



4. TAATA I ALUEEN AEROGEOFYSIKAALISET OMINAISUUDET

Hilkka Arkimaa ja Meri-Liisa Airo

4.1 Aerogeofysikaalinen aineisto

TAATA-hankkeen tutkimusalueelta on käytettävissä GTK:n ns. matalalentogeofysiikka, joka on osa koko Suomen kattavaa lentomittausaineistoa. Systemaattinen lentomittauskartoitus koko maasta on tehty vuosina 1972-2007. Lentokorkeutena on ollut 30-40 metriä ja lentolinjojen väli 200 metriä joitakin tihennysmittauksia lukuun ottamatta. Lentolinjat kulkevat pohjoisesta etelään tai idästä länteen, poikkisuuntaan mitatun alueen geologisten rakenteiden pääasiallista suuntautumista. Yhtäaikaisesti on mitattu maan magneettikenttää, maankamaran sähkömagneettista kenttää sekä luonnon gammasäteilyä.

TAATA-hankkeen alueella lentomittauksia on tehty hyvin monessa vaiheessa vuosien 1977-2007 aikana (kuva 1). Kaikkiaan kolmentoista eri ajankohdan mittauksista koostuva aineisto on interpoloitu tasaväliseksi pisteverkoksi, jossa pisteväli on 50 metriä. Tätä aineistoa on käsitelty kuvamuodossa tuottaen erilaisia muunnoksia aineistoista geologista tulkintaa varten. Tarkempaa tietoa lentomittausaineistojen saatavuudesta, eri lentomittausalueista ja eri vuosina käytetyistä mittauslaitteistoista löytyy osoitteesta www.gtk.fi/aerogeo. Lentomittaustekniikasta, laitteistosta ja aineistojen käsittelystä löytyy lisää informaatiota myös julkaisusta Hautaniemi et al. (2005).

Taajama-alueiden tutkimuksissa aerogeofysikaalisia mittauksia on aiemmin hyödynnetty Helsingin seudun KallioINFO-projektissa (Kuivamäki et al., 2004,2006). Taajama-alueilla geofysikaalinen lentomittausaineisto sisältää informaatiota paitsi maankamaran fysikaalisten ominaisuuksien vaihteluista myös ihmisen toiminnasta (esim. rakennukset, tiet, voimalinjat, kaatopaikat tai pilaantuneet alueet).

