

Geofysiikka maa- ja kallioperätutkimuksissa – sovelluksia maankuoren suurrakenteista ympäristönsuojeluun

H. Vanhala

Geologian tutkimuskeskus (GTK), heikki.vanhala@gtk.fi

Abstract

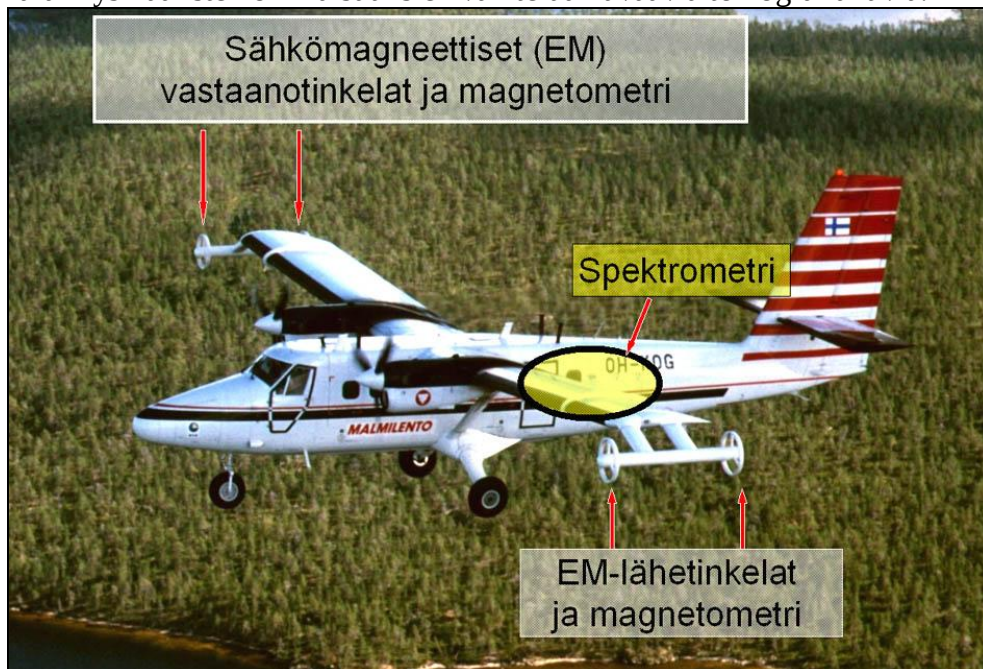
This paper discusses near surface geophysics in general and gives an example where it has been applied for characterizing a sulphide clay area near city Seinäjoki, Western Finland. The goal of this example, or a case study, is to demonstrate the usefulness of modern airborne and ground geophysical techniques for detailed 3D mapping and modelling of shallow structures. The Seinäjoki study area, having a size of size of 8 x12 km², was mapped using the airborne geophysical system of the Geological Survey of Finland (GTK). Ground electromagnetic, gravity and seismic measurements were also made, as well as sampling for laboratory studies.

