

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

Tutkimusraportti 163

Report of Investigation 163

Timo Tarvainen (toim.), Mikael Eklund, Maija Haavisto-Hyvärinen, Tarja Hatakka, Jaana Jarva,
Virpi Karttunen, Erna Kuusisto, Jukka Ojalainen, & Eeva Teräsvuori

**ALKUAINEIDEN TAUSTAPITOISUUDET PÄÄKAUPUNKISEUDUN
KEHYSKUNTIEN MAAPERÄSSÄ**

Summary: Geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area

Espoo 2006

Tarvainen, T. (toim.) 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Summary: Geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti – *Geological Survey of Finland, Report of Investigation 163*. 40 pages, 18 figures and 10 tables.

The Geological Survey of Finland (GTK) has studied geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area (the municipalities or cities of Kirkkonummi, Vihti, Hyvinkää, Nurmijärvi, Järvenpää, Tuusula, Kerava and Sipoo) using topsoil, subsoil and humus samples in 2004–2005. 300 sample profiles represented the most common mineral soil types of the region. 98 sample pits were dug in sand and gravel formations, 102 profiles were made in glacial till soils and 100 in fine-grained sediments (clayey soils). Aqua regia extraction was used for mineral soil samples and concentrated nitric acid for humus samples. In addition to element concentrations, pH and loss of ignition (LOI) values were measured for both humus and mineral soil samples. Separate carbon measurements were taken from mineral samples. The aim of this study was to provide the regional environmental authorities with information on geological and diffuse anthropogenic baselines of different elements.

Concentrations of most of the elements studied showed large natural variation in soils and humus. There is good correlation between topsoil and subsoil concentrations suggesting a geologic origin of the distribution patterns. Concentrations of most trace elements including heavy metals were highest in fine-grained (clay) soils. Concentrations of several trace metals such as copper, chromium and vanadium correlated with the clay fraction content both in topsoil and subsoil samples.

The organic matter content in mineral topsoil showed good correlation with Hg, Ag, S, Pb and Cd, partly reflecting the atmospheric deposition and other anthropogenic input. The concentrations of carbon, sulphur, cadmium, mercury and lead were relatively high in the humus samples compared with the mineral soils.

Keywords (GeoRef Thesaurus, AGI): environmental geology, geochemical surveys, baseline studies, soils, sediments, humus, chemical elements, trace elements, Uusimaa, Itä-Uusimaa, Finland

Timo Tarvainen
Geological Survey of Finland
P.O. Box 96
FIN-02151 ESPOO
FINLAND

E-mail: Timo.Tarvainen@gtk.fi

ISBN 951-690-968-X
ISSN 0781-4240

Otavan Kirjapaino 2006

Tarvainen, T. (toim.) 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Summary: Geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti – *Geological Survey of Finland, Report of Investigation 163*. 40 sivua, 18 kuvaa ja 10 taulukkoa.

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperägeokemian tietokantaa täydennettiin vuosina 2004–2005 siten, että pääkaupunkiseudun kehyskuntien (Kirkkonummi, Vihti, Hyvinkää, Nurmijärvi, Järvenpää, Tuusula, Kerava ja Sipoo) alueelta kerättiin ja analysoitiin 300 maaprofiilista pinta- ja pohjamaa- sekä humusnäytettä. Profiilit edustivat alueen yleisimpiä maalajeja. Karkeisiin lajittuneisiin maalajeihin (hiekkä, sora) tehtiin 98 profiilia, moreenimaahan kaivettiin 102 profiilia ja savikoille 100 profiilia. Kaikista mineraalimaanäytteistä analysoitiin alkuaineiden kuningasvesiliukoisia pitoisuuksia ja humusnäytteet uutettiin väkevällä tyyppihapolla. Molemmista näytetyypeistä määritettiin lisäksi pH ja hehkutushäviö, mineraalimaanäytteistä myös hiilipitoisuus. Tavoitteena oli tuottaa kasvukeskusten ympäristöviranomaisille päätöksenteossa tarvittavaa tietoa geologiasta ja hajakuormituksesta peräisin olevien haitallisten aineiden taustapitoisuuksista.

Useimpien tutkittujen alkuaineiden pitoisuuksissa on suurta luonnollista vaihtelua. Pinta- ja pohjamaanäytteistä mitatut alkuainepitoisuudet korreloivat keskenään useimmiten merkitsevästi, joten maaperän luonnollinen, geologinen koostumus on tärkein pitoisuuksia selittävä tekijä. Lähes kaikkien hivenalkuaineiden (mukaan lukien raskasmetallit) pitoisuudet ovat yleensä suurimmat savimailla. Useiden hivenalkuaineiden (esimerkiksi kupari, kromi ja vanadiini) pitoisuus maaperässä on suoraan verrannollinen maaperän < 0,002 mm:n raekokofraktion määrään sekä pintamaassa että pohjamaassa.

Pintamaan orgaanisen aineksen määrä korreloi selvimmin hajakuormituksena tulevien elohopean, hopean, rikin, lyijyn ja kadmiumin pitoisuuksien kanssa. Mineraalimaahan verrattuna hiilen, rikin, kadmiumin, elohopean ja lyijyn pitoisuudet ovat suhteellisen suuria humuksessa.

Avainsanat (Fingeo-sanasto, GTK): ympäristögeologia, geokemialliset tutkimukset, perustilan kartoitus, maaperä, sedimentit, humus, alkuaineet, hivenalkuaineet, Uusimaa, Itä-Uusimaa, Suomi.

Timo Tarvainen
Geologian tutkimuskeskus
PL 96
02151 ESPOO

S-posti: Timo.Tarvainen@gtk.fi

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	TUTKIMUSALUEEN MAAPERÄ	8
3	TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	14
3.1	Näytteenotto	14
3.2	Esikäsittelyt ja analytiikka	17
3.2.1	Mineraalimaanäytteet	17
3.2.2	Humukset	18
3.3	Laadunvarmistus	18
3.4	Tilastolliset menetelmät ja karttatuotanto	19
3.5	GeoTIETO-käyttöliittymä	20
4	TULOKSET	21
4.1	Alkuaineiden pitoisuudet eri maalajeissa	21
4.2	Alkuaineiden pitoisuudet humuksessa	24
5	POHDINTA	26
5.1	Metsämaiden maaperä	26
5.2	Peltomaiden maaperä	28
5.3	Kivennäismaan orgaanisen aineksen vaikutus	29
5.4	Saveksen ja hienoaineksen määrän vaikutus	32
5.5	Kallioperän vaikutus moreenin pitoisuuksiin ja vertailu alueellisen kartoituksen tuloksiin	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	37
	SUMMARY: GEOCHEMICAL BASELINES AROUND THE HELSINKI METROPOLITAN AREA.	38
	KIRJALLISUUSVIITTEET	39

1 JOHDANTO

Timo Tarvainen

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperägeokemian tietokantaa täydennettiin vuosina 2004–2005 siten, että pääkaupunkiseudun kehyskuntien (Kirkkonummi, Vihti, Hyvinkää, Nurmijärvi, Järvenpää, Tuusula, Kerava ja Sipoo) alueelta kerättiin ja analysoitiin 300 maaprofiilista pinta- ja pohjamaa- sekä humusnäytettä. Profiilit edustivat alueen yleisimpiä maalajeja. Alueellista taustapitoisuus-kartoitusta täydennettiin kesällä 2005 keräämällä näytteitä KallioINFO-hankkeen (Kuivamäki 2006) Nurmijärven detaljialueelta ja sen ympäristöstä. Kaikista mineraalimaanäytteistä analysoitiin kuningasvesiliukoisia pitoisuuksia ja humusnäytteet uutettiin väkevällä typpihapolla. Kuningasvesiliuotusmenetelmää on yleisesti käytetty maanäytteiden analyyseissä geokemian kartoitusprojekteissa ja pilaantuneiden maiden arvioinneissa. Nykyisillä analyysimenetelmillä voidaan analysoida luotettavasti sellaisia ympäristöselvitysten kannalta keskeisiä alkuaineita (mm. arseeni, kadmium, lyijy ja elohopea), jotka ovat puuttuneet lähes kokonaan aiemmista geokemiallisista kartoitusohjelmista. Tässä tutkimuksessa käytetyt näytteenotto-, esikäsitteily- ja analyysimenetelmät valittiin Porvoon ympäristössä tehdyn laajan pilottitutkimuksen tulosten perusteella (Tarvainen ym. 2003).

GTK on tehnyt kaksi suurta valtakunnallista moreenigeokemiallista kartoitusta: suuralueellisen kartoituksen näytteenottotiheydellä 1 näyte / 300 km² (Koljonen 1992) ja alueellisen kartoituksen tiheydellä 1 näyte / 4 km² (Salminen 1995). Molemmissa kartoituksissa on kerätty näytteitä ainoastaan (lähes) muuttumattomasta pohjamaasta. Molemmissa kartoituksissa on analysoitu < 0,06 mm:n raekoko ja analytiikassa uuttomenetelmänä on ollut kuningasvesiuutto. Suuralueellisessa kartoituksessa on tehty lisäksi kokonaispitoisuusmäärittäyksiä. Suuralueellisen kartoituksen Etelä- ja Väli-Suomen näytteistä on jälkikäteen määritetty myös pitoisuudet < 2 mm:n raekoossa sekä kuningasvesiuutolla että totaaliliuotuksella (Tarvainen 1995). Alueellisen kartoituksen näytteistä on valittu 90 näytteen otos, joista on määritetty kuningasvesiliukoisten pitoisuuksien lisäksi ammoniumasetaatti-EDTA-uuttoon perustuvat pitoisuudet (Tarvainen ja Kallio 2002).

Laajimmissa valtakunnallisissa maaperägeokemiallisissa kartoituksissa on käytetty näytemateriaalina moreenia, joka on Suomen yleisin maalaji. Vuosina 1996–1997 koottiin kansainvälisen Baltic Soil Survey -hankkeen yhteydessä näytteitä noin 130 maaprofiilista maatalousmailta. Tähän näytteenottoon sisältyi moreenin lisäksi hienojakoisia maalajeja (savi, siltti), karkeita lajittuneita maita ja orgaanisia maalajeja. Baltic Soil Survey -hanke poikkesi moreenigeokemiallisista kartoituksista myös siinä, että näytteitä otettiin pohjamaan lisäksi pintamaasta. Suomen alustavat tulokset, jotka perustuivat kuningasvesiuuttoihin, julkaistiin vuonna 1999 (Tarvainen ja Kuusisto 1999). Kaikkien kymmenen Itämeren maan maatalousmaiden geokemiallisen kartoituksen tulokset julkaistiin vuonna 2003 (Reimann ym. 2003). Baltic Soil Survey -kartoituksen mukaan useiden hivenalkuaineiden pitoisuudet ovat keskimääräistä suuremmat savimailla kuin muissa maalajeissa. Etelä-Suomen savien alkuainepitoisuuksia ovat kuvanneet myös Salminen ym. (1997).

Lapista/Pohjois-Suomesta on tehty geokemiallista maaperäkartoitusta lisäksi Pohjoiskalottihankkeen (Bølviken ym. 1986) ja Kuolan ekogeokemian hankkeen (Reimann ym. 1998) yhteydessä. Lisäksi Barentsin ekogeokemiallinen kartoitushanke kattoi lähes koko maan (Salminen ym. 2004). Koko Suomesta on uusia analyysituloksia myös Euroopan-laajuisen FOREGSin geokemiallisen kartoituksen julkaisussa (Salminen ym. 2005).

Tavoite oli tuottaa kasvukeskusten ympäristöviranomaisille päätöksenteossa tarvittavaa tietoa geologiasta ja hajakuormituksesta peräisin olevien haitallisten aineiden taustapitoisuuksista. Taustapitoisuustietoja tarvitaan muun muassa maa-alueiden pilaantuneisuutta arvioitaessa ja tulevan puhdistamolietedirektiivin soveltamiseen. Yli 30 alkuaineen pitoisuudet määritettiin pintamaasta, pohjamaasta ja humuksesta Kirkkonummen, Vihdin, Hyvinkään, Nurmijärven, Järvenpään, Tuusulan, Keravan ja Sipoon alueella. Alustavat tulokset on aiemmin esitetty GTK:n arkistoraporteissa (Tarvainen ym. 2005, Tarvainen ja Teräsvuori 2006).

2 TUTKIMUSALUEEN MAAPERÄ

Maija Haavisto-Hyvärinen

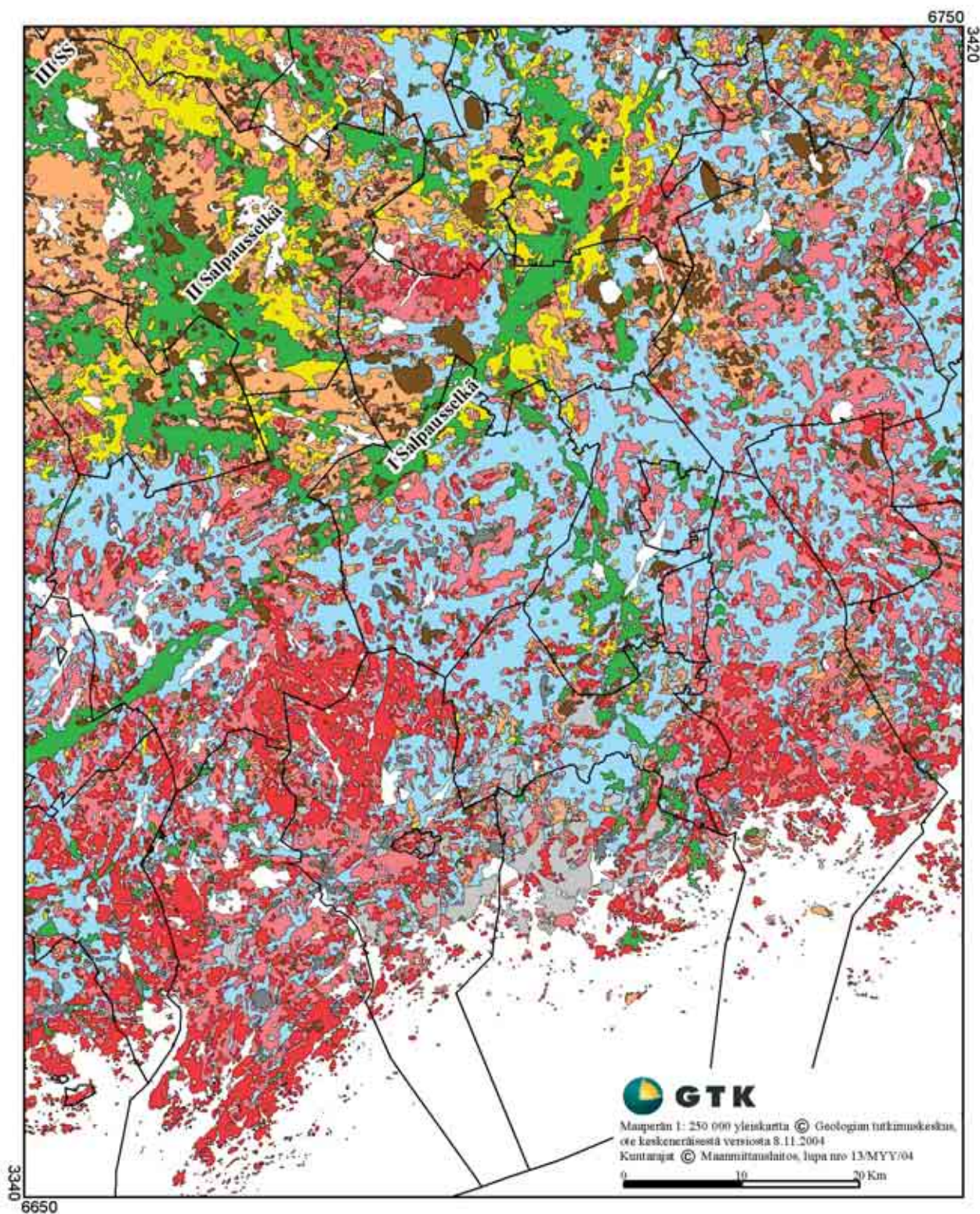
Pääkaupunkiseutua ympäröivän rannikkoalueen ja sen luoteisosaan sijoittuvan Salpausselkävyöhykkeen maaperän muokkaantuminen alkoi viimeisimmän jääkauden, Veiksel-jääkauden, loppuvaiheen aikana. Vähitellen maankuori alkoi nousta 2–3 kilometriä paksun jääkerroksen aiheuttamasta satojen metrien painumasta ja myös maanpinta kohosi jäänreunan edessä lainehtineiden muinaisten Itämerivaiheiden peitosta. Jäätikön etenemisvaiheessa kerrostuneen pohjamoreenin päälle syntyi jäätikönreunan sulamisvaiheessa lisää moreenia jäätikön sisällä ja pinnalla olleesta sekalajitteisesta kivennäisaineksesta. Jäätikön reunavyöhykkeen railoissa ja tunneleissa syntyi karkearakeisesta kivennäisaineksesta lajittuneita jäätikköjokikerrostumia, ja eri Itämerivaiheiden aikoina laskeutui laaksoihin ja painanteisiin hienorakenteisia pohjakerrostumia. Turvekerrostumia alkoi syntyä sitä mukaa, kun maa kohosi vedenpinnan yläpuolelle.

Jäätikön virtaus oli kuluttanut sekä ennen viimeistä jäätiköitymistä kerrostunutta maaperää ja rapautunutta kallioperää että jonkin verran myös tervettä kallioperää hiomalla sitä silokallioiksi. Näin muotoutuneiden kallioiden pinnalle jäätikön pohjassa kulkevat kivet ja lohkareet naarmuttivat uurteita ja kouruja. Jäätikön virtauksen irrottamasta, jauhamasta ja kuljettamasta sekalajitteisesta kiviaineksesta pakkaantui jäätikön alla tiivistä pohjamoreenia, kun taas jäätikön sisällä ja pinnalla kulkeutuneesta kiviaineksesta syntyi jään sulaessa pohjamoreenin päälle löyhää pintamoreenia. Moreenikerrostumien pintaosaa ovat myöhemmin muokanneet aaltojen huuhtova sekä roudan möyhentävä toiminta. Moreeni verhoaa kallioperää ja tasoittaa sen pinnanmuotoja yleensä ohuena tai muutaman metrin paksuisena peitteenä. Omia pohjamoreenimuodostumia ovat jäätikön virtauksen suuntaiset selänneet eli drumliinit, joissa moreenin paksuudet ovat peitemoreenia suuremmat. Muodostumista alueen vanhimpia ovat vastasivun drumliinit (precrag-selänneet), joiden aines koostuu useasta eri-ikäisten jäätiköitymistä kerrostamista moreenipatjoista. Useimmat niistä sijaitsevat pääkaupunkiseudun rannikkoalueella (esim. Lauttasaaren ja Vuosaaren muodostumat). Kehyskuntien alueella selkeimpänä esimerkkinä tällaisesta mannerjäätikön liikkeeseen nähden kalliomäen luoteispuolelle kerrostuneesta moreeniselänneestä voidaan pitää Tuusulan, Mäntsälän ja Hyvinkään rajalla olevaa Ullamäen muodostumaa. Viimeisen jäätiköitymistä sulamisvaiheessa syntyneitä drumliineja tava-taan kehyskuntien alueilla yksittäisinä selänneinä

harvakseltaan. Alueen nuorimmat drumliinit ovat kerrostuneet Toisen ja Kolmannen Salpausselän väliseen maastoon, jossa niitä esiintyy myös rinnakkaisina ja peräkkäisinä parvina. Moreenia on enemmän kuin Maaperän yleiskartassa (kuva 1) on kuvattu, sillä alueen maalajeista vanhimpana se on suureksi osaksi hautautunut myöhemmin syntyneiden kerrostumien alle. Kalliomaana kuvatuilla alueilla on niin ikään moreenia, mutta kallioperää peittävän moreenikerroksen paksuus on tällöin vain alle yhden metrin.

Myöhäis-Veiksel-jäätiköitymistä kylmimpänä vaiheena 20 000–18 000 vuotta sitten jäätikkö oli laajimmallaan ja ulottui Jäämereltä Pohjois-Saksaan saakka. Tämän jälkeen ilmasto alkoi lämmentä ja jäätikkö sulaa ja sen reuna saavutti Uudenmaan rannikon noin 13 000 vuotta sitten. Lauha ilmasto suosi edelleen jäätikön nopeahkoa sulamista, ja sen reuna vetäytyi 50 kilometriä Ensimmäisen Salpausselän linjan luoteispuolelle. Jo ennen Salpausselkävaiheita on maastoon jäänyt merkkejä jäätikön reunan vetäytymisestä kohti luodetta. Sulavan jäätikönreunan eteen kasaantui tällöin sen puskemana pieniä, pinnaltaan lohkareisia moreenivalleja. Näitä lyhyen kylmän jakson, esim. yhden talven aikana syntyneitä reunamoreeneja eli De Geer -moreeneja on yksittäisinä tai pieninä parvina rannikkoalueelta lähtien laaksojen reunamilla tai ylätasanteilla. Mutta näitä huomattavasti laajempi moreenivallien parvi syntyi kehyskuntien pohjoispuolelle Hyvinkään ja Mäntsälän välisellä alueella. Paikalleen sulavan jäätikön moreeni- ja kiviaineksesta kerrostui myös yksittäisiä moreenikumpuja tai kumpukenttiä jäätikön virtausvaiheessa syntyneen pohjamoreenin päälle. Laajemmat kumpumoreenikentät sijaitsevat kehyskuntien ulkopuolella Salpausselkien välisillä ylänköalueilla, jotka jäätikön sulaessa jäivät kuivaksi maaksi. Osa geokemiallisen kartoituksen moreeninäytteistä on otettu kumpumoreenimuodostumista.

Jäätikön sulamisvaiheessa sen pohjan railoissa ja tunneleissa virtasi vuolaita jäätikköjokia, jotka kuljettivat, lajittelivat, pyöristivät ja kerrostivat jäätikössä tai sen alla olevaa kiviainesta hiekka- ja sorakerrostumiksi. Jäätikön alaisten uomastojen virtausreitit voidaan jäljittää maaperän yleiskartan karkearakeisista lajittuneista hiekka- ja sorakerrostumista, joiden ydin on primääristä harjua ja liepeet rantavoimien uudelleen muokkaamia ja levittämiä kerrostumia. Rannansiirtymistä esittämissä korkokuvakartoissa (kuvat 2 ja 3) erottuvat varsinkin Ensimmäisen Salpausselän luoteispuolisten harjujen



Kuva 1. Tutkimusalueen maaperän yleiskartta 1:250 000. Kuntarajat on piirretty mustalla viivalla. Kuntarajat © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MYY/06. Kartan laatinut: Hanna Virkki.