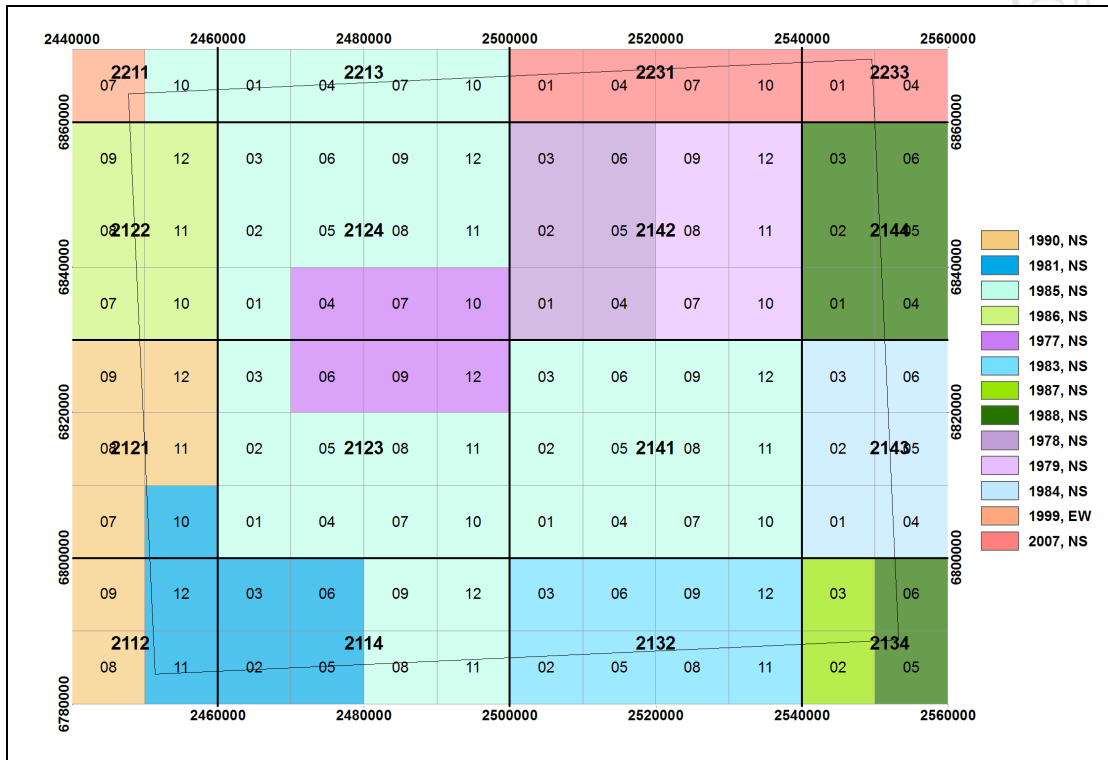
4.1.1. Aeromagneettinen aineisto

Ihmisen toiminta aiheuttaa vähiten muutoksia magneettiseen mittausaineistoon. Magneettisen aineiston syvyysulottuvuus on myös laajin sillä anomalian lähde voi olla jopa kilometrien syvyydessä. Maankamaran magneettisuuden vaihtelut johtuvat pääasiassa magneettisten mineraalien - magnetiitin ja magneetikiihun - jakaumasta kallioperässä. Magneettisesta aineistosta voidaan tulkita kallioperän kivilajivaihteluita sekä kallioperän rakenteita ja rikkonaisuutta vesistöjen ja irtomaapeitteen alla. Erilaiset deformaatiomuodot kuten siirros- ja ruhjevyyhykkeet, poimukuviot ja ylityönnöt aiheuttavat niille tyypillisiä anomaliakuvioita. Syvällä olevat magneettiset lähteet aiheuttavat yleensä laaja-alaisia ja loivapiirteisiä anomaliakuvioita kun taas pinnanläheiset kohteet aiheuttavat teräväpiirteisiä anomaliakuvioita.

Poistamalla laskennallisesti alueelliset laaja-alaiset anomaliat saadaan korostettua paikallisia anomaliaita, joita voidaan käyttää kallioperän rakennepiirteiden tulkinnassa. Alueellisanomaliaita voidaan poistaa mm. käyttämällä lineaarisia suodattimia. Vinalaisutekniikalla voidaan myös korostaa paikallisia anomaliaita.



GTK



Kuva 1. GTK:n suorittamat aerogeofysikaaliset mittaukset TAATA-alueella (viivalla rajattu). Kunkin alueen mittausvuosi ja lentosuunta esitetty vieressä.

4.1.2 Aerosähkömagneettinen aineisto

Sähkömagneettisissa lentomittauksissa mitataan maankamaran johteeseen indusoitunutta suhteellista kenttää, jossa mittaussuureina ovat kentän ns. reaali- ja imaginäärikomponentti. Vuoteen 1995 saakka mittauksia on tehty n. 3 kHz:n taajuudella. Vuosina 1996 - 2006 taajuuksia oli käytössä kaksi: 3 kHz ja 14 kHz. Sen jälkeen on käytössä ollut neljä taajuutta 0,9, 3, 12 ja 24,5 kHz. Syvyysulottuvuus sähkömagneettisilla lentomittauksilla on alle 100 m. Matalammilla taajuuksilla saadaan tietoa syvempää maankamarasta, kun taas korkeammat taajuudet kertovat johtavuuden vaihtelusta maanpinnalla. Reaali- ja imaginäärikomponentista voidaan laskennallisesti tuottaa esim. ns. näennäinen ominaisvastus tai reaali/imaginääri-suhdekartta kuvaamaan maankamaran johteita.