1. JOHDANTO

Suuri yleisö liittää kivikehän geofysiikan usein pääasiassa suurten luonnonilmiöiden, kuten maanjäristysten ja tulivuorenpurkausten, havainnointiin ja ennustamiseen. Meitä lähempänä olevaa ja jokapäiväiseen elämäämme enemmän tai vähemmän vaikuttavaa geofysiikkaa tunnetaan sen sijaan huonommin. Energiavarojen ja raaka-aineiden etsintä ja kartoitus perustuvat paljolti nimenomaan geofysikaalisiin mittaus- ja luotaustekniikoihin; seismisiin, sähkömagneettisiin, gravimetrisiin ja magneettisiin menetelmiin. Viime vuosien aikana geofysiikan käyttö on laajentunut hyvinkin lähelle kansalaisen jokapäiväistä elämää, kuten maankäytön suunnitteluun, rakentamiseen, ympäristön suojeluun ja pohjaveden etsintään ja pohjavesialueiden kartoittamiseen. Geofysiikkaa käytetään laajasti maa- tai kallioperän ominaisuuksien ja rakenteen tutkimisessa, riippumatta siitä ovatko tutkittavat rakenteet luonnollisia, geologisissa prosesseissa syntyneitä, vai ihmisen aikaansaamia. Tämän kirjoituksen painopiste on geofysiikan menetelmissä, joilla tutkitaan maapeitteen ja kallioperän ylimmän kerroksen ominaisuuksia muutaman kymmenen tai sadan metrin syvyyteen. Tavoitteena on antaa kuva sovelletun geofysiikan tarjoamista mahdollisuuksista yhden esimerkkitapauksen, Seinäjoen-Ilmajoen savikko-alueen, tutkimusten valossa. Pohjanlahden rannikko-alueilla on laaja-alaisia ja paksuja sulfidi-pitoisia savikoita, jotka syntyivät Jääkauden jälkeen Itämeren Litorina-vaiheen aikana 9500-3500 vuotta sitten. Sulfidisaven sulfidien hapettuminen sulfaatiksi happamoittaa maaperää ja vesistöjä aiheuttaen moninaisia ongelmia maataloudelle, erilaisille teknisille rakenteille ja ympäristölle. Tässä paperissa esitellään aluksi suppeasti sovelletun geofysiikan menetelmiä ja lopuksi tarkemmin edellä mainitun sulfidi-alueen tutkimuksia.

1. SOVELLETUN GEOFYYSIIKAN MENETELMISTÄ

Sovelletulla geofysiikalla (applied geophysics) tarkoitetaan tässä sitä geofysiikan osaa jota käytetään maaperän ja kallioperän ominaisuuksien tutkimiseen malminetsinnän, raaka-ainetutkimuksen ja ympäristö-pohjevesitutkimuksen tarpeisiin. Mitattavat fysikaaliset suureet ovat maankamaran magneettiset ominaisuudet (magneettiset menetelmät), sähkönjohtokyky (sähköiset ja sähkömagneettiset menetelmät), tiheys (painovoimamenetelmät), täryaallon nopeus (seismiset menetelmät) ja luonnon gammasäteily (radiometriset menetelmät). Mittauksia tehdään Suomessa lentokoneesta (kuva 1), maanpinnalta ja kairarei'istä. Mitattavat fysikaaliset suureet ja suureista lasketut johdannaisuudet esitetään tasokarttoina tai mittaustuloksista tuotetaan 2-dimensionaalisia leikkauskuvia ja 3-dimensionaalisia maankamaran fysikaalisten ominaisuuksien vaihtelua kuvaavia tomografiakuvia.