Fig. 1. Generalised Quaternary deposit map of the study area 1:250 000. Municipal boundaries shown in black. Map composition: Hanna Virkki. Avokallio = Exposed bedrock; Kalliomaa = Bedrock terrain; Moreeni = Till; Karkearakeiset lajittuneet = Gravel deposits; Hienojakoiset lajittuneet = Silt deposits; Savi = Clay; Liejut = Gyttja; Paksu turve = Thick peat >90 cm; Kartoittamaton/täytemaa = Unmapped area

ytimet harjutasanteita korkeampina kumpujonoina mm. Vihdin alueella. Salpausselkien kaakkoispuolella harjujaksot ovat rantavoimien tasoittamia ja näyttävät katkonaisilta, vaikka ne saattavat jatkua-kin savikerrostumien peittäminä. Kehyskuntien huomattavin harjujakso kulkee kaakko-luodesuuntaisena poikki Tuusulan ja pitkin Nurmijärven itä-osaa kohti Ensimmäistä Salpausselkää.

Ilmasto kylmeni nopeasti noin 12 600 vuotta sitten kymmenisen astetta ja jäätikkö eteni uudestaan Ensimmäisen Salpausselän linjalle, josta Maaperän yleiskartan otteessa on Lohjan ja Hyvinkään seutujen välinen osuus. Jäätikön sulaminen ja uuden jään virtaaminen olivat tasapainossa 200 vuotta, 12 250–12 050 vuotta sitten. Tänä aikana jäätiköltä virtaavat sulavedet kerrostivat kuljetta- maansa ja pyöristämäänsä hiekkaa ja soraa laajaksi ja kymmeniäkin metrejä paksuksi reunamuodostu- maksi (I Salpausselkä), jonka jäätikönpuoleisessa osassa on jäätikön edestakaisen liikkeen kerrosta- mana myös moreenia sekä pinta- että välikerroksi- na tai jopa selvinä moreenivalleina. Salpausselkien syntymisen alkaessa mannerjäätikkö jakautui useam- maksi kielekevirraksi. Kaikkien kolmen Salpausse- län läntiset kaaret syntyivät ns. Itämeren kieleke- virran eteen. Ensimmäisen Salpausselän läntinen kaari ulottuu lähes yhtenäisenä selänteenä Hanko- niemestä Hollolan Sairakkalaan, jossa se Järvi- Suomen kielekevirran sauman kohdalla kääntyy itäiseksi kaareksi.

Mannerjäätikön reuna vetäytyi Toisen Salpaus- selän vyöhykkeelle 250 vuodessa, ja siihen kuulu- vat reunamuodostumat kerrostuivat 11 790–11 590 vuotta sitten. Maaperäkartta kuvaa Karkkilan ja Lopen ylänköalueelle syntyneitä Toisen Salpausselän maaperäkerrostumia. Ne koostuvat neljästä sarjasta peräkkäisiä reunaselänteitä (II Salpausselkä), jotka oheisessa yleiskartan mittakaavassa (1:250 000) ja maalajien levinneisyyttä kuvaavassa esityksessä ei- vät kuitenkaan hahmotu omina muodostuminaan. Mutta vertaamalla maalajikarttaa rannan siirtymis- tä kuvaaviin korkokuvakarttoihin selänteet hahmot- tuvat maaperämuodostumina huomattavasti parem- min ja varsinkin Ensimmäinen Salpausselkä erit- täin selvästi. Vedenkoskemattomalle alueelle synty- neet selänteet ovat ainekseltaan yleensä moreenia, jossa voi olla myös lajittuneita välikerroksia. Ven- den peittämälle alueelle laakson painanteisiin ker- rostuneet reunaselänteet ja -deltat ovat pääosin so- ra ja hiekkaa. Kolmanteen Salpausselkään (III SS) kuuluvista muodostumista, jotka syntyivät 11 400– 11 300 vuotta sitten, näkyy maalajikartan luoteis- kulmassa vain Pernunnummen deltan karkearakei- set lajittuneet kerrostumat. Karkeita lajittuneita maalajeja (hiekka, sora) edustavia geokemiallisia näytteitä on kerätty sekä harjuista ja rantavoimien

muokkaamista kerrostumista harjujen liepeiltä että I Salpausselän reunamuodostumasta Hyvinkäältä ja Vihdistä.

Etelärannikon vapautuessa mannerjäätiköstä se jäi toistasataa metriä syvän veden, Itämeren varhai- simman vaiheen eli Baltian jääjärven peittoon. Su- lamisvesien jäätiköltä kuljettamasta lietteestä las- keutui tällöin veden pohjalle hienorakeisia lajittu- neita kerrostumia, savea, hiesua ja hienoa hietaa. Ne ovat rakenteeltaan kerrallisia ja ainekseltaan hu- musköyhiä savia, nk. lustosavia. Lustoissa erottuu selvästi tumma hienojakoinen talvikerros (savea) ja paksumpi vaaleahko, talvikerrosta karkeampirakei- nen kevät-kesäkerros (hiesua ja hienoa hietaa). Itä- meren Yoldiameri-vaiheen alkaessa 11 590 vuotta sitten jäätikön reuna oli jo vetäytynyt Toisen Sal- pausselän luoteispuolelle. Veden pinta laski 26–28 metriä, kun Baltian jääjärvi purkautui Ruotsissa Billengeninvuoren pohjoispuolelta avautuneen uo- man kautta valtameren pinnan tasoon. Yoldia-vai- heen aikana maa kohosi nopeasti. Suomen rannikol- la vesi muuttui hitaasti suolaiseksi, koska jäätiköltä virtasi edelleen runsaasti sulavesiä. Niinpä meren pohjalle kerrostui edelleen lustosavia, mutta veden muuttuessa vähäsuolaiseksi murtovedeksi niiden lustorakenteesta tuli epäselvempi. Näitä savia kut- sutaan symmiktisiksi saviksi.

Veden pinta jatkoi laskuaan, kun mannerjään painon alla ollut maankuori nousi, jolloin valtame- reen yhteydessä olleet salmet kuivuivat ja Itämeri patoutui jälleen järveksi. Tämä Ancylusjärvi-vaihe alkoi 10 800 vuotta sitten. Jäätikön reuna jatkoi ve- täytymistään kohti Pohjanlahtea, joka Suomessa on nopeimman maankohoamisen aluetta. Suomenlah- den rannikolla eli hitaamman maankohoamisen alueella vedenpinta puolestaan nousi useita metre- jä. Korkeimmillaan tämä Ancylus-transgressio oli noin 10 000 vuotta sitten (kuva 2). Rannansiirty- miskartasta nähdään, että nykyisen rantaviivan tie- noilla oli Ancylusjärven avovesialuetta ja Ancylus- järven sisäsaariston vedet ulottuivat Karkkilan ja Mäntsälän alueiden eteläosiin saakka. Ancylusjär- ven ylin ranta sijaitsee siten alueella 60–70 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella. Ancylusjärveen kerrostuneet savet ovat tasakoosteisia ja usein sul- fidipitoisia. Paikoin sulfidi on värjännyt saven ai- van mustaksi.

Ancylusjärven vesien edelleen tulviessa Itäme- ren altaan eteläosissa puhkesi Tanskan salmien kautta lasku-uoma valtameren 9 000 vuotta sitten. Mutta kuitenkin vasta noin 8 000 vuotta sitten Itä- meren pääallas täyttyi suolaisella murtovedellä ja siitä alkoi Litorinameri-vaihe. Myös sen alussa ta- pahtui transgressiota (kuva 3) muttei yhtä voimak- kaana kuin Ancylus-vaiheessa. Nykyisen rantavii- van läheisyydessä Litorinameren ylin ranta on noin

30 metriä ja sisämaassa noin 35 metriä meren pinnan yläpuolella. Litorinasavissa on aiemmin kerrostuneisiin saviin verrattuna enemmän orgaanista ainesta, joka antaa niille vihertävän sävyn.

Alueen paksuimmat savikot (yli 30 metriä) ovat etelärannikolla kallioperän murroslaaksoissa, ja niiden kerrossarja voi käsittää parhaimmillaan kaikkina Itämeren vaiheina kerrostuneita savia. Kartta-alueen pohjoisosasta Ancyly- ja Litorinasavet puuttuvat ja luoteiskolkan vedenkoskemattomille maille ei savia ole kerrostunut. Geokemialliset näytteet on otettu korkeintaan 80 cm:n syvyydeltä. Mukana on eri Itämeren vaiheiden aikana kerrostuneita savia.

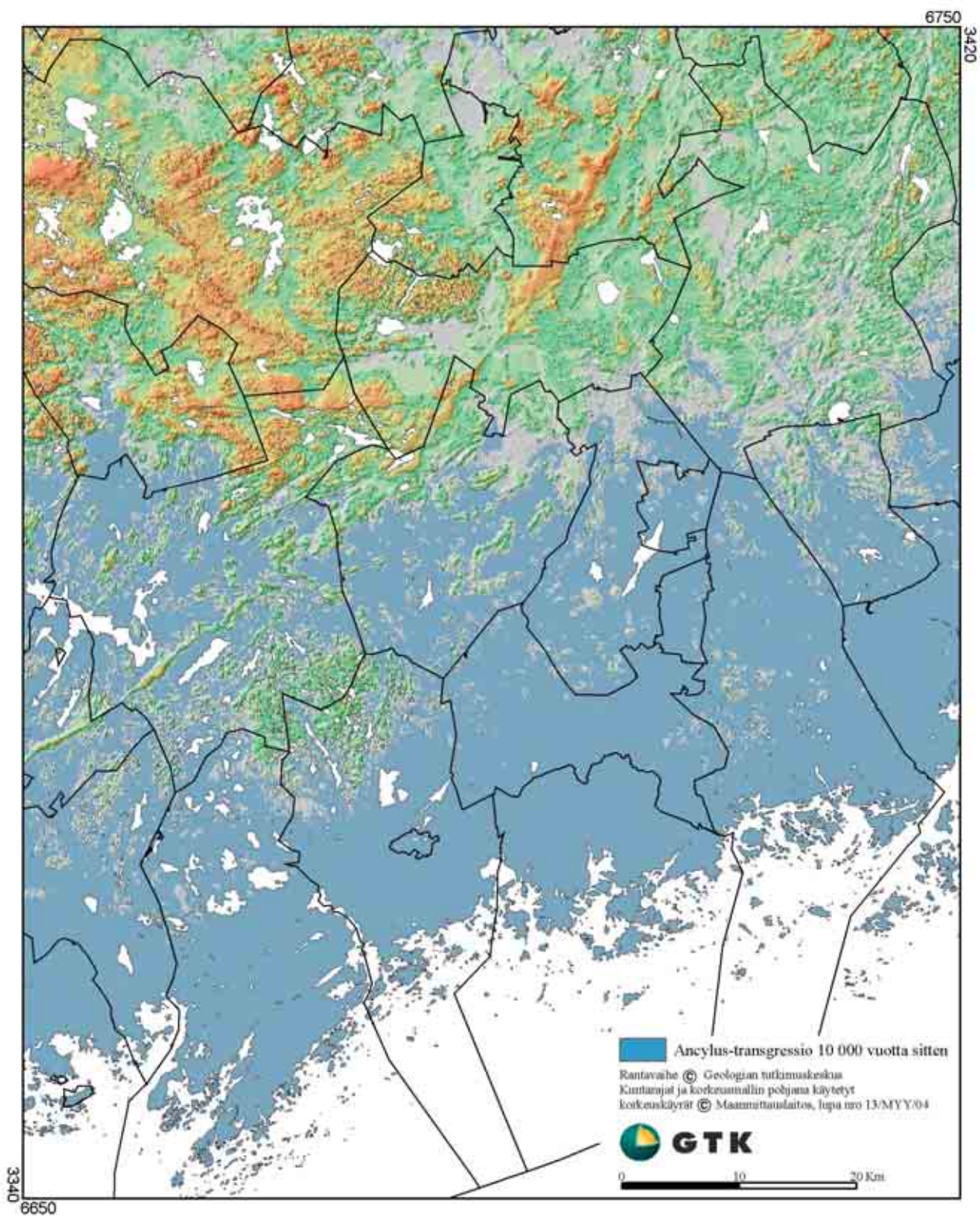
Maaperän yleiskartan maalajijakaumasta pystyy hyvin tulkitsemaan, kuinka jäätikön sulaminen, Itämeren vaiheet ja maankohoaminen ovat vaikuttaneet nykyisen maaperän kehittymiseen. Vedenkoskematonta luoteisosaa lukuun ottamatta jokainen maastokohta joutui vuorollaan läpikäymään ranta-vaiheen noustessaan vedestä. Sitä mukaa kun veden syvyys pieneni maan kohotessa, niin rantavoimat kuluttivat maapeitettä alkaen korkeimmista alueista. Osa huuhtoutuneesta maa-aineksesta kerrostui uudelleen maaston suojaisiin paikkoihin. Laajimmat rantakerrostumat syntyivät ainekseltaan jo valmiiksi lajittuneiden jäätikköjokimuodostumien liepeille. Myös moreenista syntyi paikoin rantakerrostumia, joissa hiekkainen aines kuitenkin on usein huonosti lajittunutta. Ne sijaitsevat yleensä kalliomäkien juurella ja ovat ohuita ja pienialaisia. Myös aiemmin kerrostuneet savialueet joutuivat merivirtausten ja aaltoliikkeen kuluttamiksi. Näin irronnut aines asettui syvänteisiin ja kasvatti niissä jo olevien savikerrostumien paksuutta edelleen. Mäkien savi- ja moreenikerrostumat kuuluivat, ja kalliota paljastui maapeitteen alta. Mäkien huipulle saattoi syntyä ”pirunpeltoja” eli enemmän tai vähemmän pyörityneiden kivien muodostamia kenttiä, kallion juurelle kivikoita tai moreenimäkien sekä harjujen ja reunamuodostumien rinteille rantatörmä merkeinä eri-ikäisistä muinaisrannoista.

Vanhimmat ja ylimpänä sijaitsevat suot alueen luoteisosassa ovat alkaneet kehittyä pian sen jälkeen, kun alue kohosi vedenpinnan yläpuolelle yli 11 000 vuotta sitten. Suot ovat syntyneet pääosin vesistöjen pinnan- tai pohjanmyötäisen umpeenkasvun, metsämaan soistumisen tai muinaisen merenrannan soistumisen seurauksena. Eniten soita ja laajimmat suot sijaitsevat kartta-alueen pohjoisella puoliskolla, joissa myös soiden turvekerrostumilla on ollut eniten aikaa kasvaa paksuutta. Soiden pohjakerrostumat ovat usein liejua, mutta liejukerrostumia syntyy edelleen järvien ja meren lahtien kas-

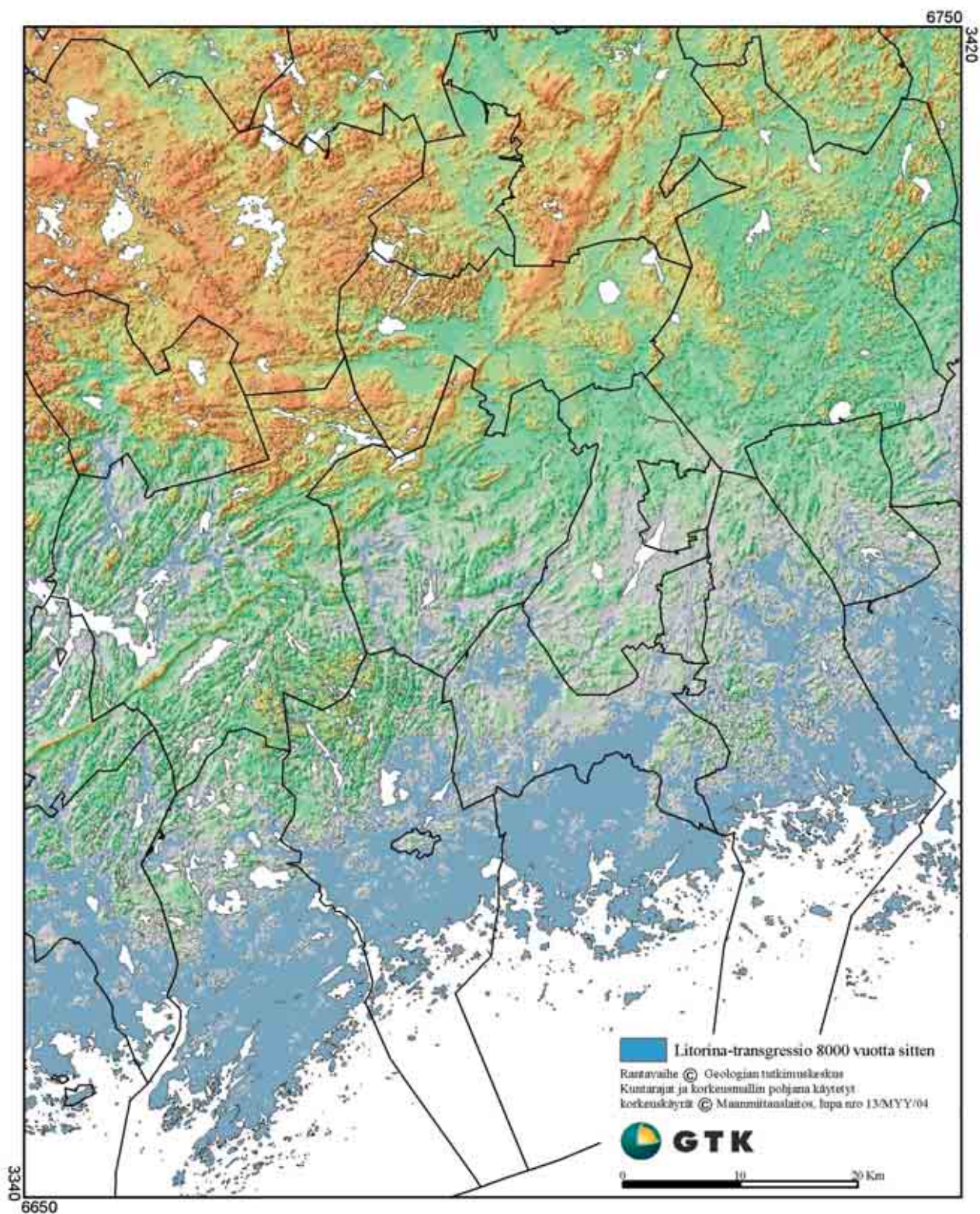
vaassa umpeen. Osa liejukoista voi kehittyä edelleen suoksi. Soistumista tapahtuu jatkuvasti alavilla veden vaivaamilla maille. Pääosa soista on Etelä-Suomen rannikon kilpikeitaita eli kohosoita, ja vain eteläisimmät kartta-alueen suot ovat Saaristo-Suomen laakiokeitaita. Turpeista ja liejusta ei ole kerätty tässä kartoituksessa geokemiallisia näytteitä.

Kallioperän ja kivennäismaalajien jakautumisessa on myös selviä eroja pääkaupunkiseudun kehyskuntien kesken. Kallioisimmat alueet sijoittuvat Kirkkonummen ja Sipoon rannikkovyöhykkeille sekä Nuuksion ylänköalueelle Espoon, Kirkkonummen ja Vihdin rajamaastoon. Rannan siirtymistä kuvaavista korkokuvakartoista välittyy kallioperän rikkonaisuus ruhjeineen ja murrosvyöhykkeineen etenkin ohutpeitteisen maaperän alueilla mutta myös paksujen irtomaiden peittäminä tasaisina laaksoina. Yksi Etelä-Suomen selvimmistä ja pisimmistä murrosvyöhykkeistä on Kirkkonummelta koilliseen suuntautuva Obbnäsin–Lahden murrosvyöhyke. Kehyskuntien laajat savikot puolestaan sijoittuvat kallioisen ranta-alueen pohjoispuolelle Vihdin ja Sipoon pohjoisosiin sekä pääosaan Nurmijärveä, Tuusulaa, Järvenpäästä ja Keravaa. Alueen kivennäismaalajeista yhteiskunnallisesti tärkeimmät hiekka- ja soraesiintymät ovat Ensimmäisellä Salpausselällä, joka kulkee Vihdin poikki ja pitkin Nurmijärven luoteisosaa, sekä Tuusulan kautta luoteeseen jatkuvassa harjujaksossa, joka Nurmijärven itäreunaa myötäillen yhtyy Ensimmäiseen Salpausselkään. Suomen yleisimmän maalajin, moreenin, osuus pintamaalajina sitä vastoin on tällä alueella harvinaisen vähäistä.

Maaperän nykyiseen muutokseen on luonnonvoimien ohella ihmisen toiminnalla suuri vaikutus. Tämä korostuu erityisesti tiheään asutulla pääkaupunkiseudulla, mutta sen vaikutus ulottuu selvästi myös kehyskuntiinkin. Asuinalueiden, teollisuuslaitosten ja liikenneväylien rakentaminen ja niiden maaperän jääminen rakenteiden peittoon muuttavat mm. pohjaveden muodostumisolosuhteita. Maa-ainesten otto, siirto, läjittäminen ja täyttö muuttavat maisemarakennetta mutta myös kasvillisuuden ja eläimistön elinolosuhteita. Vesistöjen tilan muutokseen vaikuttavat mm. tehoviljely lannoituksineen, ojitukset ja matalien vesistöjen kuivatukset. Geologiset muutokset ovat Suomessa edellisiä hitaampia. Esimerkiksi maankohoamista tapahtuu edelleen, mutta pääkaupunkiseudulla enää vain runsaat 20 senttimetriä sadassa vuodessa. Toisaalta ilmaston muutokset saattavat hidastaa merestä paljastuvan maa-alan lisääntymistä, jos ilmasto lämpenee ja mannerjäätiköiden sulaminen nostaa valtamerien pintaa.



Kuva 2. Rantaviivan sijainti tutkimusalueella Ancyclus-transgression aikana n. 10 000 vuotta sitten. Nykyiset järvet ja merialue esitetty valkoisina alueina. Kuntarajat © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MYY/06. Kuvan laatineet: Matti Saarnisto, Kalevi Hokkanen ja Hanna Virkki.
Fig. 2. Extent of postglacial Ancyclus lake ca. 10000 BP. Map composition: Matti Saarnisto, Kalevi Hokkanen and Hanna Virkki.



Kuva 3. Rantaviivan sijainti tutkimusalueella Litorina-transgression aikana n. 8 000 vuotta sitten. Nykyiset järvet ja merialue esitetty valkoisina. Kuntarajat © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MYY/06. Kuvan laatineet: Matti Saarnisto, Kalevi Hokkanen ja Hanna Virkki.
Fig. 3. Extent of postglacial Litorina Sea ca. 8000 BP. Present lakes and sea area shown in white. Map composition: Matti Saarnisto, Kalevi Hokkanen ja Hanna Virkki.

