sylinterimäisellä maakairalla 5-10 osanäytettä, mistä näyte koostettiin. Näytteenottopaikkaa valittaessa oli huomioon otettu mahdollisest haittatekijät kuten valtatie tai metalliteollisuuslaitokset, jotta ne eivät vaikuttaisi tuloksiin. Näytteet kylmäkuivattiin, seulottiin alle 2 mm seulalla ja liuotettiin kuumassa kuningasvedessä (90 C°), jonka jälkeen näyte analysoitiin massaspektrometrillä ICP-AES- ja osa GAAS-menetelmällä. Yhteisvirhe näytteenoton ja analytiikan välillä arvioitiin vertaamalla pitoisuusmääriä varsinaisten ja rinnakkaisnäytteiden välillä. Korrelaatio oli muuten merkitsevää lukuunottamatta alkuaineita: Ag, Be, Bi ja Mo. Näytteitä otettaessa, maalajit luokiteltiin osaksi vertailua viiteen kategoriaan: hienojakoiset maalajit, karkeat lajittuneet maalajit, moreeni, orgaaniset maalajit ja muut joissa osanäytteet ovat eri maalajeista. Itäisin ja pohjoisin Suomi jäi kyseisessä tutkimuksessa tulosten käsittelyn valossa puutteelliseksi. (Tarvainen 1997.)

5.2.1 Järvisedimenttien geokemiallinen kartoitus

Pääasiassa jääkauden muodostamat luonnolliset altaat joita järviksikin kutsutaan, ovat hyviä kerrostamaan valuma-alueensa sedimenttejä pohjaansa. Järvisedimenttien geokemiallista kartoitusta alettiin kokeilemaan 1950-luvulla Kanadassa pääasiallisesti malminetsinnällisissä tarkoituksissa. Menetelmä kantoi sen verran hyvin hedelmää, että 1973 aloitettiin Suomessa GTK:n toimesta järvisedimenttien kartoitus. Kartoituksen taustalla, olivat Kanadassa tehdyt tutkimukset uraanin esiintymisestä sedimenteissä. Pohjois-Karjalaan sijoittuva järvisedimenttien tutkimus oli ensimmäinen Suomessa, ja käsitteli pääasiallisesti uraanin alueellista pitoisuutta ja levinneisyyttä. Tämän ohella perustutkimusta tehtiin mm. näytteenoton, näytetiheyden ja analytiikan parissa, joka poiki Itä- ja Keski-Suomesta n. 16 000 näytettä, joiden tiheys oli n. 0,2 näytettä neliökilometriltä. Kaikista otetuista näytteistä analysoitiin Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn Muutamia poikkeuksia lukuunottamatta kaikista näytteistä analysoitiin uraani, ja joistain näytteistä Cr, Fe, Mo, Ag ja Cd. (Tenhola 1988)

5.2.2 Järvisedimenttien näytteenotto ja tutkimus

Käsitlemässämme tutkimuksessa (Alueellinen geokemiallinen järvisedimenttien kartoitus Itä-Suomessa) näyttemateriaali koostuu pääasiallisesti eloperäisestä sedimentistä. Eloperäisen aineksen ja mineraalipitoisen aineksen suhde vaihtelee kuitenkin huomattavasti näytteenottoaikkojen (eri tyyppisten järvien) välillä, suojärvinäytteen ollessa lähes täysin tai täysin humuspitoinen, ja karumman suuremman järven mineraalipitoisemman näytteen välillä. Eloperäisen aineksen keskiarvo kaikissa näytteissä aritmeettisesti oli 36 %.



Kuva 4, Itä-Suomen alueellisen geokemiallisen järvisedimenttikartoituksen näytteenottoalueet. (Tenhola 1988)

Alkuun näytteet otettiin 2x2 km ruudun keskeltä osin järvien puutteessa puosedimenteistäkin, mutta myöhemmin siirryttiin ottamaan näytteet 200-1000 m pitkiltä järveltä, ja sitä suuremmilta useita näytteitä järveen laskevien jokien suistoilta. Näytteenotto suoritettiin sedimenttilukkoisella teräslieriöottimella pohjasedimentin yläosasta näytekoon olessa 0,2-0,5 l. Tuloksista on julkaistu näytepisteiden epätasaisuuden vuoksi interpoloituja 1: 100 000 karttoja joissa pitoisuudet ovat määritellyt kuutena luokkana. Kuvassa 4 nähdään alueellisen geokemiallisen järvisedimenttikartoituksen näytteenottoalueet. Kuten voidaan huomata, näytteenotto painottuu pitkälti itäiseen Järvi-Suomeen. (Tenhola 1988.)