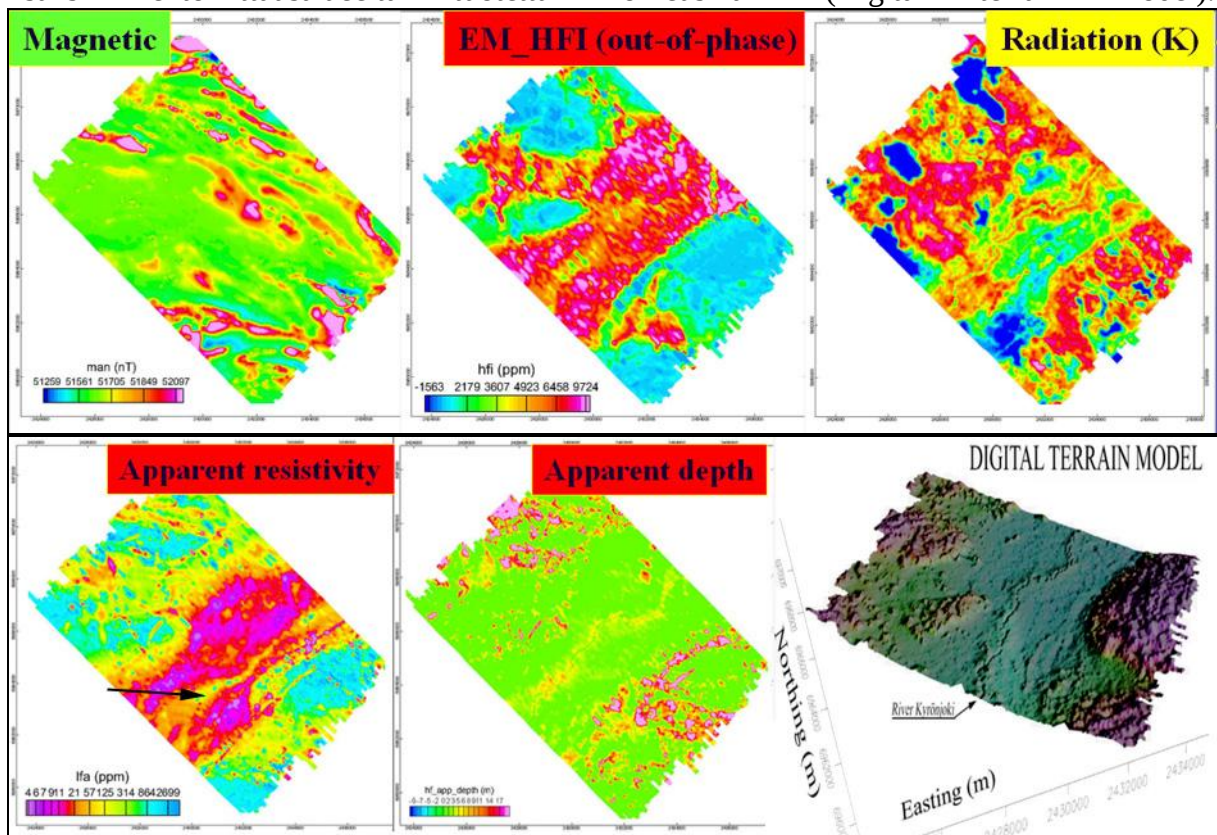


Kuva 1. Geologian tutkimuskeskuksen aerogeofysikaalinen mittausjärjestelmä - Sähkönjohtavuutta mittaavat EM-kelat on kiinnitetty siiven kärkiin (Poikonen ja muut, 1998). Myös magnetometrit ovat siivenkärjissä. Luonnon gammasäteilyä mittaava spektrometri koneen sisällä.

2. KORKEAN RESOLUUTION LENTOGEOFYYSIIKAN AINEISTO

Suomessa on maailman kattavin korkean resoluution lentogeofysikaalinen aineisto. Lähes koko Suomesta (95 prosenttisesti) on saatavilla 200 metrin linjavälillä ja 30 metrin lentokorkeudella mitattu magneettinen, sähkönjohtavuus ja radiometrinen aineisto. Lentogeofysiikan aineisto toimii Suomessa perusmateriaalina kaikissa merkittävässä alueellisissa ja kohteellisissa geologisissa hankkeissa raaka-ainekartoituksista ympäristögeologisiin tutkimuksiin. Kuvassa 2 on esimerkki GTK:n nykyisen lentosysteemin tuottamista kartta-aineistoista. Magneettinen kartta kuvaa kallioperän rakenteita, sähkönjohtavuuskartat (apparent resistivity, EM_HFI) sekä kallioperän että maaperän ominaisuuksia. Kuvassa 2 Seinäjoen alueen sulfidisavikot erottuvat hyvin sähköä johtavina (punaiset ja violetit sävyt). Näennäinen syvyys (apparent depth) kuvaa sähköä johtavan kerroksen yläpinnan syvyyttä. Säteilykartassa (radiation, K) kuvataan radioaktiivisen

kaliumin synnyttämää gammasäteilyä. Kaliumin lisäksi tuotetaan automaattisesti uraani ja thorium pitoisuuksia ja kokonaissäteilyä kuvaavat kartat. Gammasäteily absorboituu tehokkaasti veteen, joten säteilykartoissa vesistöt ja kosteikot erottuvat heikosti säteilevinä kohteina (kuva 2). Graniittiset kallioalueet ja lannoitetut pellot erottuvat kalium-komponentti kartassa tyypillisesti anomaalisina, ympäristöään voimakkaammin säteilevinä. Veden säteilyä absorboivaa vaikutusta voidaan hyödyntää mm. määrittäessä lumen vesiarvoa tai suon turvekerroksen paksuutta. Kuvassa 2 on magneettisen, sähkönjohtavuus ja säteilykartan lisäksi lentomittausalueelta tuotettu korkeusmalli (Digital terrain model).