3 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Näytteenotto

Mikael Eklund ja Timo Tarvainen

Näytteenottosuunnitelma laadittiin 1:20 000-mitakaavaisia numeerisia maaperäkarttoja apuna käyttäen. Tutkittavat maalajit valittiin maaperäkarttojen vallitsevien maalajien perusteella. Vuosina 2004–2005 maaperäprofiileja kaivettiin yhteensä 300 kpl (kuva 4). Karkeisiin lajittuneisiin maalajeihin (hiekkä, sora) tehtiin 98 profiilia, moreenimaahan kaivettiin 102 profiilia ja savikoille 100 profiilia. Näistä kaikista kerättiin pintamaanäyte (0–25 cm) ja pohjamaanäyte. Yleisesti ottaen pohjamaa kuvastaa alueen geologiaa, ja pintamaassa ja humuksessa näkyy lisäksi ihmisen aiheuttama hajakuormitus (ilmasta tuleva laskeuma, pelloilla myös lannoitteiden vaikutus). Lisäksi 206 näytestä saatiin humusnäyte. Savikoista suurin osa oli viljeltyjä peltomaita, joten niissä ei ollut luonnollista humuskerrosta.

Näytteenottopaikkoja ei valittu asutuskeskuksista eikä sellaisilta alueilta, joissa voisi olla poikkeuksellisen suurta ihmisen toiminnasta aiheutuvaa kuormitusta. Näytteenottopisteet on valittu samalla menetelmällä, jota käytettiin Porvoon ympäristön tutkimuksessa (Tarvainen ym. 2003).

Hyvinkää–Sipoo-alueelta ei kerätty vuonna 2004 rinnakkaisnäytteitä. Vuoden 2005 näytteenotossa Vihdissä ja Kirkkonummella kerättiin rinnakkaisnäytteet 5 %:ssa näytepaikoista.

Näytteenottomenettely kehitettiin FOREGSin geokemiallisen kartoitushankkeen pohjalta (Salmi ym. 1998). Keskeiset erot FOREGSin näytteenotto-oppaaseen olivat seuraavat: näytemateriaaleina käytettiin vain maaperä- ja humusnäytteitä, näytepaikat valittiin edustamaan eri maalajeja, näytteen koko oli hieman pienempi kuin FOREGSin hankkeessa, maatalousmaita otettiin mukaan, maaperänäytteitä ei otettu kenttäyhdistelmänä 3–5 kuopasta vaan yhdestä kuopasta ja hankkeessa ei käytetty FOREGSin hankkeen kenttäkorttia vaan Porvoon hankkeelle kehitettyä korttia. Näytteenot-

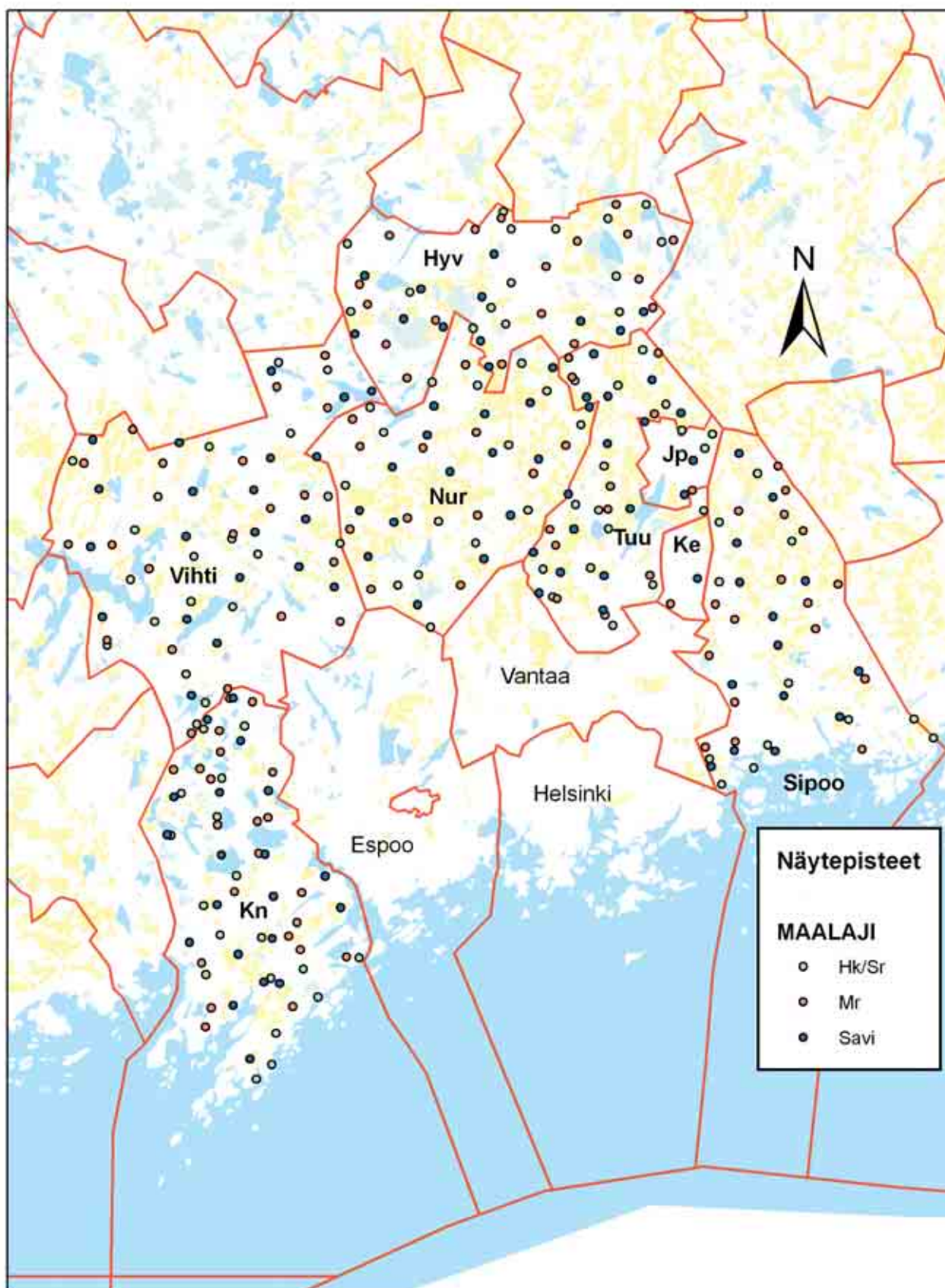
tajat olivat GTK:n geopalveluyksiköstä. Tutkimusassistentti Mikael Eklund ja erikoistutkija Timo Tarvainen antoivat näytteenottajille ohjeistusta.

Humusnäytteet koottiin viidestä osanäytteestä korkeintaan 50 m x 50 m:n alueelta karttaan merkityn tutkimuspisteen ympäriltä. Humusnäytteitä ei voi ottaa kaikista paikoista; esimerkiksi pelloilla varsinaista humuskerrosta ei ehdi muodostua maanmuokkauksen vuoksi. Näytteitä ei kerätty paikallisesta painanteesta. Paras näytteenottopaikka on metsässä oleva pieni aukio puiden välissä. Näytteet kerättiin humusnäytteenottimella, ja näytteenottajat käyttivät talkittomia hansikkaita (kuva 5). Tuorehumus, juuret, kivet ja mineraaliaines poistettiin näytteenottimella otetusta humuskakusta, tumma maatunut humus laitettiin näytepussiin ja toimitettiin laboratorioon kuivattavaksi ja analysoitavaksi.

Pinta- ja pohjamaanäytteet kerättiin kaikista tutkimuspisteistä. Näytteenottokuopat tehtiin lapiolla ja pohjamaanäyte kerättiin kuopasta ennen pintamaanäytettä. Pohjamaanäyte otettiin 25 cm:n paksuisesta kerroksesta muuttumattomasta pohjamaasta (C horisontti), joka on 50–200 cm:n syvyydellä. Yleensä sopiva kerros oli 50–75 cm:n syvyydellä.

Tässä työssä pintamaalla tarkoitetaan mineraalista pintamaata mahdollisen humuskerroksen alla. Näyteeksi valittiin ylin 0–25 cm:n mineraalimaakerros. Pelloilla se on muokkauskerros ja metsässä yhdistelmä vaaleaa (tai humuksen tummaksi värjäämää) huuhtoutumiskerrosta ja ruskeaa rikastumiskerrosta. Näytepussi kerättiin täyteen ympäri kuopan seinämää.

Jokaiselta näytteenottopaikalta otettiin kaksi valokuvaa: toinen yleiskuva maisemasta kuopan ympärillä ja toinen lähikuva kuopasta (esimerkki kuvat 6 ja 7). Näytteitä säilytettiin auringonvalolta suojatuna kylmälaukussa ja näytteet tuotiin GTK:n Espoon laboratorioon yleensä kerran viikossa.



Kuva 4. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien geokemiallisen kartoituksen näytepisteet. Hyv = Hyvinkää, Jp = Järvenpää, Ke = Kerava, Nur = Nurmijärvi, Tuu = Tuusula. Kuntarajat © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MYY/06.

Fig. 4. Sampling sites for baseline geochemical mapping around the Helsinki metropolitan area. Hyv = Hyvinkää, Jp = Järvenpää, Ke = Kerava, Nur = Nurmijärvi, Tuu = Tuusula. Hk/Sr = Sand and gravel; Mr = Till; Savi = Clay



Kuva 5. Humusnäyte näytteenottimen terässä (a) ja siitä erotettu analyysiin menevä osa (b). Valokuva: Timo Tarvainen.
Fig. 5. Humus sampling using cylinder sampler (a) and final humus sample for analysis (b). Photograph: Timo Tarvainen

3.2 Esikäsittelyt ja analytiikka

Virpi Karttunen ja Timo Tarvainen

3.2.1 Mineraalimaanäytteet

Kaikkien maanäytteiden kuivaus aloitettiin mahdollisimman pian niiden laboratorioon saapumisen jälkeen. Mineraalimaanäytteitä kuivattiin lämpökaapissa (< 40 °C:ssa) paperipusseissa noin viikon ajan. Kaikki määritykset tehtiin kuivatuista ja < 2 mm:n fraktioon seulotuista näytteistä.

pH-määrittystä varten näytteet uutettiin 0,01 M CaCl₂:lla (uuttosuhte maankäytteen massa m : liuoksen tilavuus V = 1:4) ja pH määritettiin Radiometer ion 85 pH-mittarilla GTK:n Kuopion laboratoriossa.

Suurinta alkuaineiden pitoisuutta, mikä luonnossa maaperästä äärimmäisen happamissa olosuhteissa voi liueta, arvioitiin uuttamalla (m:V = 1:6) näytteet kuningasvedellä 90 °C:ssa (AR). AR-uutto liuottaa kiteiset saostumamineraalit, sulfidimine-

raalit, sekä useimmat suolat, kuten apatiitin ja titaaniin, osan kiilteistä (biotiitti), talkista ja savimineeraaleista, mutta ei rapautumattomia maasälpä, amfiboleja ja pyrokseeneja. AR-liuotetuille näytteille tehtiin monialkuaineanalyysit ICP-AES:lla (Thermo Jarrel Ash, Iris Advantage (Duo)) ja ICP-MS:lla (Perkin Elmer Sciex Elan 5000). As-pitoisuudet määritettiin GF-AAS:lla (Perkin Elmer SIMAA 6000). Analyysitekniikat ja määritysrajat on esitetty taulukossa 1. Joidenkin alkuaineiden määritysrajoissa oli muutoksia vuoden 2005 analyyseissä.

Elohopeapitoisuus määritettiin seulotusta < 2 mm:n näytteestä pyrolyytisesti Hg-analysaattorilla (AMA 254) GTK:n Kuopion laboratoriossa ja hiilipitoisuus määritettiin jauhetuista näytteistä hiilirikkipitoisuusanalyysaattorilla (Eltra CS500) GTK:n Espoon laboratoriossa.



Kuva 6. Yleiskuva näytteenottopisteen 17 ympäristöstä.
Fig. 6. General view around sampling site number 17 in Nurmijärvi.



Kuva 7. Lähikuva näytteenottokuopasta 17 Nurmijärven Rajamäeltä.
Fig. 7. Close-up of a sampling pit at sampling site number 17, Rajamäki, Nurmijärvi.

3.2.2 Humukset

Humusnäytteitä kuivattiin lämpökaapissa (< 40 °C:ssa) paperipusseissa 1–3 viikkoa. Kuivatut näytteet siirrettiin muovipusseihin ja näytteitä esihionnettiin puristelemalla niitä varovasti käsin näytepussin läpi. Näytteet seulottiin < 2 mm:n fraktioon. Seulonta toistettiin, jotta näytteistä saataisiin poistettua mahdollisimman tarkoin niiden mahdollisesti sisältämä näytteeseen kuulumaton aines (esimerkiksi juuret ja maatumattomat oksankappaleet).

pH-määrittämistä varten näytteet uutettiin 0,01 M CaCl₂:lla (uuttosuhde m:V = 1:4) ja pH määritettiin Radiometer ion 85 pH-mittarilla GTK:n Kuopion laboratoriossa.

Alkuainemäärittämiä varten näytteet uutettiin väkevällä typpihapolla mikroaalto-uunissa (CEM Mars 5). Elohopea määritettiin liuksesta kylmähöyryatomiabsorptiotekniikalla (CV-AAS, Perkin Elmer FIMS 400). Monialkuaineanalyysit tehtiin induktiivisesti kytketyllä plasma-atomiemissiospektrometrillä (ICP-AES, Thermo Jarrel Ash Iris Advantage (Duo)) ja induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometrillä (ICP-MS, Perkin Elmer Sciex Elan 6000).

Hehkutushäviötä varten näytteitä kuivattiin 2 tuntia 105 °C:ssa ja määrittäminen tehtiin 550 °C:ssa ja 850 °C:ssa gravimetrisesti.

Hiilipitoisuus määritettiin Elementar vario MAX CN -analyysointilaitteella tai Eltran CS500 -laitteistolla. Yhteenveto humusnäytteistä tehdystä analytiikasta määrittämisrajoineen on esitetty taulukossa 2. Joidenkin alkuaineiden määrittämisrajoissa oli muutoksia vuoden 2005 analyysissä.

Taulukko 1. Mineraalimaanäytteistä tehdyt alkuainemäärittäykset määrittämisrajoineen (vuoden 2004 analyysit). Mikäli määrittämisraja on ollut erilainen vuoden 2005 analyysissä (Vihti, Kirkkonummi), se on esitetty oikeanpuoleisessa sarakkeessa.

Table 1. Elements and their detection limits in mineral soil samples (analysed in 2004). If the detection limit was different in 2005, the higher limit is shown in the third column.

Alkuaine <i>Element</i>	Määrittämisraja Detection limit (2004–2005) mg/kg	Muuttuneet määrittämisraja Changed detection limit for 2005 (2005) mg/kg	Analyysitekniikka <i>Analytical method</i>
Ag	0,02	0,05	ICP-MS
Al	50		ICP-AES
As	0,1		GF-AAS
B	5		ICP-AES
Ba	1		ICP-AES
Be	0,05		ICP-MS
Bi	0,1		ICP-MS
C	0,02 %		CS-analyysointilaitte
Ca	50		ICP-AES
Cd	0,02	0,1	ICP-MS
Co	0,5		ICP-AES
Cr	1		ICP-AES
Cu	0,5		ICP-MS
Fe	50		ICP-AES
Hg	0,005		Hg-analyysointilaitte
K	50		ICP-AES
Mg	15		ICP-AES
Mn	1		ICP-AES
Mo	0,1	0,2	ICP-MS
Na	30	50	ICP-AES
Ni	2		ICP-AES
P	20		ICP-AES
Pb	0,1		ICP-MS
S	20	50	ICP-AES
Sb	0,02		ICP-MS
Se	1		ICP-MS
Sn	0,1	0,5	ICP-MS
Sr	1		ICP-AES
Ti	2		ICP-AES
Tl	0,1	0,03	ICP-MS
U	0,01		ICP-MS
V	1		ICP-AES
Zn	3		ICP-AES

3.3 Laadunvarmistus

Timo Tarvainen ja Tarja Hatakka

Pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueen näytteenottoa oli edeltänyt pilottitutkimus Porvoon ympäristössä samantyyppisessä geologisessa ympäristössä. Porvoon pilottitutkimuksessa otettiin tasaisesti koko näyteverkoston alueelta 30 näytepaikasta kaksi näytettä (varsinaiset näytteet ja rinnakkaisnäytteet) pinta- ja pohjamaasta, paikoin myös humuksesta. Varsinaiset näytteet ja rinnakkaisnäytteet analysoitiin kaksi kertaa. Näin saatiin 30 havaintopistettä, joista oli 4 mittaus tulosta: varsinaisen näytteen ensimmäinen ja toinen analyysi sekä rinnakkaisnäytteiden ensimmäinen ja toinen analyysi. Näin voitiin verrata näytteenottopisteiden välisten

pitoisuuksien eron merkitsevyyttä verrattuna näytteenotto- ja analyysivirheeseen. Nämä tulokset on raportoitu aiemmin (Tarvainen ym. 2003).

Pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueella tehdyssä tutkimuksessa käytettiin niitä analyysimenetelmiä, joiden tulokset oli todettu hyvin toistettaviksi Porvoon pilottitutkimuksessa. Hyvinkäältä Sipooseen ulottuneelta kartoitusalueelta ei kerätty rinnakkaisnäytteitä. Vihtin ja Kirkkonummen alueelta otettiin kuudesta profiilista (neljästä humusnäytteestä ja kuudesta sekä pinta- että pohjamaanäytteestä eli yhteensä 16 näytteestä) rinnakkaisnäytteet, jotka analysoitiin samaan tapaan kuin

Taulukko 2. Humusnäytteistä tehdyt määritykset määrittäjärajoiheen vuoden 2004 näytteissä. Mikäli määrittäjäraja on poikennut vuoden 2005 näytteissä (Vihti, Kirkkonummi), se on esitetty suluisissa.

Table 2. Elements and detection limits for them in humus samples (analysed in 2004). If the detection limit was different in 2005, the higher limit is shown in parentheses.

Alkuaine tai parametri <i>Element or parameter</i>	Määrittäjäraja <i>Detection limit</i>	Yksikkö <i>Unit</i>	Analyysitekniikka <i>Analytical method</i>
Ag	0,01	mg/kg	ICP-MS
Al	2	mg/kg	ICP-AES
As	0,02	mg/kg	ICP-MS
B	2 (5)	mg/kg	ICP-MS (ICP-AES v. 2005)
Ba	0,05	mg/kg	ICP-MS
Be	0,2 (0,1)	mg/kg	ICP-MS
Bi	0,2 (0,1)	mg/kg	ICP-MS
Br	20	mg/kg	ICP-MS
C	0,02	%	C-analysaattori
Ca	10	mg/kg	ICP-AES
Cd	0,01	mg/kg	ICP-MS
Co	0,02	mg/kg	ICP-MS
Cr	0,2	mg/kg	ICP-MS
Cu	0,02	mg/kg	ICP-MS
Fe	10	mg/kg	ICP-AES
Hg	0,04	mg/kg	CV-AAS
K	50	mg/kg	ICP-AES
Li	0,8 (0,4)	mg/kg	ICP-MS
LOI (550 °C)	0,01	%	
Mg	5	mg/kg	ICP-AES
Mn	1	mg/kg	ICP-AES
Mo	0,01	mg/kg	ICP-MS
N	0,05	%	CN-analysaattori
Na	20	mg/kg	ICP-AES
Ni	0,3	mg/kg	ICP-MS
P	30	mg/kg	ICP-AES
Pb	0,02	mg/kg	ICP-MS
pH	0,1	pH	
Rb	0,01	mg/kg	ICP-MS
S	10	mg/kg	ICP-AES
Sb	0,02	mg/kg	ICP-MS
Se	0,5	mg/kg	ICP-MS
Sn	0,5	mg/kg	ICP-MS
Sr	0,01	mg/kg	ICP-MS
Th	0,02	mg/kg	ICP-MS
Ti	0,5	mg/kg	ICP-AES
Tl	0,01	mg/kg	ICP-MS
U	0,01	mg/kg	ICP-MS
V	0,02	mg/kg	ICP-MS
Zn	0,4	mg/kg	ICP-MS

varsinaiset näytteet. Lisäksi laboratoriossa tehtiin uusintaliuotukset ja -määritykset vähintään 5 %:lle näytteistä.

Mineraalimaan normaalinäytteistä ja rinnakkaisnäytteistä tehtyjä pitoisuusmäärittäjärajoihin verrattiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella ja hajontadiagrammien tarkastelulla. Normaali- ja rinnakkaisnäytteistä analysoidut pitoisuudet korreloivat merkittävästi useimpien alkuaineiden ja muiden parametrien osalta:

pH (0,825**), Ag (0,952**), Al (0,965**), As (0,909**), B (1,00**), Ba (0,932**), Be (0,946**), Bi (0,942**), C (0,986**), Ca (0,958**), Co (0,923**), Cu (0,998**), Fe (0,958**), Hg (0,943**), K (0,923**), Mg (0,811**), Mn (0,923**), Mo (0,863**), Na (0,972**), Ni (0,965**), P (0,944**), Pb (0,939**), S (0,972**), Sb (0,884**), Sn (0,986**), Sr (0,895**), Ti (0,937**), Tl (0,944**), U (0,930**), V (0,930**), Zn (0,972**).

Kadmiumin ja seleenin pitoisuudet olivat enimmäkseen alle määrittäjärajan.

Vuoden 2004 näytteistä löytyi Hyvinkäältä yksi antimonipitoisuudeltaan poikkeava moreenimaan pintamaanäyte. Samalla paikalla ei ollut tavantomaista runsaammin antimonia humuksessa eikä pohjamaanäytteessä. Hyvinkään ympäristösihteerin mukaan alueella ei ole ollut sellaista toimintaa, joka selittäisi kohonneen antimonipitoisuuden. Paikalta otettiin vuonna 2005 uusi näyte ja sen lisäksi samasta maalajimuodostumasta toinen vastaava näyte. Näissä näytteissä ei havaittu poikkeavaa antimonipitoisuutta, joten vuonna 2004 mitattu poikkeama arvioitiin näytteenkäsittelyssä tapahtuneeksi kontaminaatioksi.

3.4 Tilastolliset menetelmät ja karttatuotanto

Timo Tarvainen

Kenttätiedot ja analyysitulokset yhdistettiin SPSS-tilasto-ohjelmalla. Samalla tarkistettiin pitoisuustasot mahdollisten raportointivirheiden havaitsemiseksi ja verrattiin eri analyysierissä käytettyjä määrittäjärajoja.

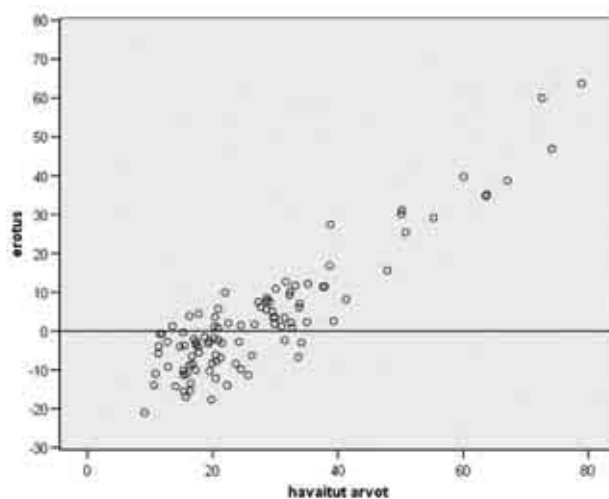
Näytepisteiden sijainti on tarkastettu ArcGIS-ohjelmistolla. Näyteverkko on varsin harva, ja näytteet ovat yhdestä pisteestä kerättyjä näytteitä. Alueellista kartoitusta varten kerättävät näytteet ovat

yleensä kentällä tehtyjä yhdistelmänäytteitä. Yhdistämällä kentällä 3–5 paikasta otettua näytemateriaalia pienennetään paikallista satunnaista vaihtelua, ja yhdistetyt kartoitusnäytteet edustavat siten paremmin laajempaa aluetta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää taustapitoisuuksien vaihteluväli eri näytemateriaaleissa. Yksittäisiin näyteprofiileihin perustuva aineisto antaa paremman kuvan pitoisuuksien minimeistä ja maksimeista, mutta

se soveltuu huonosti alueellisten geokemiallisten karttojen tekemiseen. Siksi tulokset on esitetty maalajikohtaisina taulukkoina, ei karttoina.