6. TULOKSIEN TARKASTELU JA POHDINTA

Käsiteltäessä geokemiallista kartoitusta Suomessa, huomataan nopeasti kuinka paljon laajasti ja paljon tutkimusta on tehty. Tässä tutkielmassa ei niinkään perehdytty hyvin kattavaan tulosmateriaaliin, jota kaikista käsittelemistämme tutkimuksista tulisi. Aineistoissa tulokset ovat käsitellyt pääasiallisesti erilaisina kuvaajina ja karttoina pitoisuuksista tietyillä alueilla (kts. Suomen geokemian atlas osa 2: Moreeni s. 143-217) Tyypillisesti jokaiselle tutkitulle alkuaineelle on omat kartat ja diagrammit. Tutkielma perehtyi enemmänkin aiheen laajuudesta johtuen siihen mitä on tehty, millon ja miten, kuin siihen mitä tarkkoja tuloksia tehdyistä tutkimuksista on saatu. Tässä osiossa pohditaan geokemiallisten kartoitusten merkitystä tuloksien ja tutkimuksen valossa. Karkeammalla mittakaavalla atlaskartoitukset viitoittavat maa- ja kallioperän geokemiallista yleiskoostumusta, kun taas alueelliset kartoitukset antavat tarkemman kuvan alueiden kemiallisesta koostumuksesta, siihen liittyvistä hyödyistä ja haitoista.

Moreenin geokemiallinen kartoitus lienee niin atlaskartoituksen kuin alueellisten kartoitusten valossa paras mittari yleisesti Suomen geokemialle jota ihmisen toiminta ei vielä ole juurikaan muuttanut. Moreenin hienoaineksesta otettu näyte kuvastaa jääkauden aikaisen Suomen kallio- ja maaperän geokemian. Kartoitusta voidaan esimerkiksi käyttää hyväksi malminesinnällisissä tarkoituksissa. Näytteiden otto on

tehty tyypillisesti häiriintymättömästä maa-aineksesta, ja tällöin voidaan kiinnittää huomio ainoastaan jääkauden aiheuttamaan "häirintään". Kyseenalaisia kohtia on tietysti näytteenotossa tapahtuneet todennäköisesti resursseista johtuneet ns. virheet, kuten se että osaa näytteistä ei saatu otettua pohjaveden pinnan alta. Tällaisessa tilanteessa muuttujat ovat mahdollisia. Paremmilla resursseilla, joka tässä tapauksessa tarkoittaa parempaa ja kalliimpaa kalustoa käyttäen, näytteet olisi ollut mahdollista ottaa myös vaikeimmista paikoista pohjaveden pinnan alta. Malminetsinnässä moreeniakin on kerätty ja analysoitu eri menetelmillä runsaasti, mainittakoon MM- eli monimenetelmä tulkinta ja vaikkapa moreenin RM- eli raskasmineraalitutkimus. Aiheena eri menetelmien läpikäyminen olisi jo oma tutkielmansa.

Pohjavedet ovat tärkeä suomalaisille tärkeä makean veden lähde yksityisien kaivojen ja yleisten vedenottamoiden kautta. Pohjavesien geokemiallisella kartoitus indikoi suoraan veden laatua määritteleviä tekijöitä kuten kohdassa 4.3 kuvattiin. Eri kautta pohjavesiin leviävät laatua huonontavat alkuaineet sekä yhdisteet, että niihin liittyvät ongelmat on hyvä tietää ja ylläpitää säännöllistä näytteenottoa sekä tutkimusta. Pohjavedet ovat purovesien ohella hyvä ympäristön tilan mittari, sillä ne kuljettavat herkästi kontaminoivia aineksia. Samoin pohjavesiyksiköiden koosta riippuen, ne voivat kattaa suurenkin alueen joka vaikuttaa taas esimerkiksi useamman vedenottamon tai kaivon veden laatuun ongelmien ilmetessä. Juomavesi on ihmiselle elintärkeä asia, ja kun se otetaan pääasiallisesti hyvälaatuisesta pohjavedestä, on sen seurantakin tärkeää. Täten voidaankin todeta, että tutkimuksen on syytä olla jatkuvaa.