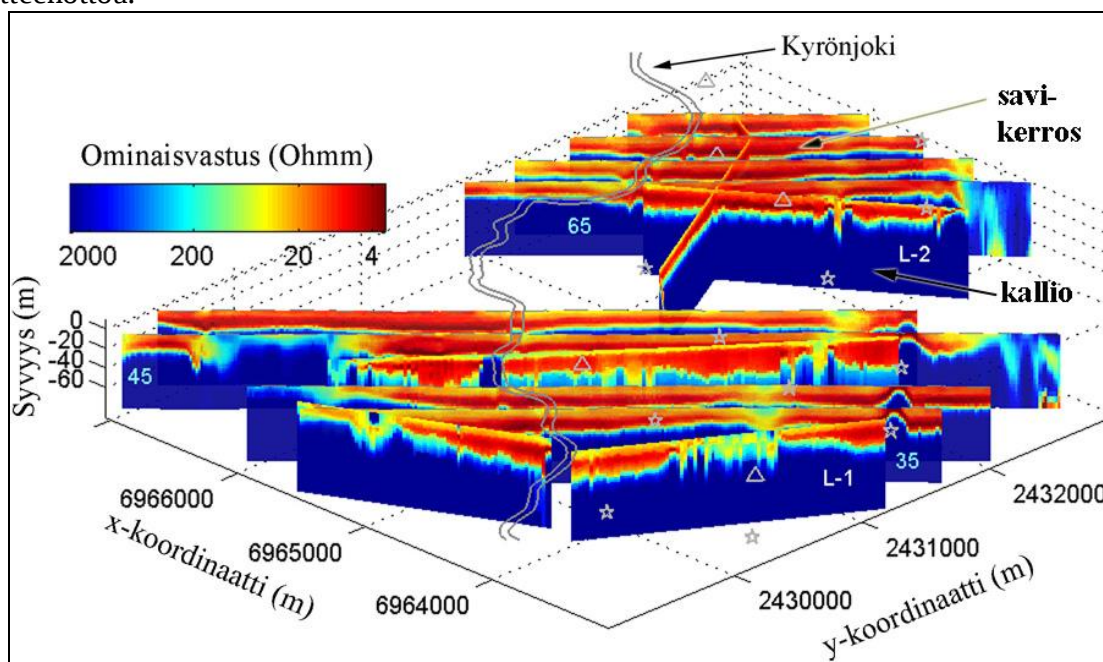


Kuva 2. Kuvan 1 aerogeofysiikan mittausjärjestelmän tuottamia karttoja; magneettinen, sähkönjohtavuus (EM_HFI ja apparent resistivity), säteily (Radiation, K), sähköisen johteen näennäinen syvyys, korkeusmalli (Digital terrain model). 12x8 km², Ilmajoen Seinäjoen seutu, 200 metrin linjaväli, 35 metrin lentokorkeus.

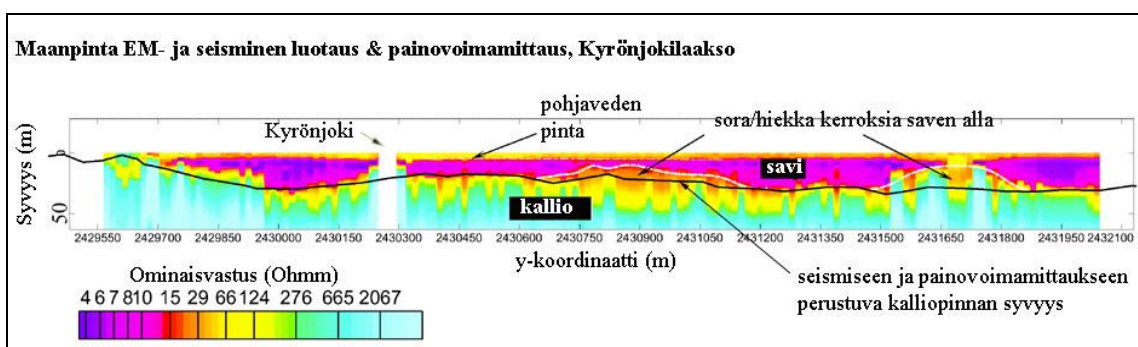
3. SEINÄJOEN-ILMAJOEN SAVIKKOALUE JA PIILOHARJU