GTK on aiemmin tehnyt samalla alueella alueellista geokemiallista kartoitusta käyttäen näytemateriaalina pohjamooreenin < 0,06 mm:n raekokolajitetta (Salminen 1995). Alueellisen kartoituksen tuloksia on esitetty interpoloituina väripintakarttoina. Tämän kartoituksen moreenin pohjamaanäytteiden tuloksia verrattiin alueellisen kartoituksen väripintakarttoihin. Tulokset korreloivat keskenään, mutta pitoisuustasot olivat erilaiset (kuva 8). Eroavaisuuksia on käsitelty luvussa 5.5 Kallioperän vaikutus moreenin pitoisuuksiin.

Joidenkin alkuaineiden määritysrajat olivat erilaiset eri analyysierissä. Tilastollisessa tarkastelussa on käytetty pääasiassa korkeinta määritysrajaa. Joillekin alkuaineille on voitu ilmoittaa minimipitoisuudeksi tieto, että minimi on pienempi kuin alhaisin määritysraja. Tunnuslukujen laskentaa varten alle määritysrajan olleet pitoisuudet on korvattu arvolla, joka on puolet määritysrajasta. Mikäli yli 50 % havainnoista on jäänyt alle määritysrajan, mediaanin on ilmoitettu olevan alle määritysrajan ja aritmeettista keskiarvoa (joka on lähellä määritysrajaa) ei ole ilmoitettu.



Kuva 8. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien aineiston ja alueellisen moreenigeokemiallisen kartoitusaineiston vertailu. Vaaka-akselilla on esitetty sinkkipitoisuus pääkaupunkiseudun kehyskuntien monttunäytteissä (havaitut arvot). Pystyakselilla on esitetty havaitun arvon ja raekokovaikutuksella korjatun, alueellisesta kartasta samalta paikalta saadun arvon (erotus) erotus.

Fig. 8. Comparison between the new samples around the Helsinki metropolitan area and the regional geochemical mapping programme results. The X-axis shows the Zn concentration in the new samples ('havaitut arvot'). The Y-axis shows the difference between the Zn concentration in the new sample and a corrected estimate of the size-fraction effect from the regional mapping data ('erotus').

3.5 GeoTIETO-käyttöliittymä

Timo Tarvainen

GTK on koonnut pääkaupunkiseudun kehyskuntien rakentamista, yhdyskuntasuunnittelua ja ympäristösuunnittelua palvelevaa geologista tietoa Internet-pohjaiseen GeoTIETO-käyttöliittymään (Kuivamäki 2006, <http://geotieto.gtk.fi/>). Pääkaupunkiseudun kehyskuntien geokemiallisen kartoituksen tulokset on esitetty omana karttatasonaan GeoTIETO-käyttöliittymässä. Karttatason pohjana on yleistetty maaperäkartta. Maaperägeologien Jukka Ojalaisen ja Maija Haavisto-Hyvärisen ehdotuksen mukaisesti maalajiluokitus yleistettiin geokemian karttatason varten seuraavasti:

”Karkeat lajittuneet maalajit”: sora, hiekka, karkea hieta

”Savi”: savi, hiesu, hieno hieta

”Moreeni”: moreeni, hienoainesmoreeni, moreenimuodostumat.

Esimerkiksi pilaantuneeksi arvioitua kohdetta tutkittaessa voi käyttöliittymän geokemian karttatasosta katsoa, mille yleistetyille maalajille kohde sijoittuu. Kun käyttäjä klikkaa kyseistä yleistettyä maalajikuviota, ohjelma avaa uuden ikkunan, jossa esitetään taulukkomuodossa kyseiseen maalajiin liittyvät alkuaineiden taustapitoisuudet (minimi, mediaani, keskiarvo ja maksimi) joko Hyvinkäältä Sipooseen ulottuvalla tutkimusalueella tai Vihdin ja Kirkkonummen muodostamalla toisella tutkimusalueella. GeoTIETO-käyttöliittymässä esitetyt taulukot poikkeavat hieman tämän julkaisun pitoisuustaulukoista: GeoTIETO-käyttöliittymää varten tunnusluvut on laskettu erikseen kahtena eri vuonna tehdyille kartoitusalueelle (v. 2004 Hyvinkäältä Sipooseen ulottuva kartoitus ja v. 2005 Vihti ja Kirkkonummi). Tässä julkaisussa esitetään koko aineiston tunnusluvut yhdistettynä.

4 TULOKSET

4.1 Alkuaineiden pitoisuudet eri maalajeissa

Timo Tarvainen ja Eeva Teräsvuori

Pääkaupunkiseudun kehyskuntien geokemiallisessa kartoituksessa on kerätty näytteitä seuraavista maaperäkartoituksessa erotelluista maalajeista: moreenista, karkeista lajittuneista maalajeista (sora, hiekka) ja savesta. Moreeninäytteitä on otettu pohjamoreenin lisäksi moreenimuodostumista. Maaperäkartoissa on esitetty myös paljastuneet tai lähes paljastuneet kalliomaat ja eloperäiset soiden turvekerrostumat, mutta näistä ei kerätty näytteitä tässä tutkimuksessa.

Tutkimusalueella maatalouden piirissä olevat peltomaat sijaitsevat jokilaaksoissa ja ovat pääasiassa vain hieman toisistaan poikkeavia savikoita. Yhteistä niille on saveslajitteen (raekoko < 0,002 mm) runsaus. Moreenit ovat tasaisesti jakautuneet näiden laaksojen ylevämmille laidoille ja kallioalueiden rinteille. Lajittuneet sorat ja hiekat sijaitsevat harjujen ja niistä levinneiden deltamaisen muodostumien yhteydessä.

Ympäristötutkimuksissa mineraalimaalajien alkuainepitoisuuksia määritettäessä analysoidaan usein näytteen < 2 mm:n lajitteesta alkuaineen kuningasveteen liukeneva osa. Tämä osuus kuvastaa alkuaineen maasta luonnonolosuhteissa pitkän ajan kuluessa irtoavaa osuutta. Tässä luvussa tarkastellaan tuloksia, jotka on saatu kuningasvesiuuttoa käyttäen. Kuningasvesiliukoiset pitoisuudet ovat yleensä merkittävästi suurempia kuin kasvien käytössä olevat alkuainepitoisuudet tai pohjaveteen helposti liukenevat pitoisuudet.

Maaperän alkuainepitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi maannostumisprosessi. Ilma, vesi ja ravinteita käyttävät organismit muuttavat maa-aineksen kemiallista koostumusta ja synnyttävät maannoksen. Suomi kuuluu kosteaan ja viileään ilmasto-työhyykkeeseen, jossa sateena maan pinnalle tulevan veden määrä on huomattavasti suurempi kuin siitä haihtuvan, joten maaperän yläosasta liukenevat aineet kulkevat maaperässä pinnalta alaspäin. Tällaisissa ilmasto-olosuhteissa kehittyy ns. podsol-maannos, joka on yleisin maannostyyppi mm. metsäisillä moreenimailla. Podsol on kerroksellinen, yleensä alle puoli metriä paksu maannos, joka kehittyy parhaiten huokosiin, vettä läpäiseviin maalajeihin. Ylin, eloperäinen karikkekerros koostuu lähinnä kasvinjäännteistä, jotka muuttuvat vähitellen humukseksi. Tällöin muodostuu orgaanisia happoja, jotka yhdessä hiilihapon kanssa liuottavat mineraalimaasta mm. rautaa, alumiinia ja muita alkuaineita ja siirtävät niitä maannosprofiilissa alaspäin.

Jäljelle jää tuhkanharmaa, lähinnä kvartssia ja maasälpää sisältävä huuhtoutumiskerros. Sen alaosassa happamuus vähenee ja liunneena kulkeutuneet alkuaineet, lähinnä rauta, alumiini ja orgaaniset yhdisteet, saostuvat rikastumiskerrokseksi. Alaspäin mentäessä rikastumiskerros vaihtuu vähittäin mineraalimaaksi, jossa kemialliset muutokset ovat vähäisiä.

Maakerrostuman pohjaosista otetut mineraalimaanäytteet edustavat yleisesti ottaen alueen kalliope-
rän geologista vaihtelua, pintamaa- ja humusnäyt-
teissä näkyy lisäksi ihmistoiminnan ja maannostu-
misen vaikutus. Humusnäytteiden pitoisuuksissa korostuu selvemmin ilmaperäisen kuormituksen vaikutus (esim. liikenteen ja teollisuuden päästöt), ja pintamaanäytteiden pitoisuuksiin vaikuttaa lisäksi muu ihmistoiminta mm. metsien ja peltojen lan-
noitus.

Alkuaineiden esiintymistä eri maalajeissa pinta- ja pohjamaassa on tarkasteltu tässä tutkimuksessa erikseen. Ulkoisten maaperää muuttavien tekijöiden vaikutukset näkyvät maan pintaosissa, kun taas syvemmillä maaperän laatu säilyy pitempään muuttumattomana. Taulukossa 3 on yhteenveto alkuaineiden esiintymisestä maaperän pinta- ja pohjamaanäytteissä alle 2 mm:n lajitteessa. Eri alkuaineiden pitoisuudet on määritetty kuningasvesiuutosta (AR).

Alkuaineiden pitoisuuserot eri maalajeissa ovat selviä. Mediaaniarvoja vertailemalla saadaan asiasta luotettava kuva, eivätkä yksittäiset, muusta aineis-
tosta suuresti poikkeavat arvot vaikuta tulokseen.

Suurimmat alkuainepitoisuudet ovat niin pinta-
maan kuin pohjamaanakin savinäytteissä elohopea-,
hiili- ja rikkipitoisuutta lukuun ottamatta. Pohja-
maassa elohopean, hiilen ja rikin korkein mediaani-
arvo on moreenimailla, tosin ero savien vastaaviin
mediaanipitoisuuksiin on pieni. Yleensä saven al-
kuainepitoisuudet ovat moninkertaiset moreenin ja
karkeiden lajittuneiden aineiden vastaaviin pitoi-
suuksiin verrattuna. Seuraavaksi suurimmat ovat
moreenien alkuainepitoisuudet. Pienimmät pitoi-
suudet ovat lajittuneissa mineraalimaanäytteissä.
Poikkeuksena on fosfori, sillä sitä on karkeiden la-
jittuneiden mineraalimaiden pintaosissa enemmän
kuin moreenissa.

Maaperän pilaantuneisuuden ja kunnostustar-
peen arvioinnissa on aiemmin käytetty ns. Samase-
ohje- ja raja-arvoja (Jeltsch ja Pyy 1994). Osa Sam-
ase-ohje-arvoista on ollut pääkaupunkiseudun kehys-

Taulukko 3. Maaperänäytteiden alkuainepitoisuudet maalajeittain pinta- ja pohjamaassa pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueella vuosina 2004–2005. Pitoisuudet on määritetty kuningasvesiutosta (AR) < 2 mm:n laitteesta. Min. = Minimi, Med. = Mediaani, Ka. = Aritmeettinen keskiarvo, Maks. = Maksimi.

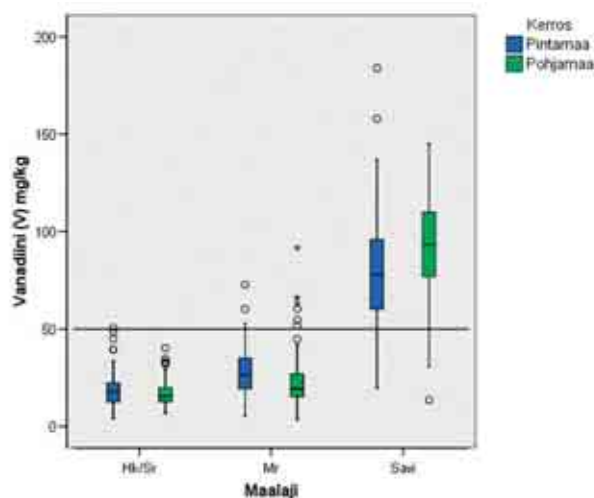
Table 3. Chemical composition of topsoil ('pintamaa') and subsoil ('pohjamaa') samples around the Helsinki metropolitan area in 2004–2005. Aqua regia extraction from <2 mm size fraction. Ka. = Arithmetic mean, Maks = Maximum. Commas used in the tables instead of decimal points.

Alkuaine Element	Hiekka/Sora Sand/Gravel				Moreeni Till				Savi Clay			
	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg
Näytepisteiden lkm Number of samples	98	98	98	98	102	102	102	102	100	100	100	100
Hopea (Ag)												
Pintamaa	<0,02	<0,05		0,130	<0,02	0,060	0,057	0,200	<0,05	0,110	0,118	0,390
Pohjamaa	<0,02	<0,05		0,180	<0,02	<0,05		0,160	<0,05	0,120	0,127	0,250
Alumiini (Al)												
Pintamaa	2 780	9 305	9 228	22 100	3 280	11 350	12 468	31 500	7 060	24 700	26 002	49 500
Pohjamaa	3 090	6 580	7 113	15 900	2 840	9 820	10 777	39 500	4 830	32 800	31 460	48 700
Arseeni (As)												
Pintamaa	0,587	2,15	2,66	22,3	0,890	2,72	3,05	14,1	1,83	6,59	6,85	17,0
Pohjamaa	0,558	2,47	2,69	8,21	0,963	2,83	3,28	17,1	1,86	7,62	8,16	18,6
Boori (B)												
Pintamaa	<5	<5		10,4	<5	<5		5,45	<5	7,17	8,42	31,1
Pohjamaa	<5	<5		5,64	<5	<5		6,52	<5	9,25	10,6	42,3
Barium (Ba)												
Pintamaa	7,44	18,6	21,1	70,5	8,87	26,3	31,0	93,6	29,8	135	138	305
Pohjamaa	8,56	21,9	23,0	74,3	7,30	23,3	31,1	154	16,0	190	188	352
Beryllium (Be)												
Pintamaa	<0,05	0,275	0,285	0,720	0,050	0,350	0,403	1,80	0,250	1,00	1,05	2,14
Pohjamaa	0,060	0,240	0,251	0,840	<0,05	0,290	0,353	1,43	0,160	1,24	1,24	2,21
Vismutti (Bi)												
Pintamaa	<0,1	0,120	0,147	0,580	<0,1	0,130	0,179	1,87	0,130	0,290	0,294	0,560
Pohjamaa	<0,1	<0,1		0,410	<0,1	0,120	0,143	0,780	<0,1	0,380	0,368	0,530
Kalsium (Ca)												
Pintamaa	158	712	901	2 560	274	861	989	2 790	1 050	3 445	3 598	8 280
Pohjamaa	527	1 135	1 266	3 290	403	1 190	1 274	2 740	1 560	4 710	4 684	7 480
Kadmium (Cd)												
Pintamaa	<0,1	<0,1		0,120	<0,02	<0,1		0,180	<0,1	0,140	0,157	0,530
Pohjamaa	<0,1	<0,1		0,090	<0,02	<0,1		0,140	<0,1	<0,1		0,220
Koboltti (Co)												
Pintamaa	1,27	3,26	3,98	13,4	1,56	5,38	6,16	20,3	3,92	17,0	17,7	44,9
Pohjamaa	1,66	3,90	4,21	9,72	1,13	4,85	5,64	18,9	3,09	22,5	21,1	35,0
Kromi (Cr)												
Pintamaa	2,77	10,5	11,4	37,7	4,46	16,8	18,6	107	13,8	57,4	58,6	110
Pohjamaa	3,95	10,9	12,2	34,3	1,40	13,9	17,7	66,6	8,95	76,0	75,1	118
Kupari (Cu)												
Pintamaa	1,10	5,03	6,69	47,2	1,77	6,91	8,08	23,6	7,02	27,1	29,4	78,6
Pohjamaa	1,30	9,41	10,9	62,5	1,73	11,1	12,4	46,4	7,66	41,6	42,8	86,1
Rauta (Fe)												
Pintamaa	4 090	10 400	11 095	30 600	5 010	15 050	15 474	33 000	9 910	38 300	38 923	98 900
Pohjamaa	4 230	9 025	9 588	19 500	4 810	10 800	12 282	40 700	7 120	48 700	48 569	79 400
Elohopea (Hg) *												
Pintamaa	<0,005	0,016	0,017	0,043	<0,005	0,029	0,029	0,070	0,005	0,034	0,043	0,282
Pohjamaa	<0,005	<0,005	0,006	0,060	<0,005	0,012	0,014	0,039	<0,005	0,008	0,009	0,028
Kalium (K)												
Pintamaa	134	439	538	2 480	165	525	694	3 040	753	5 120	4 987	9 900
Pohjamaa	195	797	893	3 160	257	847	1 116	5 820	821	7 830	7 876	14 000
Magnesium (Mg)												
Pintamaa	426	1 825	2 007	7 360	616	2 445	2 672	7 780	2 580	8 885	8 945	17 600
Pohjamaa	933	2 525	2 636	6 600	483	2 630	3 145	10 800	1 930	12 900	12 962	21 300
Mangaani (Mn)												
Pintamaa	19,6	88,4	113	718	25,3	117	153	819	117	452	488	1 260
Pohjamaa	37,7	82,0	90,1	245	30,7	88,1	110	365	75,6	489	478	863
Molybdeeni (Mo)												
Pintamaa	<0,2	0,240	0,282	0,650	<0,2	0,565	0,601	1,98	0,270	1,15	1,22	3,03
Pohjamaa	<0,2	0,200	0,236	0,690	<0,2	0,350	0,446	1,92	0,200	0,880	1,06	4,34
Natrium (Na)												
Pintamaa	<50	74,6	91,1	370	<50	84,8	95,6	288	85,6	214	228	562
Pohjamaa	59,2	90,9	122	426	<50	111	118	361	119	415	456	1 360

Alkuaine <i>Element</i>	Hiekka/Sora <i>Sand/Gravel</i>				Moreeni <i>Till</i>				Savi <i>Clay</i>			
	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg	Min. mg/kg	Med. mg/kg	Ka. mg/kg	Maks. mg/kg
Näytepisteiden lkm <i>Number of samples</i>	98	98	98	98	102	102	102	102	100	100	100	100
Nikkeli (Ni)												
Pintamaa	<2	5,39	6,61	31,5	<2	8,03	9,25	24,4	6,83	26,4	27,5	63,7
Pohjamaa	2,01	7,10	8,30	28,9	<2	10,0	11,1	33,3	5,33	38,0	39,4	70,7
Fosfori (P)												
Pintamaa	55,0	409	490	1 790	47,8	274	367	1 380	155	600	653	1 460
Pohjamaa	107	279	305	926	105	307	331	1 970	214	563	556	960
Lyijy (Pb)												
Pintamaa	<5	5,44	5,73	12,8	<5	7,72	8,20	22,4	5,94	19,1	19,6	52,9
Pohjamaa	<5	<5		9,48	<5	<5		21,9	<5	16,8	17,2	35,6
Rikki (S)												
Pintamaa	<50	99,2	115	323	<50	152	173	524	<50	216	264	1 730
Pohjamaa	<50	<50		232	<50	88,6	107	414	<50	67,5	140	3 100
Antimoni (Sb)												
Pintamaa	<0,02	0,080	0,086	0,190	<0,02	0,110	0,112	0,310	<0,02	0,170	0,189	1,16
Pohjamaa	<0,02	0,040	0,045	0,120	<0,02	0,060	0,064	0,160	<0,02	0,160	0,161	0,290
Seleni (Se)												
Pintamaa	<1	<1		<1	<1	<1		1,20	<1	<1		1,29
Pohjamaa	<1	<1		<1	<1	<1		<1	<1	<1		1,35
Tina (Sn)												
Pintamaa	<0,5	0,500	0,528	1,34	<0,5	0,660	0,802	2,50	0,760	1,92	2,09	6,23
Pohjamaa	<0,5	<0,5		0,930	<0,5	0,540	0,613	2,58	<0,5	2,20	2,22	3,58
Strontium (Sr)												
Pintamaa	1,77	4,91	5,44	16,3	1,91	5,49	6,12	15,3	6,05	27,3	26,7	49,8
Pohjamaa	2,77	5,60	6,27	14,7	1,79	5,75	6,42	15,6	8,77	31,9	31,7	51,9
Titaani (Ti)												
Pintamaa	162	460	521	1 920	279	776	838	2 070	564	1 715	1 734	2 950
Pohjamaa	254	488	517	1 240	146	650	757	2 470	479	2 370	2 344	3 300
Tallium (Tl)												
Pintamaa	<0,03	<0,1		0,250	<0,03	<0,1		0,370	<0,03	0,475	0,454	0,790
Pohjamaa	<0,03	<0,1		0,270	<0,03	<0,1		0,820	<0,03	0,610	0,576	0,870
Uraani (U)												
Pintamaa	0,270	0,935	1,00	2,56	0,530	1,33	1,63	8,13	1,61	4,21	5,24	24,4
Pohjamaa	0,480	1,15	1,39	12,1	0,660	1,61	2,14	8,17	1,61	5,00	5,56	12,6
Vanadiini (V)												
Pintamaa	4,16	17,6	19,1	50,6	5,32	26,4	28,3	72,8	19,6	77,9	78,7	184
Pohjamaa	6,85	15,5	17,1	40,1	3,34	19,3	23,4	91,7	13,5	93,3	93,2	145
Sinkki (Zn)												
Pintamaa	6,74	27,5	31,8	96,6	7,98	34,9	39,2	109	30,4	104	110	808
Pohjamaa	7,52	20,1	21,9	60,5	9,14	22,5	27,6	78,9	16,2	108	109	175
Analyysitulokset muussa yksikössä kuin mg/kg												
pH												
Pintamaa	3,76	4,54	4,54	5,41	3,83	4,45	4,45	5,28	4,11	5,00	4,96	6,29
Pohjamaa	4,39	5,02	5,00	6,07	4,11	4,76	4,77	5,51	3,54	5,52	5,43	6,58
Hiili (C) %												
Pintamaa	0,080	0,995	1,07	3,37	0,266	1,76	1,81	5,04	0,369	2,55	2,76	16,0
Pohjamaa	0,033	0,169	0,239	1,01	0,108	0,450	0,562	2,77	0,106	0,391	0,616	4,13

* Elohopean arvot on laskettu 206 näytteen perusteella, joiden määrittäysraja oli < 0,005 mg/kg. Näistä näytteistä 66 kpl on otettu hiekka/sora-alueelta, 70 kpl moreenialueelta ja 70 kpl savialueelta. *Statistics for Hg are based on 206 samples with a detection limit of 0.005 mg kg⁻¹.*

kunnille pieniä taustapitoisuuksiin verrattuna. Vanhat ohjearvot ylittyivät taustanäytteissä useimmin savikoilla. Ylityksiä oli seuraavien alkuaineiden taustapitoisuuksissa: arseeni, beryllium, boori, elohopea, kadmium, kromi, nikkeli, seleeni, tallium, sinkki ja vanadiini. Ylitysten lukumäärät on esitetty taulukossa 4. Esimerkiksi kuvan 9 perusteella vanadiinin vanha ohjearvo 50 mg kg^{-1} ylittyi lähes aina savikoilla. Ylitykset ovat yleisiä myös muualla Suomessa (esim. Tarvainen 1996, Heikkinen 2000, Lintinen & Savolainen 2001, Lintinen & Tarvainen 2004).