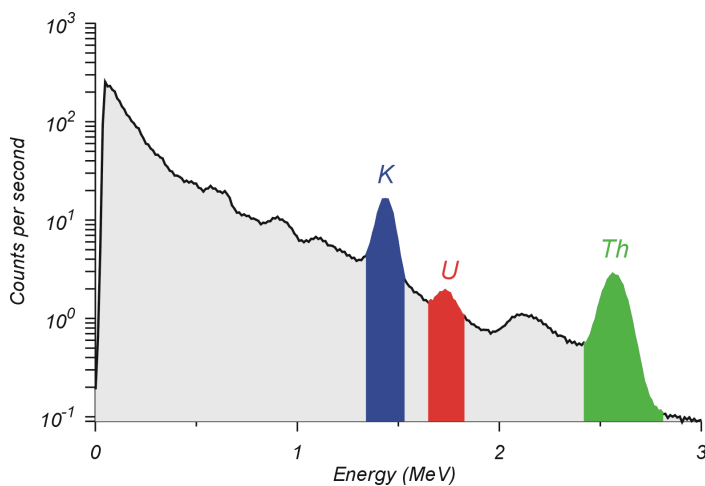
Sähköisillä mittauksilla saadaan tietoa kallioperän sähkönjohtavuudesta ja johtavien kerrosten paksuusvaihteluista. Merkittävimpiä sähkönjohtavuutta aiheuttavia mineraaleja kallioperässä ovat grafiitti ja sulfidit. Maaperä voi olla hyvin johtavaa, jos se sisältää savikoita ja liejukerrostumia. Savimineraalit ja vesipitoisuus ovat syynä siihen, että kallioperän ruhjeet ja rikkonaisuusvyöhykkeet ovat yleensä hyvin erotettavissa aerosähköisestä aineistosta. Ympäristöstään paremmin johtavina erottuvat myös turvemudostumat ja vesistöt. Taajamat näkyvät yleensä johtavina rakennusten, voimalinjojen ja teiden vuoksi, jolloin maankamaran mahdolliset johteet peittyvät niiden alle.



GTK

4.1.3 Aeroradiometrinen aineisto

Gammasäteilymittausten avulla saadaan tietoa maankamaran radioaktiivisten aineiden, kaliumin, uraanin ja thoriumin pitoisuuksista. Radiometrisissä matalalentomittauksissa spektrometrillä rekisteröidään gammasäteilyä energiaväliltä 0.04 - 3 MeV. Tuleva gammasäteily jaetaan kanaviin (256 kanavaa vuodesta 1977 lähtien), joista käytetään kolmea energiaikkunaa kaliumin, uraanin ja thoriumin hajoamissarjojen voimakkaimpien säteilijöiden määrittämiseen (kuva 2). Kalium määritetään ^{40}K :n piikistä energiatasolla 1.46 MeV. Uraani määritetään sen hajoamissarjassa olevan ^{214}Bi -piikin kohdalta energiatasolla 1.76 MeV ja thorium hajoamissarjassaan olevan ^{208}Tl :n piikin kohdalta energiatasolla 2.62 MeV. Totaalisäteily mitataan koko energiaväliltä 0.04 – 3 MeV. Matalalentokampanjan aikana sekä kideilavuus, että kanavien lukumäärä on kasvanut mikä on parantanut mittausten laatua.