Geofysiikan tavoitteena on tuottaa sekä alueellisesti kattava että tarkka kuva maankaran rakenteista ja ominaisuuksista. Tarkka rakennemalli edellyttää aina kairauksia, joilla malli ”kalibroidaan”. Kuvassa 2 kartoituksen kohteena on ollut savikkoalue Seinäjoen länsipuolelta. Länsirannikon savikot ovat tyypillisesti ns. sulfidisavikoita, mikä tarkoittaa että saven sulfidi- ja raskasmetallipitoisuus on korkea (Åström, 1996). Siellä missä luonnollisen maannousun, ojituksen tai muusta syystä johtuvan pohjaveden pinnan laskun seurauksena savikerrosten pintaosat joutuvat vuorovaikutukseen ilman kanssa, sulfidi hapettuu sulfaatiksi ja syntyy happamia alunamaita. Pelto- ja metsämaiden ja edelleen puro- ja jokivesien happamoituminen ja liuenneet raskasmetallit aiheuttavat merkittäviä ongelmia mm. maataloudelle, rakentamiselle ja kalataloudelle. Geofysiikka on osoittautunut erittäin tehokkaaksi keinoksi ongelmallisten savikoiden kartoittamisessa.

Sulfidisaven sähkönjohtavuus poikkeaa muista maalajeista ja tavallisista savista niin että savikkoalueet pystytään rajaamaan lentosähköisiltä kartoilta (Kuva 2). samala saadaan kuva myös savikerrosten paksuudesta (Peltoniemi, 1982, Puranen et al., 1999a, 1999b). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa malli, josta ilmenee savikerrosten tarkat paksuudet, pohjaveden pinnan syvyys, saven ominaisuuksien alueellinen vaihtelu, mahdolliset savenalaiset hiekka/sora- ja pohjavesivarat ja kallioperän rakenteet. Tarkka malli edellyttää lentodatan lisäksi myös kairauksia ja monipuolista geofysiikan menetelmien käyttöä jayhteistulkintaa. Kuvan 2 alueella tehtiin lentomittauksen lisäksi painovoima, ja seismisiä mittauksia, maanpinta-sähkönjohtavuusmittauksia ja joitain referenssikairauksia ja näytteenottoa.



Kuva 3. 3D sähkönjohtavuusjakauma, Seinäjoen-Ilmajoen seutu. Lento-EM- ja maasto-EM-data. Savikerrokset erottuvat punaisina (pieni ominaisvastus), kallio sinisenä.