Kuva 9. Vanadiinin pitoisuusjakauma eri maalajeissa pinta- ja pohjamaassa. SAMASE-ohjearvo 50 mg kg^{-1} esitetty viivana.

Fig. 9. Distribution of vanadium in different soil types in topsoils (blue) and subsoil (green). Hk/Sr = Sand and gravel; Mr = Till; Savi = Clay. Line = Guide value 50 mg kg^{-1}

Taulukko 4. Ns. SAMASE-ohjearvojen (Jeltsch & Pyy 1994) ylitykset pääkaupunkiseudun kehyskuntien taustanäytteissä 2004–2005.
Table 4. Exceedence of SAMASE-guide values (Jeltsch & Pyy 1994) in the baseline samples around the Helsinki metropolitan area 2004–2005.

Alkuaine Element	Ohjearvo Guide value mg/kg	Pintamaa/Topsoil			Pohjamaa/Subsoil		
		Hiekka/sora Sand/gravel	Moreeni Till	Savi Clay	Hiekka/sora Sand/gravel	Moreeni Till	Savi Clay
As	10	1	1	14	0	1	23
B	5	1	4	78	1	6	88
Ba	600	0	0	0	0	0	0
Be	1	0	2	49	0	2	72
Cd	0,5	0	0	2	0	0	0
Co	50	0	0	0	0	0	0
Cr	100	0	1	6	0	0	17
Cu	100	0	0	0	0	0	0
Hg	0,2	0	0	2	0	0	0
Mo	5	0	0	0	0	0	0
Ni	60	0	0	1	0	0	13
Pb	60	0	0	0	0	0	0
Sb	5	0	0	0	0	0	0
Se	1	0	1	3	0	0	4
Sn	50	0	0	0	0	0	0
Tl	0,5	0	0	41	0	2	79
U	50	0	0	0	0	0	0
V	50	1	5	86	0	6	94
Zn	150	0	0	10	0	0	15
Näyttemäärä Number of samples		98	102	100	98	102	100

4.2 Alkuaineiden pitoisuudet humuksessa

Timo Tarvainen ja Eeva Teräsvuori

Humusnäytteitä otettiin tutkimusalueelta yhteensä 206 kpl. Peltomailla varsinaista luontaista humuskerrosta ei muodostu maanmuokkaustoimenpiteiden vuoksi, ja näin ollen kaikki humusnäytteet on otettu metsäalueilta. Humusnäytteiden analyysitulosten tunnuslukuja on esitetty taulukossa 5. Taulukossa on esitetty myös koko maan alueelta

kerätyistä humusnäytteistä analysoitujen parametrien mediaanit (Salminen ym. 2003).

Koko maan humusnäytteiden hiilen mediaaniarvot ovat suuremmat kuin Vihdin ja Sipoon alueella keskimäärin. Runsas orgaanisen aineksen määrä sitoo hyvin aineita ja estää siten niiden huuhtoutumisen alempiin maakerroksiin. Pääkaupunkiseudun

kehyskuntien alueelle kohdistuu koko maahan verrattuna suurempi teollisuuden ja liikenteen päästöjen kuormitus, joka havaitaan korkeampina alkuainepitoisuuksina myös humusnäytteissä. Suuri orgaanisen aineksen määrä humuksessa sitoo hyvin raskasmetalleja, mm. myrkyllisistä aineista elohopeaa, lyijyä ja kadmiumia.

Humusnäytteiden hiilipitoisuudella on tilastollisesti merkittävä positiivinen korrelaatio kadmiumin (0,292**), elohopean (0,672**), molybdeenin (0,258**), fosforin (0,348**), rikin (0,812**) antimonin (0,500**) ja seleenin (0,194**) kanssa.

Negatiivisesti hiilipitoisuus korreloi alumiinin (-0,620**), arseenin (-0,247**), berylliumin (-0,387**), koboltin (-0,387**), kromin (-0,526**), raudan (-0,635**), litiumin (-0,670**), magnesiumin (-0,508**), mangaanin (-0,310**), natriumin (-0,335**), rubidiumin (-0,470**), toriumin (-0,511**), uraanin (-0,377**), titaanin (-0,650**) sekä vanadiinin (-0,414**) kanssa. Ne näytteet, joiden hiilipitoisuus ja hehikutushäviö ovat pieniä, eivät koostu pelkästään pitkälle maatuneesta humuksesta, vaan niihin on sekoittunut runsaasti mineraaliainesta, mikä selittää mm. alumiinin ja hehikutushäviön välisen negatiivisen korrelaation. Samoin happamuudella

Taulukko 5. Humusnäytteiden analyysitulosten tunnuslukuja pääkaupunkiseudun kehyskunnissa vuosina 2004–2005 ja koko maassa (Salminen et al. 2003). Ka. = aritmeettinen keskiarvo, Med. = mediaani.

Table 5. Chemical composition of humus around the Helsinki metropolitan area in 2004–2005 and in the whole country (Salminen et al. 2003). Ka. = Arithmetic mean, Maks = Maximum.

Alkuaine, ominaisuus Element	Pääkaupunkiseudun kehyskunnat Around the Helsinki metropolitan area				Koko maa Finland
	Min.	Med.	Ka.	Maks.	Med.
Näytteiden lukumäärä Number of samples	206	206	206	206	288
Hoepä (Ag) mg/kg	0,090	0,180	0,191	0,460	0,2
Alumiini (Al) mg/kg	1 180	3 390	4 056	16 000	1 960
Arseeni (As) mg/kg	0,820	2,04	2,12	4,62	1,3
Boori (B) mg/kg	<2	4,33	4,51	11,0	5
Barium (Ba) mg/kg	28,5	74,1	79,9	202	79,6
Beryllium (Be) mg/kg	<0,02	0,130	0,147	1,31	0,04
Vismutti (Bi) mg/kg	<0,1	0,250	0,253	0,530	0,21
Bromi (Br) mg/kg *	<20	35,6	50,9	280	26,7
Hiili (C) %	9,05	36,4	34,4	50,1	40,5
Kalsium (Ca) mg/kg	1 200	4 105	4 264	10 600	2 610
Kadmium (Cd) mg/kg	0,140	0,370	0,398	1,01	0,32
Koboltti (Co) mg/kg	0,540	1,40	2,11	23,5	1,1
Kromi (Cr) mg/kg	3,08	7,22	8,50	33,5	3,9
Kupari (Cu) mg/kg	5,40	9,30	9,95	28,1	7,9
Rauta (Fe) mg/kg	1 570	4 435	5 336	20 600	2 250
Elohopea (Hg) mg/kg	0,043	0,205	0,203	0,374	0,18
Kalium (K) mg/kg	581	1 020	1 118	4 560	927
Litium (Li) mg/kg	<0,8	2,45	3,63	20,2	0,6
Magnesium (Mg) mg/kg	341	792	1 112	7 310	531
Mangaani (Mn) mg/kg	47,9	303	425	2 110	187
Molybdeeni (Mo) mg/kg	0,260	0,650	0,676	2,55	0,4
Natrium (Na) mg/kg	45,3	94,5	100	200	50
Nikkeli (Ni) mg/kg	3,65	6,89	7,45	19,30	4,6
Fosfori (P) mg/kg	409	868	878	1 670	742
Lyijy (Pb) mg/kg	9,36	48,9	55,6	468	30,8
Rubidium (Rb) mg/kg	4,07	9,90	11,7	50,7	7,4
Rikki (S) mg/kg	448	1 550	1 518	2 590	1 230
Antimoni (Sb) mg/kg	0,040	0,420	0,456	2,48	0,24
Seleenin (Se) mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	0,980	0,5
Pii (Si) mg/kg *	338	703	698	1 270	-
Tina (Sn) mg/kg *	<0,5	1,51	1,76	10,0	0,49
Strontium (Sr) mg/kg	9,59	24,5	27,3	78,0	22,4
Torium (Th) mg/kg	0,530	2,26	2,94	20,1	0,69
Titaani (Ti) mg/kg	101	294	367	1 650	176
Tallium (Tl) mg/kg	0,100	0,210	0,213	0,380	0,15
Uraani (U) mg/kg	0,200	0,660	0,765	3,88	0,19
Vanadiini (V) mg/kg	6,36	14,7	15,9	44,3	6,9
Sinkki (Zn) mg/kg	28,7	62,5	68,4	264	40,5
pH	2,81	3,38	3,48	5,37	-
Hehikutushäviö (LOIX) %	17,6	70,6	66,5	94,5	-

* Tina (Sn) ja bromi (Br) mukana vain vuoden 2004 määrittelyissä (126 kpl) ja pii (Si) vain vuoden 2005 määrittelyissä (80 kpl). Sn and Br available only from 2004 samples (126 samples) and Si only from 2005 samples (80 samples)

on merkittävä negatiivinen korrelaatio hehkutushäviön kanssa (-0,608**): kun orgaanista hiiltä on humuksessa vähän, humushappoja muodostuu vähän ja pH pysyy korkeampana. Tämä vaikuttaa mm. alumiinin, raudan ja magnesiumin liukoisuuksiin.

Humuksen kadmium-, fosfori-, lyijy- ja rikki-määrät ovat suurempia kuin mineraalimaan määrät painoyksikköä kohden.

5 POHDINTA

5.1 Metsämaiden maaperä

Jaana Jarva ja Timo Tarvainen

Metsämaaperä on puiden, muun kasvillisuuden ja maaperäeliöstön kasvupaikka, pohjaveden muodostaja, hiilen nielu sekä ravinteiden varasto ja lähde. EU:ssa valmistumassa olevan maaperänsuojelu-strategian luettelemista kahdeksasta maaperää uhkaavasta tekijästä Suomen kannalta oleellisia ovat maaperän pilaantuminen (paikallinen ja hajakuormitus), eroosio, orgaanisen aineksen väheneminen sekä maaperän biologisen monimuotoisuuden väheneminen (Hetemäki ym. 2006).

Suomen metsämailla maaperän suoranainen pilaantuminen on paikallinen ongelma epäpuhtauslähteiden välittömässä ympäristössä. Hajakuormitus, joka kohdistuu laajoille metsäalueille, koskee lähinnä rikin ja typen yhdisteitä, hapanta laskeumaa sekä raskasmetalleja. (Hetemäki ym. 2006.)

Raskasmetallilaskeumaa on tutkittu Metsäntutkimuslaitoksessa (Metla) metsäsammalnäytteistä 1980-luvun puolivälistä alkaen. Sammalten käyttöön perustuva raskasmetallilaskeuman tutkimusmenetelmä perustuu siihen, että metsäsammalet ottavat ravinteita suoraan sadevedestä sekä ilman kautta leviävistä, sammalten pintaan kiinnittyvistä hiukkasista ja suodattavat samalla itseensä ilman epäpuhtauksia. Tutkittuja metalleja ovat olleet arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli, rauta, sinkki ja vanadiini. Tulosten perusteella kaikkien tutkittujen metallien pitoisuudet ovat pienentyneet tarkastelujakson (1985–2000) aikana (Piispanen 2001). Sammalista kerätään näytteeseen yleensä kolme vuoden kasvuosuus, joten sammal sopii muutaman vuoden välein tehtävään seurantaan. Pääkaupunkiseudun kehyskunnista kerätyt humusnäytteet kuvastavat pitempiaikaista ilmasta tulevaa laskeumaa.

Metlan nk. valtakunnallisessa metsäinventoinnissa on 488 pysyvää tutkimuspistettä, joista on otettu näytteitä vuosina 1986–1989 ja 1995. Näytematriisina tässä tutkimuksessa on orgaanisen kerroksen lisäksi 0–5, 5–20, 20–40 ja 60–70 cm:n mineraalimaakerrokset (Tamminen 2000). Näytteenotossa on käytetty maaperän seurantamenetelmää, joka perustuu kansainvälisen metsämaiden tilaa

seuraavan ICP Forest -ohjelman suosituksiin (Vanmechelen ym. 1997). Tässä seurantamenetelmässä näytteitä otetaan havaintopisteiden ympärille tehdyn säteeltään noin 11-metrinen ympyrän kehältä kymmenestä eri kohdasta (mineraalimaanäytteet viidestä eri kohdasta) ja näytteet yhdistetään yhdeksi kokoomanäytteeksi (Tamminen 2000). Tutkimustulosten mukaan Suomessa raskasmetallien pitoisuudet metsämaan orgaanisessa kerroksessa ovat keskimäärin vähäiset verrattuna esimerkiksi Saksassa tehdyn tutkimuksen vastaaviin pitoisuuksiin. Kohonneita raskasmetallien pitoisuuksia on kuitenkin mm. Harjavallan ympäristössä. Yleisesti kad-

Taulukko 6. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien metsäalueilta vuosina 2004–2005 otettujen pohjamaanäytteiden mediaaniarvot, Porvoon (Tarvainen ym. 2003) metsäalueilta otettujen pohjamaanäytteiden mediaaniarvot ja koko maasta kerättyjen pohjamaanäytteiden mediaaniarvot (Tarvainen 1995). Pitoisuudet määritetty ICP-AES:llä ja ICP-MS:llä kuningasvesiuutosta (AR) < 2 mm:n lajitteesta.

Table 6. Median values for forest subsoil samples around the Helsinki metropolitan area 2004-2005, around the City of Porvoo (Tarvainen et al. 2003) and the whole country (Tarvainen 2006). Aqua regia extraction from <2 mm size fraction.

Alkuaine <i>Element</i>	Pääkaupunkiseudun kehyskunnat, <i>Around the Helsinki metropolitan area</i> Med. mg/kg	Porvoo, Med. mg/kg	Koko maa, <i>Finland</i> Med. mg/kg
Näyttemäärä <i>Number of samples</i>	211	72	638
Alumiini (Al)	8 680	8 855	8 490
Arseni (As)	2,81	-	-
Barium (Ba)	23,3	28,5	43,4
Kalsium (Ca)	1 210	1 390	1 530
Koboltti (Co)	4,63	4,8	4,1
Kromi (Cr)	13,5	15,4	17,7
Kupari (Cu)	10,8	8,3	11,5
Rauta (Fe)	10 300	13 700	11 800
Kalium (K)	849	1 080	1 250
Magnesium (Mg)	2 690	3 405	2 640
Mangaani (Mn)	90,5	125	115
Natrium (Na)	104	86,5	368
Fosfori (P)	300	376	374
Strontium (Sr)	5,88	7,4	7,7
Titaani (Ti)	582	605	786
Vanadiini (V)	18,4	20,1	22,6
Sinkki (Zn)	22,5	34,1	22,1

- ei analyysitulosta *missing data*

Taulukko 7. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien metsämailta vuosina 2004–2005 otettujen pinta- ja pohjamaanäytteiden sekä peltomailta otettujen pintamaanäytteiden alkuainepitoisuuksien mediaaniarvoja. Kuningasvesiuutto < 2 mm:n raekokolajitteesta.

Table 7. Median values for forest topsoil, forest subsoil and arable land topsoil samples around the Helsinki metropolitan area in 2004–2005. Aqua regia extraction from <2 mm size fraction.

Alkuaine Element	Pääkaupunkiseudun kehyskunnat		
	pintamaa, metsä Topsoil, forest Med. mg/kg	pohjamaa, metsä Subsoil, forest Med. mg/kg	pintamaa, pelto Topsoil, arable land Med. mg/kg
Näyttemäärä Number of samples	215	211	80
Alumiini (Al)	10 700	8 680	24 700
Arseni (As)	2,57	2,81	6,66
Barium (Ba)	23,5	23,3	
Kalsium (Ca)	867	1 210	3 695
Koboltti (Co)	4,45	4,63	17,1
Kromi (Cr)	13,5	13,5	58,5
Kupari (Cu)	6,13	10,8	27,9
Rauta (Fe)	12 900	10 300	38 900
Kalium (K)	523	849	5 270
Magnesium (Mg)	2 170	2 690	8 950
Mangaani (Mn)	111	90,5	437
Natrium (Na)	81,8	104	
Fosfori (P)	337	300	682
Strontium (Sr)	5,41	5,88	27,9
Titaani (Ti)	629	582	1 710
Vanadiini (V)	22,3	18,4	77,9
Sinkki (Zn)	33,4	22,5	104
Kadmium (Cd)	0,05	0,05	0,160
Molybdeeni (Mo)	0,4	0,29	1,11
Nikkeli (Ni)	7,25	9,16	26,7
Lyijy (Pb)	7,03	3,74	20,0
Rikki (S)	130	60,9	239

miumin, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet orgaanisessa kerroksessa kasvavat pohjoisesta etelään päin mentäessä, ja puolestaan kromin ja nikkelin pitoisuudet kasvavat etelästä pohjoiseen mentäessä (Tamminen 2000).

Taulukossa 6 on verrattu tutkimusalueen metsäalueilta otettujen pohjamaanäytteiden mediaaniarvoja sekä Porvoon (Tarvainen ym. 2003) metsämaiden pohjamaanäytteiden että Suomen geokemiallisen atlaksen (Koljonen 1992; Tarvainen 1995) pohjamaanäytteiden mediaaniarvoihin.

Taulukossa 7 on esitetty metsämaiden pinta- ja pohjamaanäytteiden mediaaniarvoja sekä peltojen pintamaanäytteiden mediaaniarvoja pääkaupunkiseudun kehyskunnista. Analyysitulosten perusteella metsämaan pinta- ja pohjamaanäytteiden pitoisuuksissa ei ole suuria eroja. Pintamaassa havaittiin korkeammat pitoisuudet (ero > 15 %) alumiinista, raudasta, mangaanista, vanadiinista, sinkistä, molybdeenista, lyijystä ja rikistä. Pintamaanäytteet koostuvat lähinnä podsol-maannoksen rikastumiskerroksesta. Maannoksen muodostuminen selittää alumiini- ja rautasaostumien ja niihin sitoutuneiden hivenalkuaineiden runsauden. Pohjamaassa puolestaan havaittiin korkeammat pitoisuudet (ero > 15 %)

Taulukko 8. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueilta vuosina 2004–2005 kerättyjen pinta- ja pohjamaanäytteiden alkuainepitoisuuksien väliset korrelaatiot. ** = korrelaatio merkitsevä. Ei = ei tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta.

Table 8. The significant Pearson correlation coefficients for topsoil and subsoil in the whole data set, forest soils and arable soils around the Helsinki metropolitan area in 2004–2005. ei = no significant correlation between topsoil and subsoil.

Alkuaine	Koko aineisto Whole data set	Metsämaat Forest soils	Peltomaat Arable soils
Näytteiden lkm	300	211	30
Alumiini (Al)	0,843**	0,752**	0,696**
Arseni (As)	0,754**	0,583**	0,680**
Boori (B)	0,887**	0,833**	0,825**
Barium (Ba)	0,902**	0,858**	0,667**
Beryllium (Be)	0,868**	0,738**	0,788**
Vismutti (Bi)	0,657**	0,605**	0,692**
Hiili (C)	0,422**	0,268**	0,504**
Kalsium (Ca)	0,888**	0,824**	0,566**
Kadmium (Cd)	0,568**	0,347**	0,482**
Koboltti (Co)	0,881**	0,845**	0,695**
Kromi (Cr)	0,903**	0,831**	0,759**
Kupari (Cu)	0,852**	0,836**	0,619**
Rauta (Fe)	0,892**	0,841**	0,735**
Elohopea (Hg)	0,177**	0,338**	ei
Kalium (K)	0,915**	0,884**	0,704**
Magnesium (Mg)	0,912**	0,868**	0,757**
Mangaani (Mn)	0,822**	0,757**	0,626**
Molybdeeni (Mo)	0,760**	0,656**	0,747**
Natrium (Na)	0,837**	0,799**	0,685**
Nikkeli (Ni)	0,887**	0,824**	0,745**
Fosfori (P)	0,405**	0,244**	0,314**
Lyijy (Pb)	0,818**	0,767**	0,526**
Rikki (S)	0,673**	0,393**	0,773**
Antimoni (Sb)	0,590**	0,547**	0,350**
Tina (Sn)	0,816**	0,831**	0,358**
Titaani (Ti)	0,881**	0,840**	0,746**
Tallium (Tl)	0,935**	0,864**	0,821**
Uraani (U)	0,670**	0,666**	0,347**
Vanadiini (V)	0,913**	0,862**	0,784**
Sinkki (Zn)	0,667**	0,748**	0,393**

kalsiumista, kuparista, kaliumista, magnesiumista, natriumista ja nikkelistä.

Peltomaista otettujen pintamaanäytteiden pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin metsämaasta otettujen pintamaanäytteiden vastaavat pitoisuudet. Esimerkiksi bariumin, kalsiumin, kromin, kuparin, kaliumin, magnesiumin ja strontiumin pitoisuudet olivat yli kolminkertaiset (ero > 300 %) pelto- maiden pintamaassa metsämaiden pintamaahan verrattuna. Ero selittyy maalajien erolla: tutkimusalueen pellot sijaitsevat lähinnä hienojakoisilla lajittuneilla maalajeilla (savikot ym.) ja metsät enimmäkseen moreeni- ja hiekkamailla.

Pinta- ja pohjamaiden väliset pitoisuudet korreloivat keskenään positiivisesti sekä metsä- että peltomailla (taulukko 8). Metsämailla kaikkien taulukossa esitettyjen alkuaineiden pitoisuuksien korrelaatio pohja- ja pintamaan välillä on tilastollisesti merkitsevä, ja peltomaillakin muissa aineissa paitsi elohopeassa. Taulukossa 8 on esitetty korrelaatiokertoimet alkuaineittain pinta- ja pohjamaanäytteiden välillä.

5.2 Peltomaiden maaperä

Erna Kuusisto ja Tarja Hatakka

Suomessa on seurattu viljelymaiden tilaa yhtäjaksoisesti pisimpään Pohjoismaista. MTT aloitti seurannan vuonna 1974, ja seuraavat näytteet otettiin vuosina 1987 ja 1998. Näytteet otettiin neljänä osanäytteenä aarin alalta muokkauskerroksesta ja niistä määritettiin helppoliukoiset pää- ja hivenravinteet ja helppoliukoiset raskasmetallit (Mäkelä-Kurto, 1998).