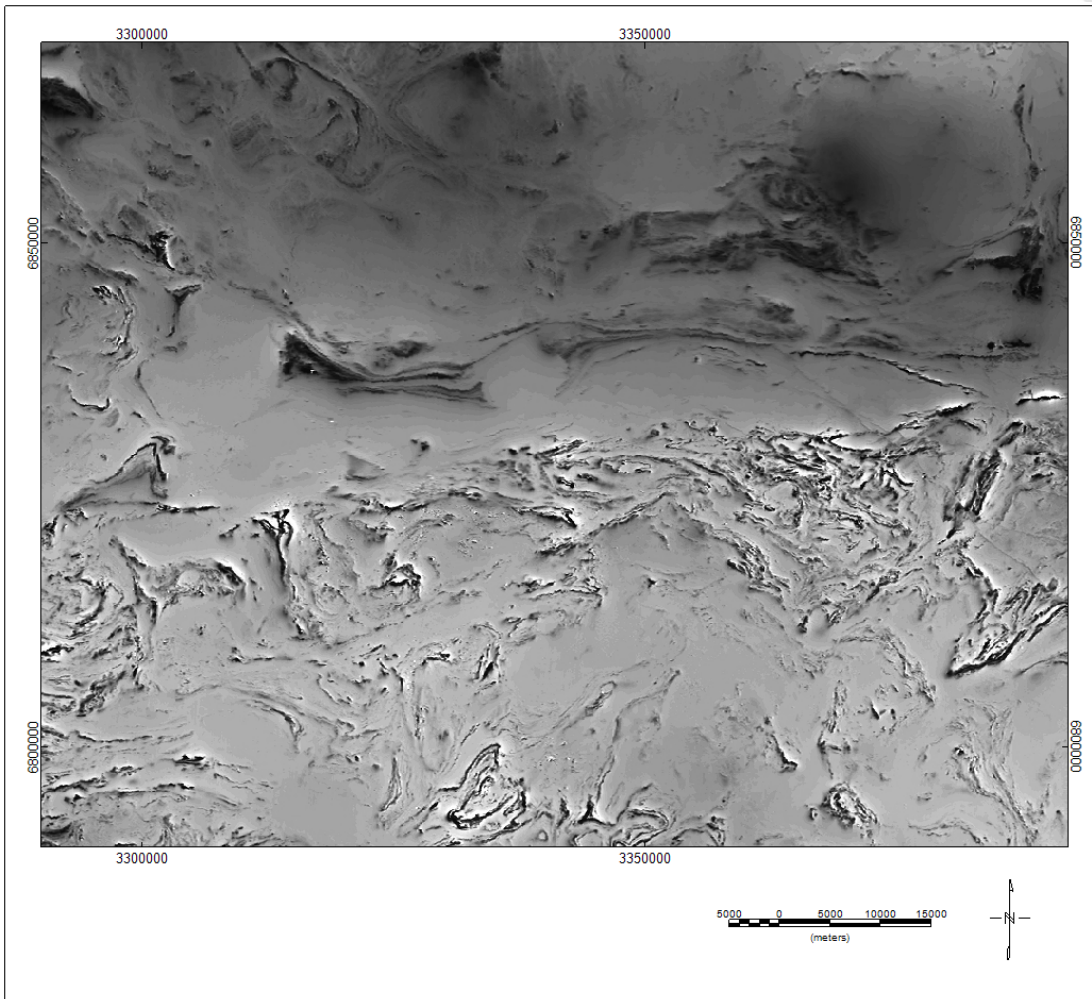
Kuva 2. Tyypillinen gammasäteilyspektri. Lähde: Hyvönen et al. 2005

Gammasäteily vaimenee nopeasti maaperässä, joten sillä saadaan tietoa vain pintakerroksista, muutamien kymmenien senttimetrien syvyydeltä. Paljastuneilla tai ohuen maapeitteen alueilla gammasäteilyaineisto voi kuvastaa kallioperän koostumusta. Missä irtomaakerrokset ovat paikallisia, niiden säteilytaso voi epäsuorasti kuvastaa alla olevaa kallioperää. Kosteus vaimentaa tehokkaasti gammasäteilyä minkä vuoksi vesistöt ja suot näkyvät hyvin gammasäteilykartoilla.

Kaliumin, uraanin ja thoriumin pitoisuudet magmakivilajeilla lisääntyvät happamuuden kasvaessa. Sedimentti- ja metamorfisten kivilajien radioaktiivisuus riippuu lähtömateriaalista ja geologisista prosesseista joiden läpi ne ovat kulkeneet. Kivilajien savipitoisuus lisää niiden radioaktiivisuutta. Maaperämuodostumista savikot ovatkin yleensä voimakkaita säteilijöitä.