Purovesien ja sedimenttien kartoitus taas kuvaa hyvin maa- ja kallioperän yleistä koostumusta alueella ja viitoittaa mahdolliset terveysriskit tai esimerkiksi malmipotentialit kyseisellä alueella. Samalla purovesien ja sedimenttien tutkimuksella voidaan kuvastaa ihmisen toiminnan jättämiä jälkiä ja muutoksia ympäristössä eri aikaväleillä, toisin kuin esimerkiksi moreenin geokemiallisessa kartoituksessa, joka pysyy aika pitkälle muuttumattomana pitkiäkin ajanjaksoja. Puroista saatavassa informaatiossa näkyy esimerkiksi soiden ojitusten vaikutus humuksen määrän ja happamuuden kasvuna. Ympäristön tila täten heijastuu purovesistä ja sedimenteistä tutkimuksen valossa hyvin, tämä otettaessa huomioon, säännöllinen purovesien ja sedimenttien tutkimus ja näytteenotto on tärkeää.

Peltomaiden kartoituksessa pohjamaa saattaakin pysyä viljelystä ja lannoituksesta muuttumattomana, mutta pintamaan kemia vaihtelee riippuen lannoituksen määrästä eritoten ravinteiden kuten kalsiumin ja fosforin määrässä. Pintamaasta 0-25 cm sadeveden mukana liukenee vesistöihin vielä mm. em ravinteita joka taas vaikuttaa eri vesistöjen tilaan. Kuten tiedetään, maanviljelys rehevöittää usein pieniä vesistöjä suuren fosforikuorman takia. Voidaankin kuvitella laatikko, jonka sisällä on tietty määrä ravinteita. Mikäli ravinteita laatikkoon ei lisätä, niitä ei myöskään sinne lisää tyhjästä ilmesty. Mutta mikäli laatikkoon kaadetaan lisää ravinteita, sen kemiallinen koostumus muuttuu ja ravinteiden määrä rikastuu. Luonnollisessa ympäristössä tuo ravinne sitten liukenee vesien mukana myöskin pois "laatikosta" ja voi aiheuttaakin rehevöitymistä. Tutkimus selvästi viittoittaakin ympäristölle vähemmän kuormitusta aiheuttavan tavalle viljellä ja lannoittaa. Kun ajatellaan pitkässä juoksussa peltomaiden viljelyn vaikutusta ja vaihtelua kemiallisessa mielessä, on säännöllinen tarkastelu tässäkin kohtaa tärkeää, joskin ei välttämättä yhtä tarpeellista kuin kahden edellämainitun (pohja- ja purovedet) tutkimuksen jatkuva kartoitus. Tällöin aikaväli tutkimuksella voisi olla pidempi. Mikäli viljelykseen säädetyt ohjesäännöt olisivat ihanteelliset, tutkimusta ei tarvitsisi juurikaan edes tehdä.

Järvisedimenttien tutkimuksessa on mielenkiinto ollut pääasiassa uraanin ja muiden metallien esiintymisessä (kts. kohta 5.2.1), eikä niinkään yleisen koostumuksen kartoittamisessa. Kuten tiedetään, taloudelliset syyt kuten malminetsintä ovat tyypillisesti kovia tutkimuksen vauhdittajia geokemiallisen tutkimuksen saralla. Ongelmakohtana tutkimuksessa on, että se on suoritettu ainoastaan Itä- ja Keski-Suomessa eli ns. Järvi-Suomen alueella. Sen sijaan Pohjanmaan ja Lapin vesistöjen näytteenottokohteet ovat olleet pääasiassa puroja ja jokia. Järvet ovat kuitenkin kemiallisesti ajateltuna sen valuma-alueiden summa. Tutkimusta voisi tehdä myös kaikista muista alkuainesta, jotka leviävät vesiteitse. Samalla ihmisen toiminta (soiden ojitukset, maanviljejä ym.) eittämättä näkynee järvien pohjasedimenteissä ja veden laadussa. Kun suoritetaan malmietsinnällistä tutkimusta ei järven tilaan tai sen muutokseen niinkään ole perehdytty. Tuhansien järvien maassa tutkimusta vesistöjen tilasta ja muutoksesta tehdään ja on tehty varmasti paljon, joskaan ne eivät kaikki tähän tutkielmaan aiheen puitteissa mahdu.