Seurantatutkimukset osoittavat, että Suomessa raskasmetallikuormitus viljelysmaissa ei ole kasvanut merkittävästi. Tämä johtuu eurooppalaisittain vähäisestä lannoitteiden ja torjunta-aineiden käytöstä sekä alhaisesta väestö-, kotieläin- ja liikennetiheydestä. Oikeansuuntaisia toimenpiteitä ovat olleet myös ne, että on siirrytty lyijyttömän bensiinin käyttöön, käytetään kadmiumvapaata raaka-ainetta lannoitteiden valmistuksessa ja kielletään elohopeapitoisten torjunta-aineiden käyttö.

Pääkaupunkiseudun kehyskunnat ovat olleet vanhastaan voimaperäistä viljelyaluetta. Seutu kuuluu I-viljelyvyöhykkeeseen, joten ilmastollisestikin vaativien kasvien viljely on ollut siellä mahdollista. Viime vuosina teollisuus ja asutus ovat nopeasti levinneet pääkaupungin kehyskuntiin. Kuntien elinkeinorakenne on muuttunut, ja maataloudesta saa toimeentulonsa yhä harvempi yrittäjä. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien näytteet on kerätty ensisijaisesti edustamaan valittuja maalajeja, joten ne eivät välttämättä ole edustava otos kaikista alueen viljelysmaista.

Pääkaupunkiseudun kehyskuntien peltomailta kerättyjen näytteiden mediaaniarvoja on verrattu koko Suomen peltomaita kuvastavan Baltic Soil Survey -hankkeen tuloksiin taulukossa 9. Baltic Soil Survey -projektin yhteydessä kerättiin maanäytteitä peltomailta koko Suomen alueelta (Tarvainen & Kuusisto 1999). Näytteet kerättiin sekä

Taulukko 9. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien peltoalueilta otettujen pintamaanäytteiden mediaaniarvoja ja koko maan alueelta kerättyjen pintamaanäytteiden mediaaniarvoja (Tarvainen & Kuusisto 1999). Pitoisuudet määritetty ICP-AES:llä ja ICP-MS:llä kuningasvesiutosta (AR) < 2mm:n lajitteesta.

Table 9. Median values for arable soils around the Helsinki metropolitan area in 2004–2005 and whole country. Left-hand columns: topsoil, right-hand columns: subsoil. Aqua regia extraction from <2 mm size fraction.

Alkuaine <i>Element</i>	Pääkaupunkiseudun ympäristökunnat, pintamaa <i>Metropolitan area topsoil</i> Med. mg/kg	Koko maa, pintamaa <i>Finland, topsoil</i> Med. mg/kg	Pääkaupunkiseudun ympäristökunnat, pohjamaa <i>Metropolitan area, subsoil</i> Med. mg/kg	Koko maa, pohjamaa <i>Finland, subsoil</i> Med. mg/kg
Näyttemäärä <i>Number of samples</i>	80	42	80	42
Alumiini (Al)	24 700	13 200	32 250	14 800
Arseeni (As)	6,66	2,4	7,67	2,3
Barium (Ba)	137	-	192	-
Beryllium (Be)	1,02	<0,5	1,26	<0,5
Vismutti (Bi)	0,290	<0,02	0,380	<0,02
Kalsium (Ca)	3 695	3 110	4 955	3 420
Kadmium (Cd)	0,160	0,14	<0,1	0,04
Koboltti (Co)	17,1	6,3	22,8	9,5
Kromi (Cr)	58,5	31,4	77,8	39,8
Kupari (Cu)	27,9	15,9	42,6	16,1
Rauta (Fe)	38 900	16 900	49 900	20 900
Kalium (K)	5 270	899	8 190	1 800
Magnesium (Mg)	8 950	3 970	13 250	5 600
Mangaani (Mn)	437	183	492	212
Molybdeeni (Mo)	1,11	0,21	0,860	<0,2
Natrium (Na)	217	-	418	-
Nikkeli (Ni)	26,7	13,4	39,5	17,3
Fosfori (P)	682	805	566	551
Lyijy (Pb)	20,0	10,0	17,8	7,2
Rikki (S)	239	259	68,6	<50
Antimoni (Sb)	0,180	0,07	0,170	0,06
Strontium (Sr)	27,9	21,7	32,8	16,0
Titaani (Ti)	1 710	976	2 345	1 470
Vanadiini (V)	77,9	36,2	93,9	44,6
Sinkki (Zn)	104	37,1	112	38,8

pintamaasta 0–25 cm:n että pohjamaasta 50–75 cm:n syvyydeltä ja ne analysoitiin < 2 mm:n lajitteesta AR-uuttoa käyttäen. Nämä tulokset ovat vertailukelpoisia pääkaupunkiseudun kehyskuntien peltomaiden näytteistä vastaavalla menetelmällä saatujen analyysitulosten kanssa.

Alumiinin, arseenin, koboltin, kromin, kuparin, raudan, magnesiumin, mangaanin, molybdeenin, nikkelin, lyijyn, vanadiinin, sinkin ja titaaniin määrät maaperässä ovat pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueella selvästi suuremmat kuin koko maan peltomaanäytteissä keskimäärin. Kuningasvesiliukoista kaliumia on tutkimusalueen pintamaanäytteissä noin kuusi kertaa ja pohjamaanäytteissä yli neljä kertaa enemmän kuin koko maan näytteissä keskimäärin. Tämä johtunee Etelä-Suomen alueelle tyypillisten savipeltojen sisältämistä runsaista kiille- ja savimineraalimääristä.

Taulukossa 10 on arvioitu alkuaineiden rikastumista peltomaan pinta- tai pohjaosaan. Kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet ovat pintamaanäytteissä pienemmät kuin pohjamaanäytteissä. Kuvassa 10 näkyy, että kalium on köyhtynyt erityisesti savikoiden pintaosista. Kaliumia on irronnut savi- ja kiillemineraaleista rapautumisen yhteydessä. Savikot ovat pääosin viljelykäytössä, ja kalium on ravinteena kuluva alkuaine. Fosforipitoisuudet ovat pintamaanäytteissä suuremmat kuin pohjamaassa (kuva 11), koska fosforia lisätään pelloille lannoitteissa. Myös rikkiä on peltojen pintamaanäytteissä selkeästi enemmän kuin pohjamaassa. Maahan rikkiä tulee paitsi fossiilisista polttoaineista myös ilman kautta meren tyrskyistä tai haihtumalla soista rikkivetynä. Maaperän pintaosiin rikastuvat näytepaikasta riippumatta hiili, kadmium, lyijy, elohopea ja molybdeeni.

Taulukko 10. Alkuaineiden rikastuminen (pintamaan pitoisuus jaettu pohjamaan pitoisuudella) pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä vuosina 2004–2005. Kun pintamaan pitoisuuksien ja pohjamaan pitoisuuksien suhteiden mediaaniarvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 1,2, alkuaine on rikastunut maan pintaosiin. Kun tämän suhteen mediaaniarvo on < 1,2 mutta > 0,90, alkuaine on jakautunut maaperässä tasaisesti syvyyden suhteen. Kun pintamaan pitoisuuksien ja pohjamaan pitoisuuksien suhteen mediaaniarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,90, alkuaineen pitoisuudet ovat tyypillisesti suuremmat pohjamaassa kuin pintamaassa.

Table 10. *Enrichment factors (topsoil concentration divided by subsoil concentration) in soils around the Helsinki metropolitan area in 2004-2005. Factor >1.2: element is enriched in topsoils; Factor 0.9 – 1.2: relatively even distribution between topsoil and subsoil; Factor <0.9: concentrations mainly higher in subsoils.*

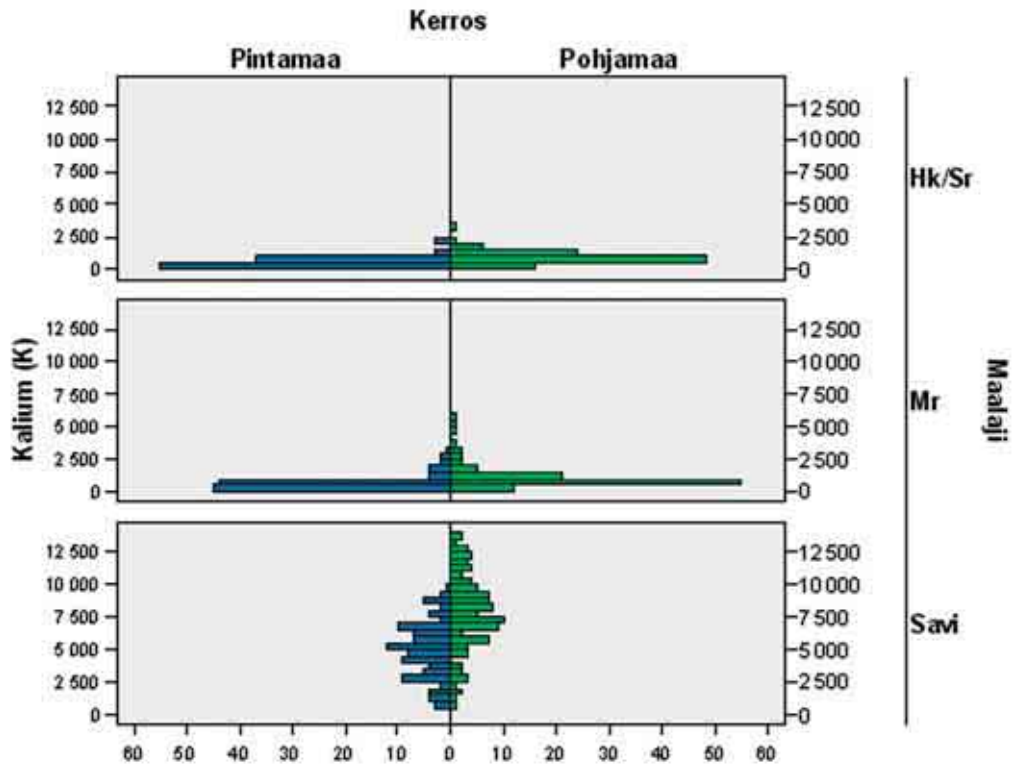
Alkuaine <i>Element</i>	Koko aineisto <i>All samples</i>	Peltomaat <i>Arable soils</i>
	Med.	Med.
Hopea (Ag)	1,00	0,83
Alumiini (Al)	1,01	0,81
Arseeni (As)	0,88	0,80
Barium (Ba)	0,87	0,73
Beryllium (Be)	0,98	0,86
Vismutti (Bi)	1,00	0,81
Hiili (C)	4,56	5,67
Kalsium (Ca)	0,73	0,77
Kadmium (Cd)	1,28	2,29
Koboltti (Co)	0,91	0,81
Kromi (Cr)	0,90	0,78
Kupari (Cu)	0,62	0,71
Rauta (Fe)	1,03	0,77
Elohopea (Hg)	2,94	4,68
Kalium (K)	0,60	0,65
Magnesium (Mg)	0,75	0,70
Mangaani (Mn)	1,06	1,02
Molybdeeni (Mo)	1,23	1,17
Natrium (Na)	0,72	0,50
Nikkeli (Ni)	0,77	0,73
Fosfori (P)	1,16	1,20
Lyijy (Pb)	1,42	1,13
Rikki (S)	2,60	3,01
Antimoni (Sb)	1,55	1,09
Tina (Sn)	1,04	0,90
Titaani (Ti)	0,91	0,72
Tallium (Tl)	1,00	0,79
Uraani (U)	0,78	0,85
Vanadiini (V)	1,02	0,83
Sinkki (Zn)	1,19	0,96

5.3 Kivennäismaan orgaanisen aineksen vaikutus

Tarja Hatakka ja Timo Tarvainen

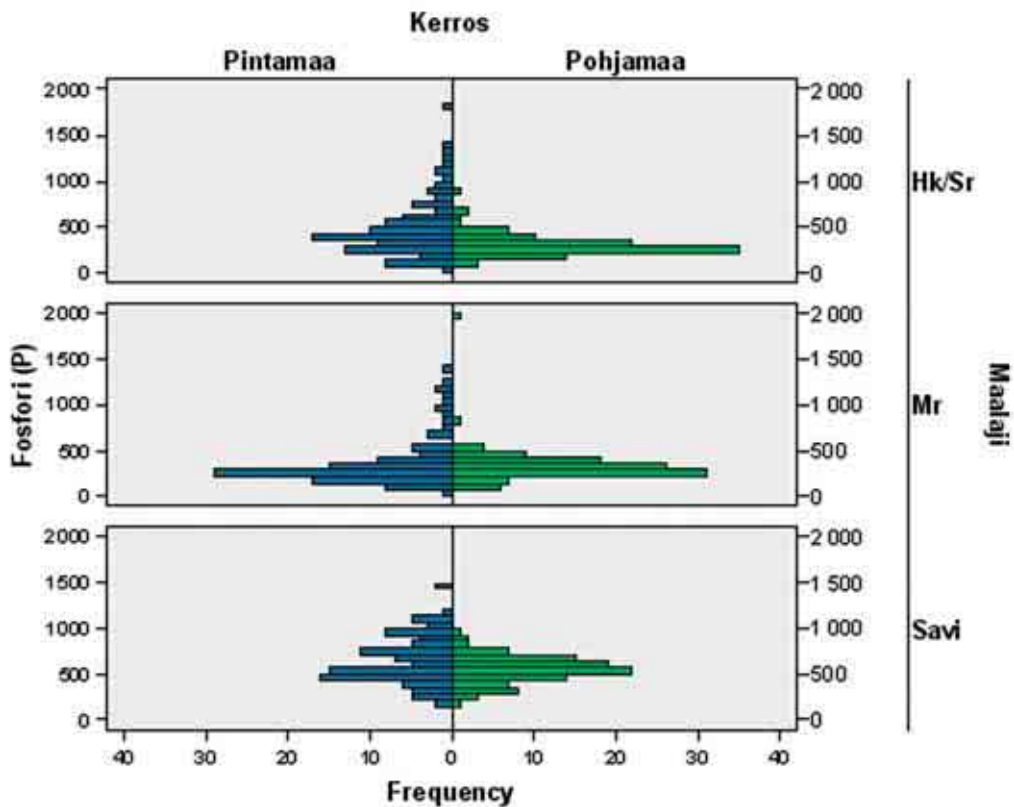
Maan orgaanisella aineella tarkoitetaan kaikkien orgaanista hiiltä sisältävien aineiden yhteismäärä maassa. Se koostuu eri hajoamisvaiheissa olevista kasvi-, eläin- ja mikrobijätteistä sekä yhdisteistä, joita näiden hajotustuotteista on syntynyt mikrobiologisesti ja kemiallisesti. Maan orgaaninen aines on dynaaminen kompleksi, jossa aineita hajoaa jatkuvasti ja toisaalta uutta orgaanista ainesta syntyy (Mälkönen 2003).

Valtaosa metsämaan orgaanisesta aineksesta on peräisin lehti- ja juurikarikkeesta. Mikrobisto hajottaa suurimman osan maahan tulevasta hiilestä muutamassa vuodessa. Vaikka hitaasti hajoavan hiilen osuus maahan tulevasta hiilestä onkin pieni, niin hitaan hajoamisen vuoksi suurin osa maan hiilestä on sitä. Metsämaan hiilen keskimääräiseksi iäksi on arvioitu jopa 600 vuotta. Orgaanisen aineen hajoamiseen vaikuttaa sen laatu ja ympäristö-



Kuva 10. Kaliumin (yksikössä mg kg⁻¹) histogrammit maalajeittain pintamaassa (vasen) ja pohjamaassa (oikeanpuoleinen kuvaaja) pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueelta otetuissa näytteissä. Vaaka-akselilla on frekvenssi.

Fig. 10. Histograms of K (mg kg⁻¹) in topsoil (left) and subsoil (right) around the Helsinki metropolitan area. Hk/Sr = Sand and gravel; Mr = Till; Savi = Clay



Kuva 11. Fosforin (yksikössä mg kg⁻¹) histogrammit maalajeittain pintamaassa (vasen) ja pohjamaassa (oikeanpuoleinen kuvaaja) pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueelta otetuissa näytteissä. Vaaka-akselilla on frekvenssi.

Fig. 11. Histograms of P (mg kg⁻¹) in topsoil (left) and subsoil (right) around the Helsinki metropolitan area. Hk/Sr = Sand and gravel; Mr = Till; Savi = Clay

tekijöistä erityisesti maan lämpötila ja kosteus. Suomen metsämaissa hajotustoiminta on yleensä sitä nopeampaa, mitä korkeampi on maan lämpötila. Samoissa ilmasto-oloissa orgaanisen aineen laatu vaikuttaa useimmiten enemmän sen hajoamiseen kuin maaperän laatu (Mälkönen 2003).

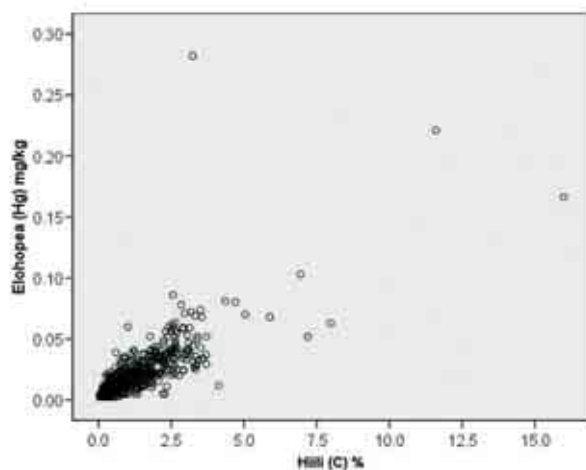
Orgaanisen aineen pitoisuus maaperässä on suurin humuskerroksessa. Orgaanisen aineen määrä kivennäismaassakin on huomattava. Kangasmaiden hiilivarastosta arvioidaan 28 % olevan humuskerroksessa, 68 % ylimmässä metrin paksuisessa kivennäismaakerroksessa ja 4 % sitä alempana. Orgaanisen aineksen jakautuminen eri syvyyksille aiheutuu siitä, että kasvillisuuden maanpäällisestä osasta tuleva karike alkaa hajota maan pinnalla ja juuristostakin suurin osa on maan pintakerroksissa. Maannostumisprosessissa orgaanista ainesta joutuu alempiin maakerroksiin juurten kasvaessa, maaperän eliöstön toiminnan tuloksena ja huuhtoutumalla, joskus myös ihmisen toiminnan seurauksena esim. maata muokattaessa. Kulutus ja avohakkuu vähentävät orgaanisen aineen määrää, ja kalkitus ja typpilannoitus puolestaan lisäävät sitä (Mälkönen 2003).

Orgaaninen aines vaikuttaa maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Fysikaalisesti se parantaa maan rakennetta, jolloin ilmaisuus ja veden liikkuminen maassa paranevat. Orgaaninen aines lisää maan vedenpidätyskykyä. Kemiallisesti orgaaninen aines vaikuttaa monin tavoin: hajoamisessa syntyvät hapot toimivat maan happamuuden lähteenä, ja orgaaninen aine voi reagoida metallien, metallioksidien ja -hydroksidien kanssa muodostaen orgaanisia metallikomplekseja ja toimia esim. typen, fosforin ja rikin ioninvaihta-

jana ja varastona. Orgaanisen aineen ioninvaihtokapasiteetti on korkea, ja se voi sitoa sekä pää- että hivenravinteita ja raskasmetalleja. Biologisista vaikutuksista tärkein on se, kun orgaanisen aineksen hajoamisessa ravinteita vapautuu kasvien ja mikrobin käyttöön (Mälkönen 2003).

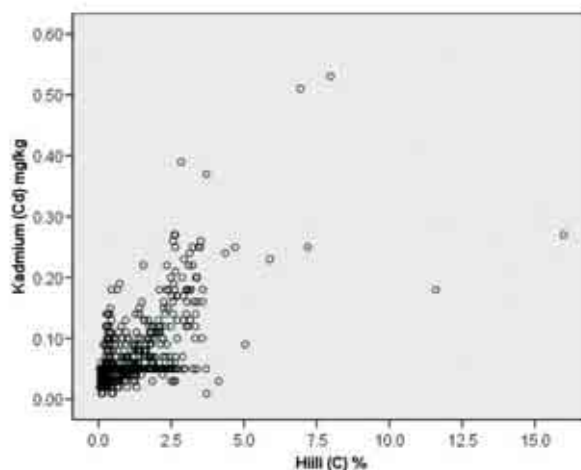
Orgaaninen aine määritetään yleisesti hehkutus-häviönä eli orgaaninen aine hehkutetaan pois maanäytteestä. Tässä tutkimuksessa kivennäismaan orgaanisen aineksen määrän selvittämiseksi maanäytteistä määritettiin orgaanisen hiilen määrä, joka voidaan muuntaa orgaanisen aineen määräksi ns. van Bemmelen kertoimella 1,72 (Mälkönen 2003). Pintamaan keskimääräinen orgaanisen aineksen määrä (mediaaniarvot) pääkaupunkiseudun kehyskuntien hiekka- ja soramaissa on 1,7 %, moreenimaissa 3,0 % ja savimaissa 4,4 %. Tammisen (1991) mukaan Etelä-Suomessa kivennäismaiden pintamaassa orgaanisen aineksen pitoisuudet ovat metsätyypin mukaan 3,0–6,8 %. Pohjamaan keskimääräinen orgaanisen aineksen määrä (mediaaniarvot) pääkaupunkiseudun ympäristössä hiekka- ja soramaissa on 0,3 %, moreenimaissa 0,8 % ja savimaissa 0,7 %.

Pintamaan orgaanisen aineksen määrällä on erittäin merkittävä tilastollinen riippuvuus kaikkien tässä tutkimuksessa analysoidujen alkuaineiden pitoisuuksien kanssa. Korrelaatiokertoimet ovat suurimmat, ja myös hajontakuviot osoittavat selkeästi riippuvuutta orgaanisen aineksen ja hopean (0,690**), elohopean (0,724**) (kuva 12), kadmiumin (0,626**) (kuva 13), molybdeenin (0,574**), lyijyn (0,541**) ja rikin (0,811**) pitoisuuksien kanssa. Orgaaninen aines sitoo huomattavia määriä useita alkuaineita, mm. raskasmetalleja, koska eloperäisellä aineksella on suuri ioninvaihto-



Kuva 12. Hajontadiagrammi elohopean ja hiilen määristä pintamaanäytteissä pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueella vuosina 2004–2005.

Fig. 12. Scatter diagram of C (x-axis) and Hg (y-axis) in topsoil in the Helsinki metropolitan area 2004–2005.



Kuva 13. Hajontadiagrammi kadmiumin ja hiilen määristä pintamaanäytteissä pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueella vuosina 2004–2005.