4.2 Aerogeofysikaaliset kartat GeoTIETO-järjestelmässä

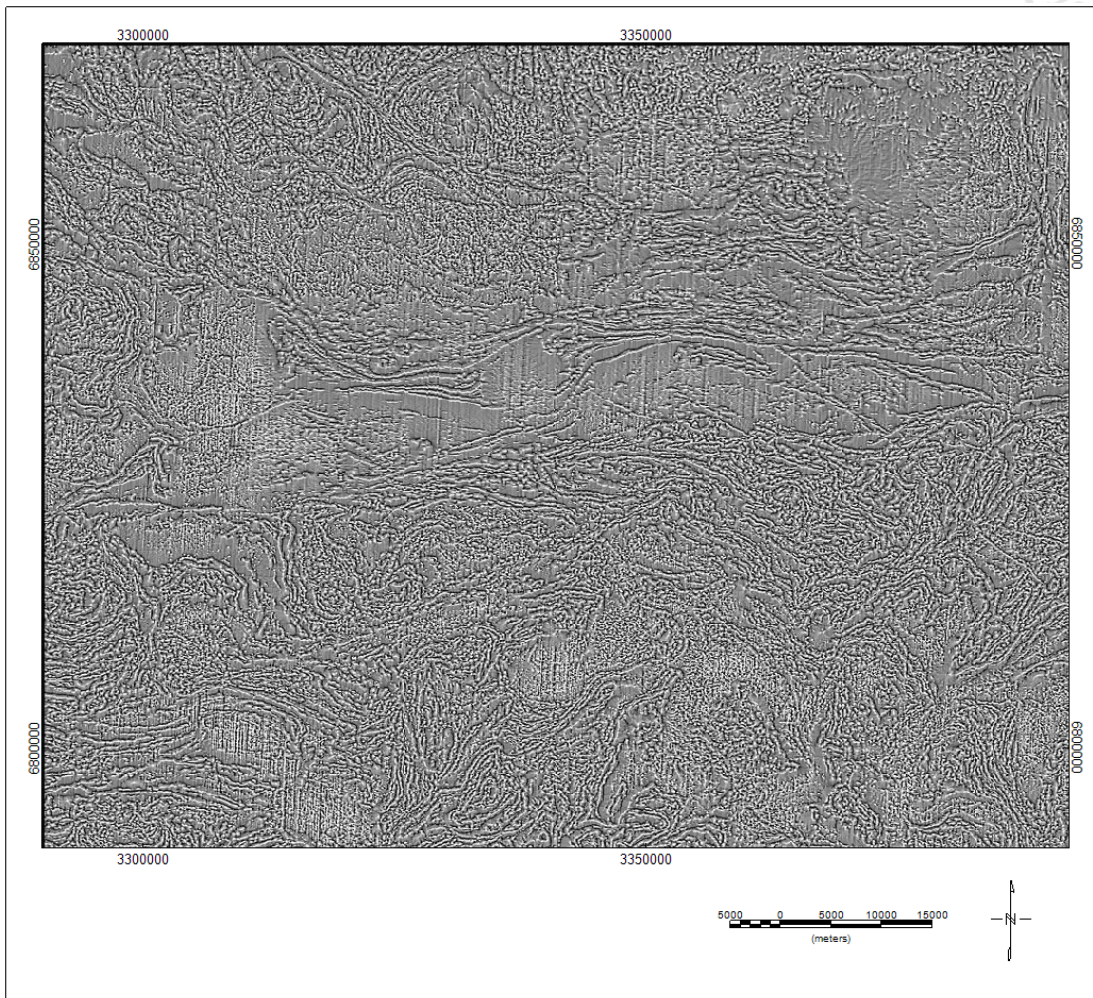
4.2.1 Magneetikenttäkartta



Kuva 3. Harmaasävykuva magneettisesta totaali-intensiteetistä (MTI). Voimakkaat magneettiset anomaliat mustia.

TAATA- alueen kallioperän yleispiirteet erottuvat hyvin magneettisella totaali-intensiteetikartalla (kuva 3). Magneetikenttäkartalla korostuvat geologisesti erilaiset vyöhykkeet: Keski-Suomen granitoidivyöhyke pohjoisessa, Tampereen liuskejakso keskivaiheilla ja Pirkanmaan migmatiittivyöhyke eteläosassa, jotka poikkeavat anomaliakuvioinniltaan selvästi toisistaan.