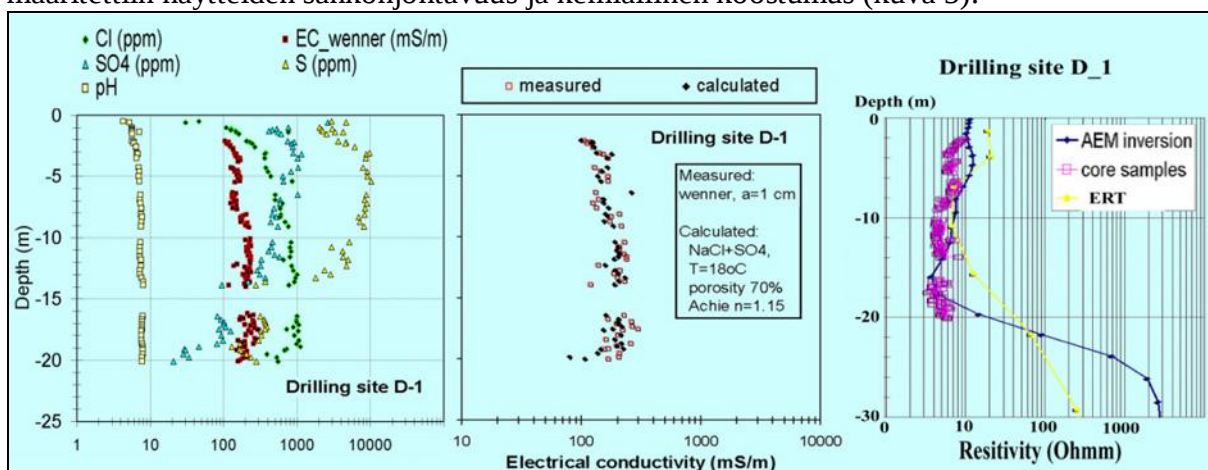


Kuva 4. Leikkauskuva Seinäjoen-Ilmajoen alueelta, sähkönjohtavuuden vaihtelu on esitetty värisävyillä, kalliopinnan syvyys perustuu painovoima- ja seismiseen mittaukseen (ks myös kuva 4).

GTK:n 2-taajuus lento-EM-data mahdollistaa sähkönjohtavuusjakauman määrittämisen myös syvyysuunnassa. Kuvassa 3 on esimerkki sähkömagneettisen (lento- ja maasto-EM-linjoja) mittauksen tulkinnasta Seinäjoen alueelta (Suppala et al., 2005). Hyvin sähköä johtavan

savikon paksuus on suurimmillaan 25-30 metriä. Kuvassa 4 on leikkaus samalta alueelta. Savikon paksuus, kalliopinta, pohjaveden pinta ja saven alaiset sora/hiekka-kerrostumat erottuvat selvästi. Kuvan 4 oikeassa laidassa oleva sora/hiekka-kerrostuma on savenalainen ”piiloharju” (Lintinen et al., 2003), joka näkyy myös kuvan 2 ”apparent resistivity” kartassa pitkänomaisena kartta-alueen läpi ulottuvana kohonneen ominaisvastuksen (kelta-vihreät sävyt) piirteenä (musta nuoli).

Kuvissa 3 ja 4 esitetyillä menetelmillä saadaan kartoitettua savikkoalueen keskeiset rakenne-elementit. Saadaanko savikon ominaisuuksista muuta tietoa kuin edellä mainituissa kuvissa esiintyvät piirteet, riippuu tilanteesta. Seinäjoen alueelta otettiin kairausnäytesarjoja, joista määritettiin näytteiden sähkönjohtavuus ja kemiallinen koostumus (kuva 5).



Kuva 5. Seinäjoen-Ilmajoen tutkimusalue, kairauspisteen D-1 näytteiden kloridi- (Cl), Sulfaatti- (SO4), rikki- (S) pitoisuus, pH ja sähkönjohtavuus (vasen kuva), näytteistä mitattu ja kemiallisista analyysituloksista laskettu sähkönjohtavuus (keskellä) ja lentodatasta lasketun sähkönjohtavuuden vertaaminen näytetuloksiin ja maanpintamittaukseen.

Sähkönjohtavuuden ja kemian tulosten vertailu osoitti että, savikon suolaisuus (NaCl) ja sulfaatti-pitoisuus selittävät merkitsevän hyvin sähkönjohtavuuden vaihtelun pohjaveden pinnan alapuolisissa kerroksissa. Edelleen, vertailu näytteestä mitattujen sähkönjohtavuusarvojen ja lento- ja maanpintageofysiikan tulosten välillä osoitti että geofysiikan keinoin määritetty sähkönjohtavuusjakauma on hyvin lähellä todellista sähkönjohtavuuden vaihtelua (Suppala et. al., 2003, Vanhala, et al., 2004). Koska geofysiikan keinoin mitattava maan kemiallisia ominaisuuksia kuvaava suure, sähkönjohtavuus, määräytyy pitkälti kloridin ja sulfaatin yhteispitoisuudesta, ei suoraan saada tietoa varsinaisesta ongelmasta, rikkipitoisuudesta. Lisäksi kuvasta 5 näkyy että vain osa rikistä esiintyy sulfaattina, suurimman osan ollessa sulfidina. Jos voidaan olettaa että tietyllä alueella sedimentaatio-olosuhteet ovat olleet yhteneväiset, ja että alkuaineiden ja ionien ja sähkönjohtavuuden väliset riippuvuudet samankaltaisia, voidaan lento- ja maanpinta-EM-mittausten perusteella laskea ennusteita rikki- ja sulfaattipitoisuudelle.