Fig. 13. Scatter diagram of C (x-axis) and Cd (y-axis) in topsoil in the Helsinki metropolitan area 2004–2005.

kapasiteetti, metalleja sitoutuu kemiallisesti orgaaniseen ainekseen ja metalleja saostuu orgaanista ainesta sisältävään kerrokseen. Pohjamaassa nämä korrelaatiot eivät ole yhtä selviä, mutta merkitsevä tilastollinen riippuvuus orgaanisen aineksen määrällä on mm. alumiinin, antimonin, arseenin, bariumin, boorin, berylliumin, elohopean, fosforin,

hopean, kadmiumin, koboltin, kromin, lyijyn, molybdeenin, raudan, rikin, seleenin, sinkin, talliumin, tinan, titaanin, uraanin, vanadiinin ja vismutin pitoisuuksien kanssa. Selkeimmin riippuvuus on havaittavissa elohopean (0,548**), rikin (0,637**) ja molybdeenin (0,480**) pitoisuuksien ja orgaanisen aineksen välillä.

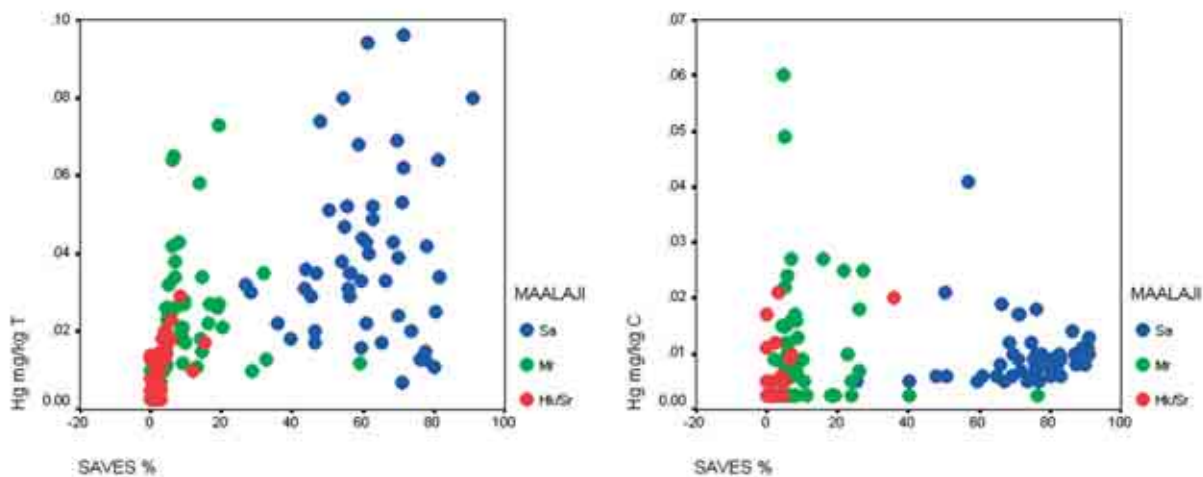
5.4 Saveksen ja hienoaineksen määrän vaikutus

Mikael Eklund, Jukka Ojalainen ja Jaana Jarva

Hienoaineksen määrä vaikuttaa alkuainepitoisuuksiin mineraalisessa maaperänäytteessä (mm. Lintinen 1995, Tarvainen 1995). Kun saveksen osuus lisääntyy, myös useimpien alkuaineiden pitoisuudet kasvavat vastaavasti (Tarvainen ym. 2003). Porvoossa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin savespitoisuuden vaikutusta mineraalimaan alkuainepitoisuuksiin. Lyijypitoisuudet kasvoivat maaperänäytteissä johdonmukaisesti $< 0,002$ mm:n raekokofraktion määrän lisääntyessä erityisesti savessa, niin pintamaassa kuin pohjamaassakin. Arseenipitoisuudet eivät merkittävästi kasvaneet savemäärän ($< 0,002$ mm:n raekokofraktio) lisääntyessä maaperässä. Korkeimmat kadmiumpitoisuudet olivat savissa niin pinta- kuin pohjamaassakin. Elohopean korkeimmat pitoisuudet olivat savissa pintamaassa. Pohjamaassa elohopeapitoisuus puolestaan ei ollut riippuvainen maaperänäytteen savespitoisuudesta. Korkeimmat yksittäiset elohopeapitoisuudet esiintyivät lajittuneissa fraktioissa (Tarvainen ym. 2003). Kuvassa 14 on esitetty ha-

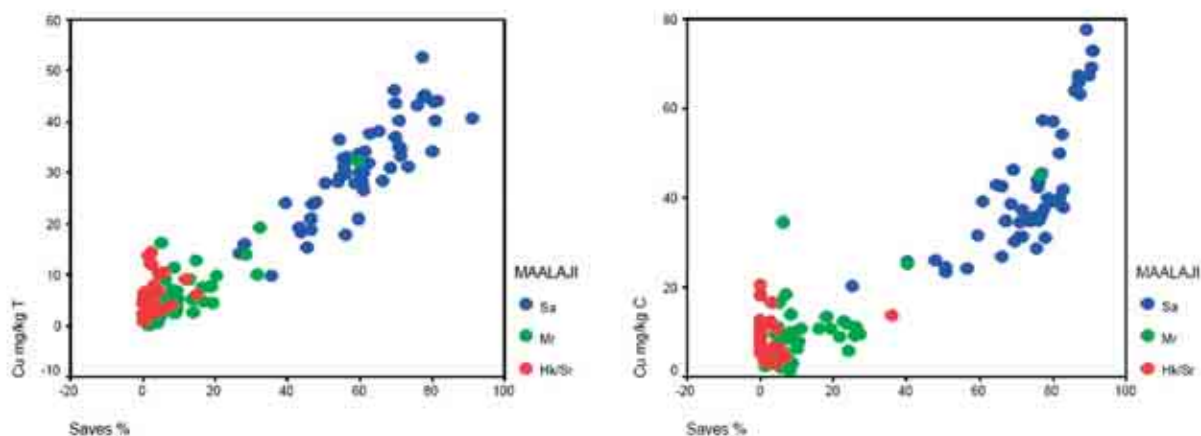
jontakuvio näytteen savespitoisuuden ja elohopeapitoisuuden suhteesta pinta- ja pohjamaassa eri maalajiluokissa.

Savespitoisuuden ja ravinnealkuaineiden välistä korrelaatiota kuvaavissa hajontakuvioissa näkyi sama piirre kuin edellisessä ryhmässä: aineiston kahtia jakautuneisuus. Maaperän kalsium- ja kaliumpitoisuudet kasvoivat pinta- ja pohjamaassa savespitoisuuden lisääntyessä eli siirryttäessä hiekasta/sorasta moreeniin ja edelleen saviin. Saveksen määrän lisääntyessä savissa kalsiumpitoisuus kasvoi pohjamaassa ja kalium lisääntyi lähes lineaarisesti niin pinta- kuin pohjamaassakin. Tämä johtuu savimineeraalien ja biotiitin korkeista kuningasvesiliukoisista kaliumpitoisuuksista. Fosforipitoisuus ei ollut riippuvainen maaperän savespitoisuudesta. Maalajiluokien sisällä oli suuria pitoisuseroja. Rikkipitoisuus maaperässä ei kasvanut savespitoisuuden noustessa. Savessa esiintyi muutamia tasaisesta taustapitoisuudesta poikkeavia, korkeita, rikkipitoisuusarvoja, erityisesti pohjamaassa. (Tarvainen ym. 2003.)



Kuva 14. Hajontakuvio elohopeapitoisuuden ja saveksen määrän suhteesta pintamaassa (vasen kuva) ja pohjamaassa (oikea kuva). Maalajiluokka on esitetty värillä. (Tarvainen ym. 2003.)

Fig. 14. Scatter diagram of clay content (x-axis) and Hg (y-axis) in topsoil (left) and subsoil (right). Symbol colours: Blue (Sa) = clay; Green (Mr) = till; Red (Hk/Sr) = Sand and gravel. From: Tarvainen et al. 2003



Kuva 15. Hajontakuvio kuparipitoisuuden ja saveksen määrän suhteesta pintamaassa (vasen kuva) ja pohjamaassa (oikea kuva). Maalajiluokka on esitetty värillä. (Tarvainen ym. 2003)

Fig. 15. Scatter diagram of clay content (x-axis) and Cu (y-axis) in topsoil (left) and subsoil (right). Symbol colours: Blue (Sa) = clay; Green (Mr) = till; Red (Hk/Sr) = Sand and gravel. From: Tarvainen et al. 2003

Porvoon tutkimusten perusteella voidaan todeta, että raskasmetallipitoisuus maaperässä on suoraan verrannollinen maaperän savespitoisuuksiin niin pintamaassa kuin pohjamaassakin. Kuparin, kromin ja vanadiinin hajontakuviot ovat selkeät ja yksiselitteiset. Karkeassa lajittuneessa maalajissa oli pienimmät pitoisuudet. Hieman suuremmat pitoi-

suudet olivat moreenissa ja korkeimmat savissa. Maalajiluokkien sisällä savessa ja moreenissa savespitoisuuden kasvu merkitsee myös korkeampia raskasmetallipitoisuuksia (Tarvainen ym. 2003). Kuvassa 15 on esitetty hajontakuvio kuparipitoisuuden ja saveksen määrän suhteesta pinta- ja pohjamaassa eri maalajiluokissa.

5.5 Kallioperän vaikutus moreenin pitoisuuksiin ja vertailu alueellisen kartoituksen tuloksiin

Timo Tarvainen ja Eeva Teräsvuori

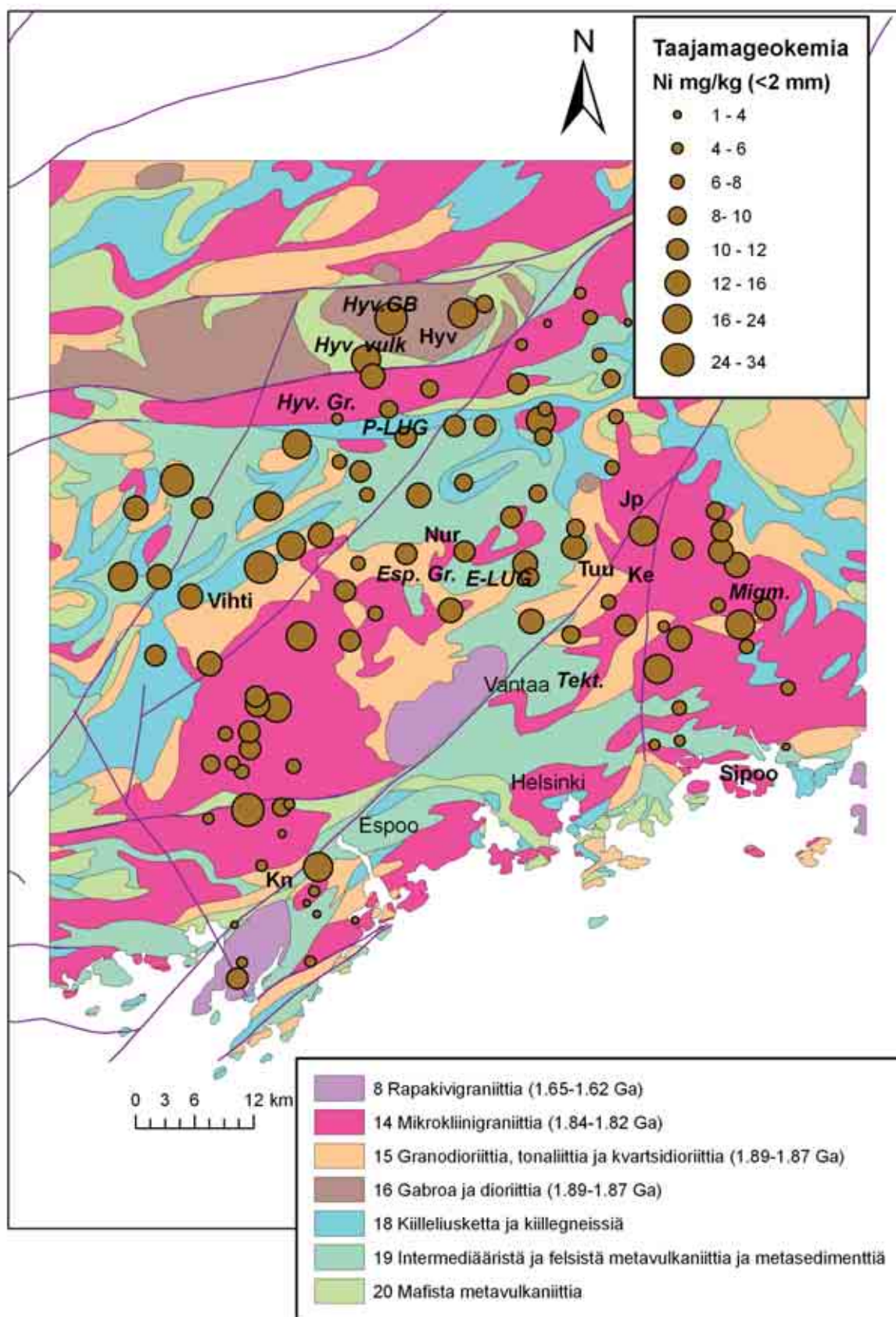
Toisin kuin lajittuneet maalajit (hiekkä, savi) kallioperästä irronnut moreeniaines on usein kulkeutunut vain lyhyen matkan jäätikön mukana. Moreenin kemiallinen koostumus heijastaa siten paremmin alla olevan kallioperän koostumusta kuin muiden maalajien koostumus. Geologi Matti Pajunen hahmotti näytteenottosuunnitelmaan alueen kallioperän rakenteellisten pääyksiköiden rajat. Moreeninäytteiden näytteenottoaikat valittiin niin, että niitä on eri kivilajiyksiköiden alueilla (kuva 16). Kallioperän suuryksiköiden rajat ovat usein vaihtuvia, joten tarkkojen rajojen vetäminen ei ole yksinkertaista.

Tutkimusalueen pohjoisosassa sijaitsee Hyvinkään gabroesiintymä, jonka alueelta on otettu kaksi moreeninäytettä. Gabroa ympäröivät Hyvinkään vulkaniitit (3 näytepistettä), ja sen ympärillä on useita ruhjeita sisältävä Hyvinkään graniittialue (6 moreeninäytettä). Graniittialueen eteläpuolella kulkee merkittävä itä-länsisuuntainen siirrosvyöhyke,

joka erottaa Hyvinkään graniitit eteläpuolen Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksista (LUG, Pajunen ja Wasenius 2005). Laaja Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksi voidaan vielä jakaa pohjois- ja eteläosiin, joita erottaa Vihdin ja Nurmijärven poikki kulkeva lounais-koillisuuntainen siirrosvyöhyke. Granuliittikompleksin pohjoisosaa jatkaa Hyvinkään eteläosista ja Nurmijärven luoteiskulmasta Vihdin pohjoisosiin. Granuliittikompleksin eteläosa jatkaa Nurmijärveltä Tuusulanjärvelle, jossa kompleksi rajoittuu pitkään Porkkala–Mäntsälä-siirrosvyöhykkeeseen.

Granuliittikompleksin pohjoisosan eteläpuolelle jää laaja Espoon graniittialue, johon kuuluu valtaosa Kirkkonummen näytteistä. Paikoin sitä lävistävät itä-länsisuuntaiset vulkaniitit. Vulkanitteja on myös kartoitusalueen eteläisimmässä osassa Kirkkonummella, jossa kallioperä on vaihtelevaa.

Idempänä Porkkala–Mäntsälä-siirrosvyöhykkeen ja pohjois-eteläsuuntaisen Vuosaari–Korso-



Kuva 16. Kallioperäkarta (osa Suomen kallioperäkartasta 1:1 000 000) ja pääkaupunkiseudun ympäryskuntien taajamageokemiallisen kartoituksen moreenipisteiden nikkelpitoisuus. Hyv. GB = Hyvinkään gabro, Hyv. vulk = Hyvinkään vulkaniitit, Hyv. Gr. = Hyvinkään graniitti, Esp. Gr. = Espoon granitoidikompleksi, P-LUG = Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksin pohjoisosa, E-LUG = Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksin eteläosa, Migm = migmatiittivyöhyke, Tekt. = voimakkaasti tektonisoitunut alue.

Fig. 16. Pre-Quaternary rocks around the Helsinki metropolitan region and distribution of Ni in the baseline geochemical mapping project. Hyv.GB = Hyvinkää gabbro, Hyv. vulk = Hyvinkää volcanic rocks, Hyv. Gr. = Hyvinkää granite, Esp. Gr. = Espoo granitoid complex, P-LUG = Northern part of the West Uusimaa granulite complex, E-LUG = Southern part of the West Uusimaa granulite complex, Migm = migmatite zone, Tekt. = strongly tectonised zone. Colour legend: 8 = Rapakivi granite; 14 = Microcline granite; 15 = Granodiorite, tonalite & quartz diorite; 16 = gabbro & diorite; 18 = mica schist and mica gneiss; 19 = Intermediate and felsic metavolcanites nad metasediments; 20 = Mafic metavolcanites

siirrosvyöhykkeen väliin jää voimakkaasti tektonisoitunut alue. Vuosaari–Korso-linjan itäpuolella sijaitsee migmatiittigraniittialue. Sen eteläpuolella on vielä Pellingin vulkaniitteja, joiden päällä olevasta maaperästä ei ole moreeninäytteitä.

Moreeninäytepisteitä oli tässä pääkaupunkiseudun kehyskuntien taajamageokemiallisessa kartoituksessa vain 102, joten näytemäärä ei riitä edustavasti kuvaamaan kaikkia kallioperän yksiköitä. Tutkimuksen painopiste olikin eri maalajien välisissä eroavaisuuksissa. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien taajamageokemiallisen kartoituksen pohjamooreeninäytteiden tuloksia on verrattu alueellisen geokemiallisen kartoituksen tuloksiin, numeeriseen kallioperäkartaan (Korsman ym. 1997) ja KallioINFO-hankkeen raportissa esitettyyn kallioperäkartaan (Pajunen ja Wasenius 2005) sekä niihin kallioperän rakenteellisiin osa-alueisiin, jotka geologi Matti Pajunen hahmotteli näytteenottosuunnitelmaa varten.

Pääkaupunkiseudun kehyskunnista on tämän taajamageokemiallisen aineiston lisäksi käytävissä tarkemman alueellisen geokemiallisen kartoituksen (1 näyte/4 km²) tulokset (Salminen 1995). Alueellisen kartoituksen näytteet ovat kenttäyhdistelmänäytteitä. Analyysit on tehty < 0,06 mm:n raekokolajitteesta ja näytteet on liuotettu kuumalla kuningasvedellä samoin kuin taajamakartoituksen näytteet. Alueellisessa geokemiallisessa kartoituksessa analysoitujen alkuaineiden määrä on paljon pienempi ja määrittämisrajat korkeammat kuin pääkaupunkiseudun kehyskuntien alueen taajamageokemiallisessa kartoituksessa. Alueellisen geokemiallisen kartoituksen tulokset on esitetty väripintakartoina. Tasoittava interpolointimenetelmä on pienentänyt aineiston maksimipitoisuuksia ja kasvattanut pienimpiä pitoisuuksia.

Moreenin alle 0,06 mm:n raekokolajitteen hivenainepitoisuudet ovat yleensä suurempia kuin pääkaupunkiseudun kehyskuntien näytteistä analysoidun alle 2 mm:n raekoon pitoisuudet (kuva 17). Joillekin alkuaineille on voitu johtaa korjauskertoimia, joiden avulla voidaan arvioida alle 2 mm:n raekokolajitteen pitoisuus, kun analyysit on tehty alle 0,06 mm:n raekokolajitteesta (Tarvainen 1995, 1996). Pääkaupunkiseudun kehyskuntien pohjamooreeninäytteiden pitoisuuksia verrattiin alueelliseen moreenigeokemialliseen kartoitukseen perustuvaan kartta-aineistoon. Alueellisen aineiston pitoisuudet korjattiin vastaamaan alle 2 mm:n raekokolajitteen pitoisuuksia edellä mainituilla korjauskertoimilla. Korjauksen jälkeen testattujen alkuaineiden pitoisuudet korreloivat positiivisesti keskenään ja molempien aineistojen mediaanipitoisuudet eri alkuaineille ovat samaa suuruusluokkaa. Niillä alueilla, joissa pitoisuudet ovat pieniä, alueelliseen geoke-

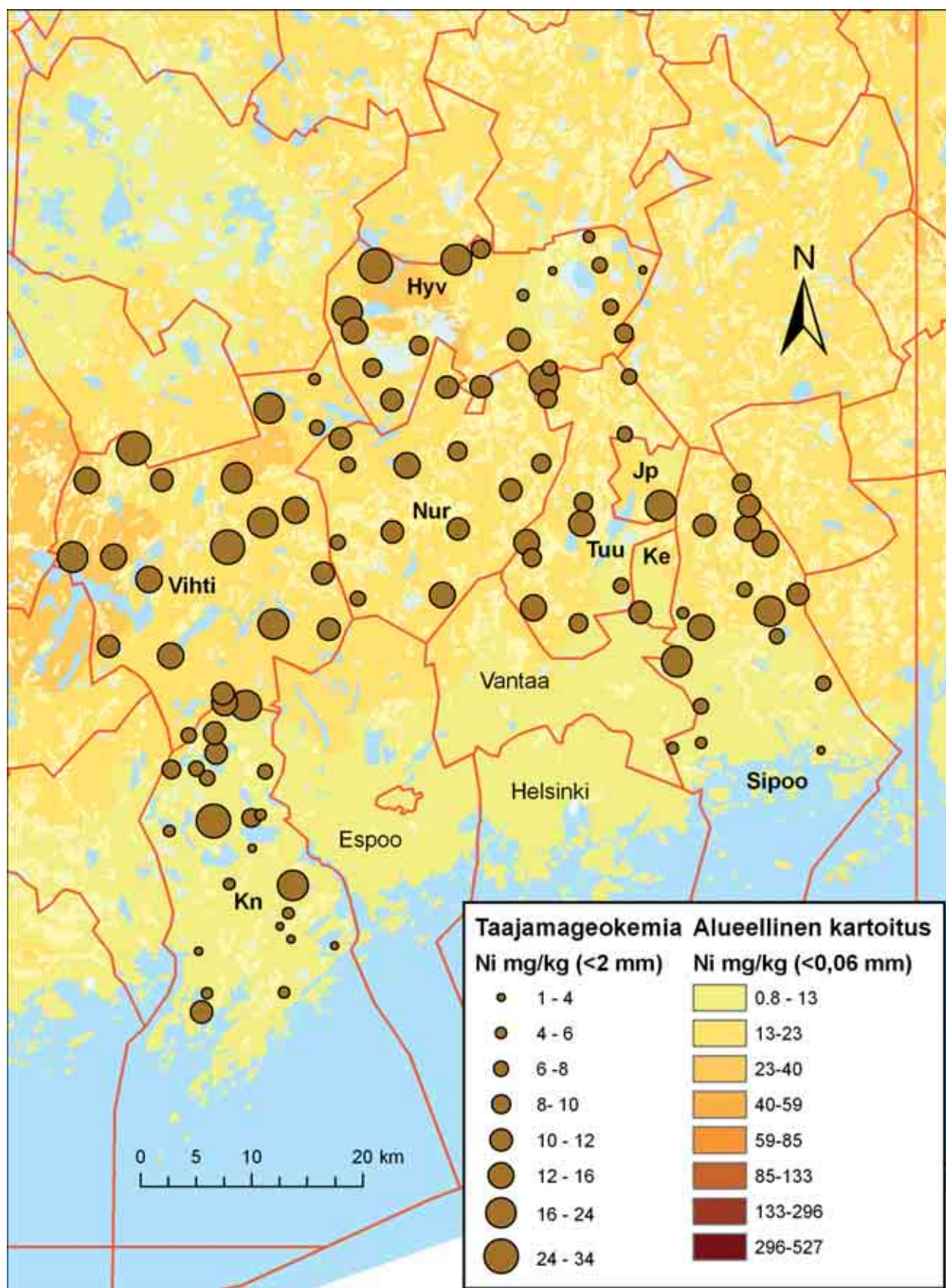
mialliseen aineistoon perustuvassa interpoloidussa kartassa on suurempia pitoisuuksia kuin yksittäisiin näytemonttuihin perustuvassa pääkaupunkiseudun kehyskuntien aineistossa. Toisaalta niillä alueilla, joissa hivenalkuainepitoisuudet ovat suuria, pääkaupunkiseudun kehyskuntien aineistossa pitoisuudet ovat alueellista geokemiallista aineistoa suurempia. Esimerkki pääkaupunkiseudun kehyskuntien yksittäisiin näytemonttuihin perustuvan aineiston ja alueelliseen geokemialliseen tutkimukseen pohjautuvan väripintakartan eroista on esitetty kuvassa 8. Molemmat tutkimukset antavat saman kuvan alkuaineiden keskimääräisestä pitoisuustasosta, mutta uusi, yksittäisiin näytemonttuihin perustuva aineisto antaa paremman kuvan pitoisuusjakauman ääripäistä. Alueellinen kartoitusaineisto soveltuu paremmin karttatuotantoon, koska yksittäiset pitoisuushuiput on tasoitettu kenttäyhdistelmänäytteillä ja tasoittavalla interpolointimenetelmällä.