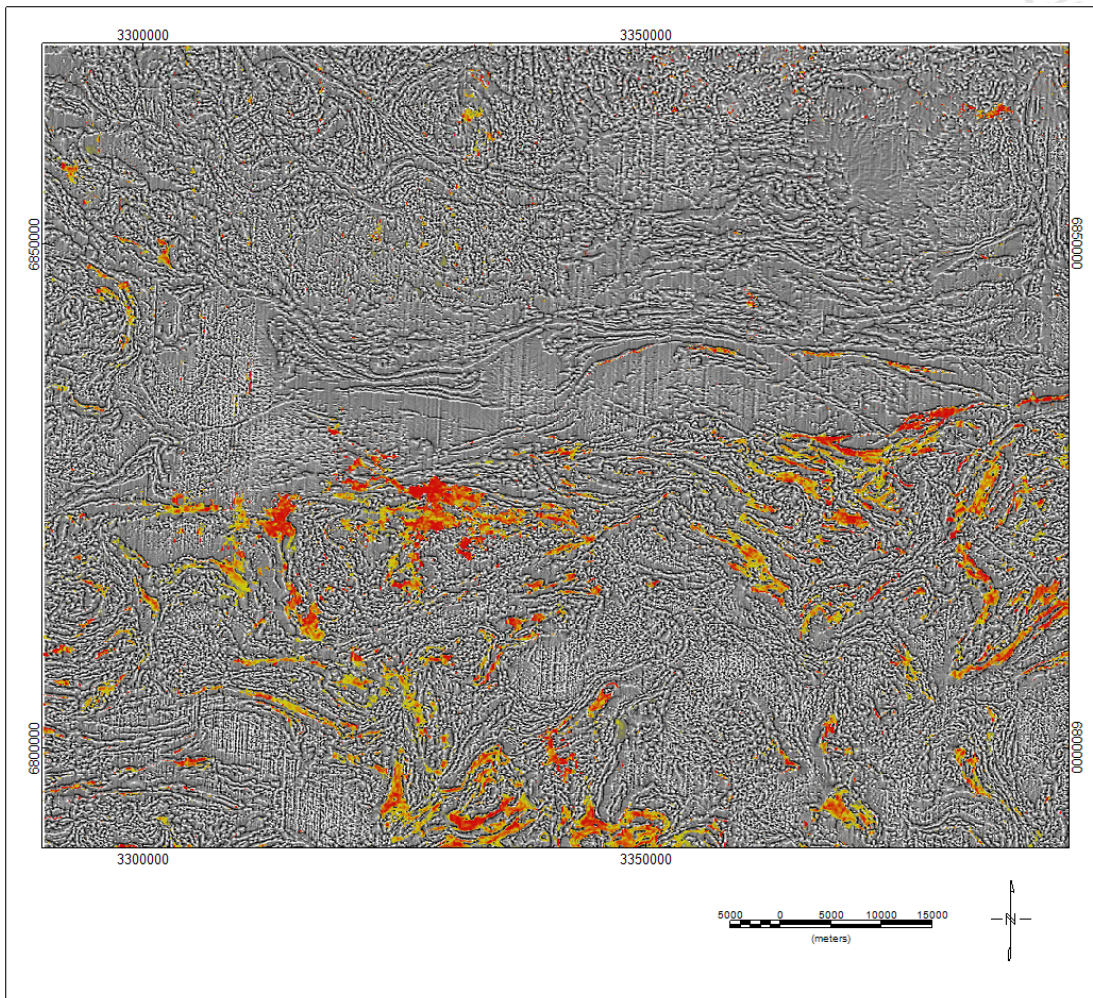
4.2.2 Rakennekartta



Kuva 4. Paikallisten magneettisten anomalioiden kartta (paikallissuodatettu MTI).

Aeromagneettiseen aineistoon perustuva paikallisten magneettisten anomalioiden kartta kuvaa kallioperän pinnanläheisiä rakenteita. TAATA-alueen rakennekartalla (kuva 4) karttakuvaa dominoivat taipuilevat anomaliajaksot, jotka alueen eteläosassa liittyvät migmatiittivyöhykkeen poimurakenteisiin ja pohjoisosassa pääasiassa granitoidien sisäiseen rakennevaihteluun. Tampereen liuskejakson itä-läntiset rakenteet ja diabaasijuoniin liittyvät lineaariset luode-kaakko-suuntaiset anomaliat leikkaavat poimurakenteita.