4. LOPUKSI

Mittaus-, laskenta ja tulkintatekniikoiden kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi aitojen 3-dimensionaalisten tomografia-kuvien ja mallien tuottamisen myös geofysiikassa. Tässä kirjoituksessa on tarkasteltu yhden maastoiesimerkin ja muutaman menetelmän valossa geofysiikan käyttöä maaperän ominaisuuksien ja rakenteen tutkimiseen. Sama toimintamalli –

alueellisen, kohteellisen ja pistemäisen tiedon yhdistäminen niin että lopputuotteena saadaan kohteen rakennetta ja ominaisuuksia mahdollisimman hyvin kuvaava malli – on osoittautunut esimerkkialueen lisäksi hedelmälliseksi hyvin monissa tutkimustilanteissa.

5. LÄHTEET

- Lintinen, P., Suppala, I., Vanhala, H. and Eklund, M. 2003. Survey of a buried ice-marginal deposit by airborne EM measurements - a case from Kyrönjoki valley plain in southern Ostrobothnia, Finland. *In: Autio, S. (ed.) Geological Survey of Finland, Current Research 2001-2002. Geological Survey of Finland. Special Paper 36*, 67-75
- Peltoniemi, M., 1982. Characteristics and results of an airborne electromagnetic method of geophysical surveying: *Geological Survey of Finland Bulletin 321*, Espoo, 229 p.
- Poikonen, A., Sulkanen, K., Oksama, M., and Suppala, I., 1998. Novel dual frequency fixed wing airborne EM system of Geological Survey of Finland (GTK): *Exploration Geophysics 29* (1-2), 46-51.
- Puranen, R., Sahala, L., Säävuori, H., and Suppala, I., 1999a. Airborne electromagnetic surveys of clay areas in Finland. *In: Autio, S. (ed.), Geological Survey of Finland, Current Research, 1997-1998. Geological Survey of Finland, Special Paper 27*, 159-171.
- Puranen, R., Säävuori, H., Sahala, L., Suppala, I., Mäkilä, M., and Lerssi, J., 1999b. Airborne electromagnetic mapping of surficial deposits in Finland. *First Break 17* (5), 145-154.
- Suppala, I., Vanhala, H. and Lintinen, P. 2003. Comparison between ground and airborne EM data in mapping acid sulphate soils and sulphide bearing clays in the river Kyrönjoki valley, Western Finland. *In: 9th EEGS Meeting, Prague, Czech Republic, August 31st - September 4th 2003: proceedings. Prague: Czech Association of the Applied Geophysicists*, 4 p.
- Suppala, I., Lintinen, P. and Vanhala, H., 2005. Geophysical characterizing of sulphide rich fine-grained sediments in Seinäjoki area, Western Finland. *To be published in: Autio, S. (ed.) Geological Survey of Finland, Current Research 2003-2004. Geological Survey of Finland. Special Paper.*
- Vanhala, H., Suppala, I., Lintinen, P. 2004. Integrated geophysical study of acid sulphate soil area near Seinäjoki, southern Finland [*Electronic resource*]. *In: Sharing the Earth: EAGE 66th Conference & Exhibition, Paris, France, 7-10 June 2004E: extended abstracts. Houten: EAGE*, 4 p.. Optical disc (CD-ROM)
- Åström, M., 1996. Geochemistry, chemical reactivity and extent of leaching of sulphide-bearing fine-grained sediments in southern Ostrobothnia, Western Finland. *Åbo Akademi University*. 44 p. (dissertation).