Useiden alkuaineiden (alumiinin, antimonin, bariumin, berylliumin, boorin, kadmiumin, fosforin, kaliumin, kalsiumin, koboltin, kromin, kuparin, lyijyn, magnesiumin, mangaanin, molybdeenin, natriumin, nikkelin, raudan, sinkin, strontiumin, talliumin, tinan, titaanin, uraanin, vanadiinin ja vismutin) mediaanipitoisuudet ovat suurimpia Hyvinkään gabron alueella. Seuraavaksi suurimmat keskipitoisuudet mitattiin usein Hyvinkään gabroa ympäröivän vulkaniittialueen näytteistä. Usein keskimääräistä suurempia pitoisuuksia on myös Vihdin ja Nurmijärven pohjoisosissa, ns. Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksin pohjoisreunassa. Sen lisäksi Kirkkonummella on yksittäisiä korkeita pitoisuushavaintoja erityisesti niillä alueilla, joilla vulkaniitit leikkaavat graniittivyöhykettä.

Kuvassa 18 on esitetty nikkelpitoisuudet kallioperän suuralueiden mukaan ryhmiteltynä. Nikkelpitoisuudet ovat suurimpia Hyvinkään gabron alueella ja sitä ympäröivissä vulkaniiteissa. Hyvinkään itäosassa graniittialueen nikkelpitoisuudet ovat selvästi pienempiä. Yleensä nikkelpitoisuudet pienenevät rannikolta luoteeseen päin mentäessä. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien näytteissä on kuitenkin Kirkkonummella muutama korkeahko nikkelpitoisuushavainto.

Elohopean, kalsiumin, rikin ja arseenin suurimmat mediaaniarvot ovat Hyvinkään vulkaniittien alueella. Uraanipitoisuudet ovat korkeimpia Hyvinkään graniitin alueella, Sipoon koillisosassa, Tuusulan ja Vihdin pohjoisosissa ja paikoin Kirkkonummella. Keskimäärästä suurempia pitoisuuksia esiintyy eniten mikrokliniigraniittien alueella.

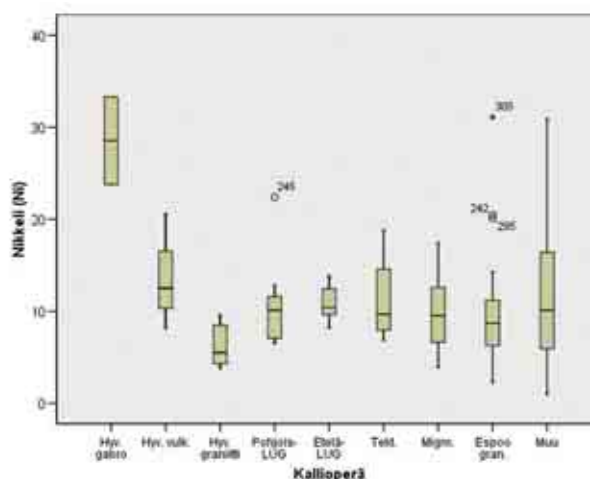
Pääkaupunkiseudun kehyskuntien moreeninäytteiden perusteella alkuaineiden pitoisuudet voivat vaihdella merkittävästi saman kivilajiyksikön sisällä.



Kuva 17. Alueellisen moreenigeokemiallisen kartoituksen nikkelipitoisuudet moreenin alle 0,06 mm:n raekokolajitteessa (väripinta) ja pääkaupunkiseudun kehyskuntien taajamageokemiallisen kartoituksen moreenipisteiden nikkelipitoisuus alle 2 mm:n raekokolajitteessa. Väripintakartan värilegenda kuvastaa koko Suomen pitoisuusjakaumaa: kaikkein suurimpia pitoisuuksia ei esiinny pääkaupunkiseudulla. Kuntarajat © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MYY/06.

Fig. 17. Colour surface: Ni concentrations in the <0.06 mm fraction of till, regional mapping samples. Symbols: Ni concentrations in the <2 mm fraction of till in the new baseline study. The colour scale is based on national mapping results, the highest concentrations do not exist in the metropolitan area.

Useiden hivenalkuaineiden pitoisuudet ovat keskimääräistä suurempia Hyvinkään gabron alueella (Hyvinkään luoteisosa) ja paikoin myös Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksin reunalla Vihdin ja Nurmijärven pohjoisosassa. Kuitenkin yksittäisiä suuria taustapitoisuuksia voi esiintyä lähes kaikkien kivilajien alueella pääkaupunkiseudun ympäristössä. Alueellinen moreenigeokemiallinen kartoitus antaa viitteitä keskimääräistä suurempien pitoisuuksien alueista, mutta kartoitusmenetelmä ei paljasta pieniä paikallisia anomalioita.



Kuva 18. Pohjamoreeninäytteiden nikkelpitoisuus (mg kg^{-1}) pystyakselilla. Vaaka-akselilla kallioperän rakenteelliset suurualueet: Hyv. = Hyvinkää. LUG = Länsi-Uudenmaan granuliittikompleksi. Tekt = voimakkaasti tektonisoitunut alue Tuusulassa ja Keravalla.

Fig. 18. Box plot of the Ni concentrations classified by the major geological unit. See figure 14.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Timo Tarvainen, Jaana Jarva, Tarja Hatakka, Erna Kuusisto, Mikael Eklund ja Eeva Teräsvuori

Useimpien tutkittujen alkuaineiden pitoisuuksissa on suurta luonnollista vaihtelua. Pinta- ja pohjamaanäytteistä mitatut alkuainepitoisuudet korreloivat useimmiten merkitsevästi, joten maaperän luonnollinen, geologinen koostumus on tärkein pitoisuuksia selittävä tekijä. Lähes kaikkien hivenalkuaineiden (mukaan lukien raskasmetallit) pitoisuudet ovat yleensä suurimmat savimailla. Pintamaan orgaanisen aineksen määrä korreloi selvimmän hajakuormituksen tulevien elohopean, lyijyn ja kadmiumin pitoisuuksien kanssa.

Metsämailla pinta- ja pohjamaanäytteiden pitoisuuksissa ei ole suuria eroja. Pintamaassa havaittiin suurempia alumiinin, raudan, mangaanin, vanadiinin, sinkin, molybdeenin, lyijyn ja rikin pitoisuuksia, mitkä selittyvät lähinnä podsol-maannoksen muodostumisella. Peltomaiden pintamaissa fosforin ja rikin pitoisuudet ovat suuremmat kuin pohjamaassa. Maaperän pintaosiin rikastuvat näytepaikasta riippumatta hiili, kadmium, lyijy, elohopea ja molybdeeni.

Orgaanisen aineksen määrä maaperässä vaikuttaa maaperän kykyyn sitoa useita alkuaineita itseensä. Kun orgaanisen aineksen osuus maaperässä kasvaa, niin useimpien alkuaineiden määrät myös lisääntyvät kaikissa maalajeissa erityisesti pintamaassa.

Näytteitä on kerätty eri kivilajiyksiköiden alueelta, ja esimerkiksi muutamissa Hyvinkään gabron ja sitä ympäröivien vulkaniittien moreeninäytteissä on keskimääräistä suurempia metallipitoisuuksia.

Näytepisteverkko on kuitenkin liian harva, että voitaisiin tehdä luotettavia johtopäätöksiä kallioperän vaikutuksesta maaperän alkuainepitoisuuksiin tutkitulla alueella.

Tutkimuksen 300 näyteprofiilia antavat luotettavan kuvan tutkittujen alkuaineiden taustapitoisuuksista eri mineraalimaalajeissa taajamien ympäristössä. Näytteitä ei ole kerätty taajamista, sillä niissä hajakuormitus on yleensä kasvukeskusten ympäristöä suurempi. Siksi joidenkin alkuaineiden pitoisuudet voivat olla suurempia taajamien pintamaassa. Taajamissa on käytetty myös paljon täyttömaita, jolloin maa-ainesta tai kalliomursketta on voitu tuoda tämän tutkimusalueen ulkopuoleltakin, taustapitoisuuksiltaan erilaisista ympäristöistä. Valtakunnallisista geokemiallisista kartoituksista tiedetään, että pääkaupunkiseudun ympäristöstä kerättyä tietoa ei voi välttämättä soveltaa muiden kasvukeskusten ympäristössä, koska luonnolliset taustapitoisuustasot ovat erilaisia eri puolilla maata.

Humuksessa monien alkuaineiden pitoisuudet korreloivat hehikutushäviön kanssa eli orgaanisen aineksen määrän kanssa. Korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä koko aineistossa seuraaville alkuaineille: elohopea, kadmium, molybdeeni, antimoni, fosfori, rikki, hiili ja bromi. Jos humuskerros on ohut, näytteeseen tulee helposti mukaan mineraalimaahan verrattuna hiilen, rikin, kadmiumin, elohopean ja lyijyn pitoisuudet ovat suhteellisen suuria humuksessa.

SUMMARY:

GEOCHEMICAL BASELINES AROUND THE HELSINKI METROPOLITAN AREA.

The Geological Survey of Finland (GTK) studied geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area (the municipalities or cities of Kirkkonummi, Vihti, Hyvinkää, Nurmijärvi, Järvenpää, Tuusula, Kerava and Sipoo) using topsoil, subsoil and humus samples in 2004–2005. The Quaternary geological map of the region is shown in Figure 1 and the extent of postglacial Lake Ancylus and Litorina Sea in Figures 2 and 3, respectively.

The aim of this study was to provide the regional environmental authorities with information on geological and diffuse anthropogenic baselines of different elements. 300 sample profiles represented the most common mineral soil types of the region. 98 sample pits were dug in sand and gravel formations, 102 profiles were made in glacial till soils and 100 in fine-grained sediments (clayey soils). The sampling sites are presented in Figure 4. Aqua regia extraction was used for mineral soil samples and nitric acid for humus samples. In addition to element concentrations, pH and loss of ignition (LOI) values were measured for both humus and mineral soil samples. Separate carbon measurements were taken from mineral samples. Analytical methods are summarized in Tables 1 and 2. The humus sampling method is shown in Figure 5. A general view and a close-up of a typical sampling site are shown in Figures 6 and 7.

GTK has previously carried out geochemical mapping of till on a regional scale in the area using subsoil samples. The analysed size fraction was <0.06 mm in the regional study while the <2 mm size fraction was used in the present study. Regional-scale samples were field composite samples from a 2 km x 2 km grid cell. The new samples were collected from single pits. If the difference in the analysed size fraction is taken into account, both studies give the same results in the median concentration range, but in the higher concentration levels the concentrations of several trace elements are higher in the new samples than in the regional geochemical maps as shown in Fig. 8.

Concentrations of most of the elements studied showed large natural variation in soils and humus. The chemical composition of mineral soil samples is summarized in Table 3. The baseline concentra-

tions of As, B, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Se, Tl, V and Zn exceeded the SAMASE guide values applied earlier to contaminated soils in Finland (Table 4 and Fig. 9). Chemical composition of humus samples is shown in Table 5.

Table 6 shows the results from forest soils compared with median values of another similar scale study around the city of Porvoo and national geochemical mapping. Concentrations of aluminium, iron, and some trace elements tend to be higher in the topsoil compared with subsoil in forest samples (Table 7). Topsoil samples consist mostly of an illuvial horizon of the podsol soil profile. There is good correlation between topsoil and subsoil concentrations suggesting a geologic origin of the distribution patterns (Table 8).

Concentrations from the arable soil samples are summarized in Table 9. Table 10 shows the enrichment of some elements (P, S, C, Cd, Pb, Hg, Mo) in agricultural topsoils. Potassium concentrations tend to be higher in subsoil samples. Histograms of potassium and phosphorus in topsoil and subsoil samples are shown in Figures 10 and 11, respectively.

Organic carbon content in minerogenic topsoil showed the strongest correlation with Hg (Fig. 12), Cd (Fig. 13), Ag, Mo, Pb and S.

Concentrations of most trace elements including heavy metals were highest in fine-grained (clay) soils. Concentrations of several trace metals such as copper, chromium and vanadium correlated with the clay fraction content both in topsoil and subsoil samples (see Figures 14 and 15).

The organic matter content in mineral topsoil showed good correlation with Hg, Ag, S, Pb and Cd, partly reflecting atmospheric deposition and other anthropogenic input. The concentrations of carbon, sulphur, cadmium, mercury and lead were relatively high in the humus samples compared with the mineral soils.

Sampling sites represented different geological units, and the metal concentrations in till were relatively high in the areas of gabbros and volcanites near the City of Hyvinkää (Figs. 16–18). However, the sampling density was too low to make reliable conclusions about the influence of bedrock on the soil geochemistry around the Helsinki metropolitan area.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- Bolviken, B., Bergström, J., Björklund, A., Kontio, M., Lehmuspelto, P., Lindholm, T., Magnusson, J., Ottesen, R. T., Steenfelt, A. & Volden, T. 1986.** Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia. Scale 1:4,000,000. Mapped by the Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden in co-operation with the Swedish Geological Co. and the Geological Survey of Greenland. Uppsala – Espoo – Trondheim. Korsnäs Offset Kb. 19 s., 155 liitekarttaa.
- Heikkinen, P. 2000.** Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Summary: Retention and migration of harmful substances in the soil. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150. 74 s., 1 liite.
- Hetemäki, L., Harstela, P., Hynynen, J., Ilvesniemi, H. & Uusivuori, J. 2006.** Suomen metsiin perustuva hyvinvointi 2015. Katsaus Suomen metsäalan kehitykseen ja tulevaisuuden vaihtoehtoihin. Metlan työraportteja 26. 250 s. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp026.htm>
- Jeltsch, U. & Pyy, O. 1994.** Maan saastuneisuuden arvioinnissa käytettävät ohje- ja raja-arvot. Puolanne, J. (toim.) Saastuneet maalueet ja niiden käsittely Suomessa. Helsinki: ympäristöministeriö. Ympäristösuojeluosaston muistio 5/1994, 53–62.
- Koljonen, T. 1992.** Results of the mapping. Julkaisussa: Koljonen, T. (toim.) Suomen geokemian atlas, osa 2: moreeni – The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 106–125.
- Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. & Pekkala, Y. (toim.) 1997.** Suomen kallioperäkartta – Berggrundskarta över Finland – Bedrock map of Finland 1:1 000 000. Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
- Kuivamäki, A. (toim.) 2006.** GeoTIETO-informaatiojärjestelmän kehittäminen yhdyskunta- ja ympäristösuunnittelua sekä rakentamista varten. Geologian tutkimuskeskus, raportti K 2142/2006/2. 163 s.
- Lintinen, P. 1995.** Origin and physical characteristics of till fines in Finland. Geological Survey of Finland. Bulletin 379. 83 s. + 2 liitettä.
- Lintinen, P. & Savolainen, H. 2001.** Uudet tavoitearvoehdotukset maaperän Cu-, Cr-, Ni- ja Zn-pitoisuudelle Suomessa – anomalia-taustasuhteen merkityksestä saastuneen maaperän puhdistustarpeen määrittelyssä. Abstract: Suggested new target values for Cu, Cr, Ni and Zn concentrations in contaminated soils – considerations regarding anomaly background ratio in cleaning of contaminated soils in Finland. Julkaisussa: Idman, H. & Rönkä, E. (toim.) Kestävä kehitys – tutkimuksen haasteet ja mahdollisuudet : GTK-SYKE -tutkimusseminaari 12.9.2001. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 153, 40–46.
- Lintinen, P. & Tarvainen, T. 2004.** Luontaiset metallipitoisuudet pilaantuneessa maaperässä. Kuntateknikka 59 (2), 44–47.
- Mäkelä-Kurtto, R. 1998.** Raskasmetalliriskit ja niiden hallinta maataloudessa. Julkaisussa: Riitta Salo (toim.). Sata vuotta maataloustutkimusta – mihin tutkimus ohjaa tuotantoa? : Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät : Jokioinen 12.–13.8.1998 : Esitelmät : Hundred years of agricultural research : Where does research lead production? : Symposium on agricultural production and research. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 38: s. 57–64.
- Mälkönen, E. 2003. (toim.)** Metsämaa ja sen hoito. Hämeenlinna: Metsäntutkimuslaitos ja Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 220 s.
- Pajunen, M. & Wasenius, P. 2005.** Tutkimusalueen kallioperän kehityksen pääpiirteet. Sivut 14–20 teoksessa A. Kuivamäki (toim.) KallioINFO-informaatiojärjestelmän kehittäminen yhdyskuntasuunnittelua ja kalliorakentamista varten. Vaihe I. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti K 2142/2004/3.
- Piispanen, J. 2001.** Metallipitoisuudet ympäristössä ovat pienentyneet. Metsäntutkimus 4/2001, 6. <http://www.metla.fi/asiakaslehti/2001/metsantutkimus2001-4.pdf>
- Reimann, C., Äyräs, M., Chekushin, V. A., Bogatyrev, I. V., Boyd, R., de Caritat, P., Dutter, R., Finne, T. E., Halleraker, J. H., Jäger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V. A., Räisänen, M. L., Strand, T. & Volden, T. 1998.** Environmental geochemical atlas of the central Barents region. Trondheim: Geological Survey of Norway. 745 s.
- Reimann, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bitjukova, L., Eriksson, J., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V., Matinian, N. N. & Pasieczna, A. 2003.** Agricultural Soils in Northern Europe : A Geochemical Atlas. Geol. Jb. Sonderheft SD 5 : 1–270; Hannover. ISBN 3 510 95906 X.
- Salminen, R. (toim.) 1995.** Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982–1994. English Summary: Regional geochemical mapping in Finland in 1982–1994. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 130. 47 p.
- Salminen, R. (toim.), Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P. J., Olsson, S. Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J. A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T. 2005.** Geochemical atlas of Europe. Part 1: Background information, methodology and maps. Espoo: Geological Survey of Finland. 525 s.
- Salminen, R., Kukkonen, M., Paukola, T. & Töllikkö, S. 1997.** Chemical Composition of clays in southwestern Finland. Julkaisussa: S. Autio (toim.) Geological Survey of Finland, Current Research 1995–1996. Geological Survey of Finland, Special Paper 23, 117–126.
- Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F. M., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, J. O., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J. A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., Vivo, B. de & Williams, L. 1998.** FOREGS geochemical mapping field manual. Geologian tutkimuskeskus. Opas 47 . 36 s. + 1 liite.
- Salminen, R., Bogatyrev, I., Chekushin, V., Glavatskikh, S.P., Gregorauskiene, V., Niskavaara, H., Selenok, L., Tenhola, M. & Tomilina, O. 2003.** Barents Ecogeochemistry – a large scale geochemical baseline study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland. In: S. Autio (toim.) Geological Survey of Finland, Current Research 2001–2002. Geological Survey of Finland, Special Paper 36, 45–52.
- Salminen, R., Chekushin, V., Tenhola, M., Bogatyrev, I., Glavatskikh, S. P., Fedotova, E., Gregorauskiene, V., Kashulina, G., Niskavaara, H., Polischuk, A., Rissanen, K., Selenok, L., Tomilina, O. & Zhdanova, L. 2004.** Geochemical Atlas of the Eastern Barents Region. Amsterdam: Elsevier. 548 s.
- Tamminen, P. 1991.** Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Folia Forestalia 777. 40 s.
- Tamminen, P. 2000.** Soil factors. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.) Forest condition in a changing environment – The Finnish case. Forestry Sciences, Vol. 65, 72–86.
- Tarvainen, T. 1995.** The geochemical correlation between coarse and fine fractions of till in southern Finland. Journal of Geochemical Exploration 54 (3), 187–198.
- Tarvainen, T. 1996.** Environmental applications of geochemical databases in Finland. Espoo: Geological Survey of Finland. 175 s.
- Tarvainen, T. & Kallio, E. 2002.** Baselines of certain bioavailable and total heavy metal concentrations in Finland. Applied Geochemistry 17, 975–980.
- Tarvainen, T. & Kuusisto, E. 1999.** Baltic Soil Survey: Finnish Results. In: Autio, S. (toim.) Geological Survey of Finland. Current Research 1997–1998. Geological Survey of Finland, Special Paper 27, 69–77.
- Tarvainen, T., Hatakka, T., Kumpulainen, S., Tanskanen, H., Ojalainen, J. & Kahelin, H. 2003.** Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Porvoon ympäristössä. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti S/41/3021/2003/1. 56 s. 1 liite.

Tarvainen, T., Hatakka, T. & Kuusisto, E. 2005. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Hyvinkää–Sipoo-alueella. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti S41/2043,2044/2005/1. 28 s.

Tarvainen, T. & Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Vihdin ja Kirkkonummen alueilla. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti S41/2032,2041/2006/1. 25 s.

Vanmechelen, L., Groenemans, R. & Van Ranst, E. 1997. Forest soil condition in Europe. Results of a large-scale soil survey. Technical Report. United Nations Economic Commission of Europe (UN/ECE), European Commission (EC), Forest Soil Co-ordinating Centre, the Ministry of the Flemish Community. Brussels, Geneva. 259 s.