Kaikenkaikkiaan voidaankin todeta Suomen kuitenkin suhteellisen pienenä valtiona

olevan kohtuullisen hyvin geokemiallisesti kartoitettu. Paikkoja joissa yksikään näytteenottaja ei ole käynyt varmasti riittää, mutta vähintäänkin suurpiirteisesti maa- ja kallioperän geokemia on hyvin tiedossa. Tarkempaa alueellista tutkimusta on esimerkiksi eri kansallisten ja kansainvälisten malminetsintäyritysten toimesta on suoritettu erittäinkin paljon. Tieteen valossa haittapuolena yksityisen sektorin malminetsinnällisessä kartoituksessa yksityisyyden suoja sekä tiedon häviäminen epäkiinnostavana tietokoneen käyttöjärjestelmän roskakoriin. Samalla yksityinen yritys saattaa kartoittaa valtavasti ja samalla hyvin tarkasti esimerkiksi tiettyä malmityyppiä tai metallia etsien; jättäen huomioimatta paljon kiinnostavaa informaatiota jostain muusta metallista tai geokemiallisesta anomaliasta tutkitulla alueella. Peilaten tutkielman kirjoittajan omakohtaisiin kokemuksiin eri työharjoitteluisissa yksityisissä malminetsintää harjoittavissa yrityksissä, useita kysymyksiä ja mielenkiinnon kohteita Suomen kamaralta on jäänyt, joihin ei vastauksia saatika referaatteja ole löytynyt, eikä sen hetkisen työnantajan mielenkiintoakaan. Tämän tiedon valossa voidaankin helposti todeta GTK:n riippumattoman tutkimuksen ja niin ikään geokemiallisen kartoituksen olevan avainasemassa tieteen kehittämisessä ja tärkeän tiedon lisääntymisessä. Luonnonvarojen hiljalleen ehtyessä ja ihmisen jättäessä painavia jälkiä asuttamaansa ympäristöön, jatkuva tutkimus ja kehitys on tärkeä askel kestävän kehityksen kelkassa jota sinällään on vaikea sivuuttaa.

7. LÄHDELUETTELO

Björklund, A. & Gustavsson, N., 1987. Visualization of geochemical data on maps: New options. 1. *Geochem. Explor.* 29, s. 89-103.

Eronen, M., Uusinoka, R., Jungner, H. 1979. C-ajoitettu sinisimpukkalöytö Seinäjoelta ja tietoa muista kuoriesiintymistä Itämeren piirissä. *Terra* 91(4)

Hawkes, H. E. 1976. The early days of exploration geochemistry, *J. Geochem. Explor.* 6, 1-11

Koljonen, T. (toim) 1992. Suomen geokemian atlas osa 2: Moreeni, Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 218 s.

Kvalheim, A. (editor) 1967. *Geochemical prospecting in Fennoscandia*. Interscience Publ., New York., etc. 305 s.

Lahermo, P. 1971. On the hydrogeology of the coastal region of south-eastern Finland. *Geol. Surv. Finland, Bull.* 252, s. 44

Lahermo, P. 1970. Chemical geology of ground and surface waters in Finnish Lapland. *Bull. Comm. Géol. Finlande* 242, s. 106

Lahermo, P. 1984. Groundwater contamination in Finland. Pp. 455-464 in *Int. Groundwater Symp. On Groundwater Resources Utilization and Contaminant Hydrogeol.*, May 1984, Montreal, Quebec, Proc. Vol II, 593p.

Lahermo, P. 1987. Atmospheric, geological and anthropogenic effects on groundwater quality in Finland. *Int. Symp. Groundwater Microbiol. Problems and Biol. Treatment* 4-6 Aug., 1987. Kuopio, Finland. Proc., 1-7

Lahermo, P. 1988a. Hydrogeochemical research at the Geological survey of Finland An environmental approach. *Nordisk Hydrol. Kom.* 1988, 1-3. Aug. 1988. Rovaniemi, Finland. *NHPrap.* 22, (2), 382-391.

Lahermo, P. 1988b. Pohjavedet kartoitettu. Abstract: Hydrogeochemical mapping of Finnish groundwater. *Tiede* 2000 5, 53-57.

Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen geokemian atlas osa 1: Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Espoo. Geologian tutkimuskeskus. 5-32

Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit. Espoo. Geologian tutkimuskeskus. 5-30

Sahama, Th, G. 1947. Geokemia. Helsinki: Otava. 447 s.

Salminen, R. 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994. Espoo. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 130. 7-13

Soveri, J. 1985. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in Quaternary deposits in Finland. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 63. Vesihallitus. Helsinki

Tarvainen, T. 1997. Suomen peltomaiden geokemiallinen kartoitus: Hankkeen 3353 alustavat tulokset. Geokemian osasto, Geologian tutkimuskeskus, Raporttiedosto nro. 3999. 1-4

Tenhola, M & Tarvainen, T. 2008. Purovesien ja orgaanisten purosedimenttien alkuainepitoisuudet Suomessa vuosina 1990, 1995, 2000 ja 2006. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 172. 5-14

Tenhola, M. 1988. Alueellinen geokemiallinen järvisedimenttikartoitus Itä-Suomessa. Espoo. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 78. s. 5-12