4.2.3 Johdekartta

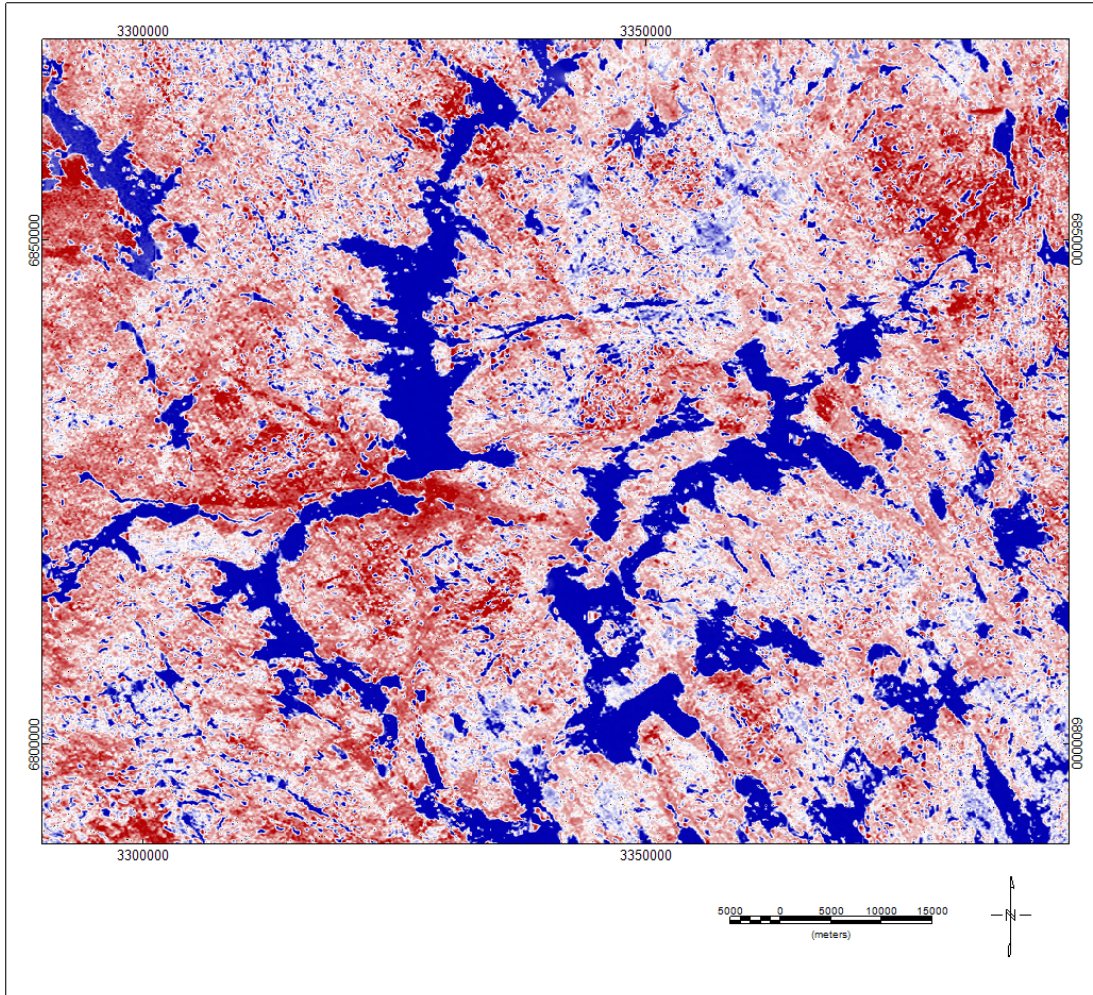


Kuva 5. Sähkönjohtavuuskartta. Värilliset alueet ovat hyviä sähkönjohteita. Ne on esitetty aeromagneettisella rakennekartalla.

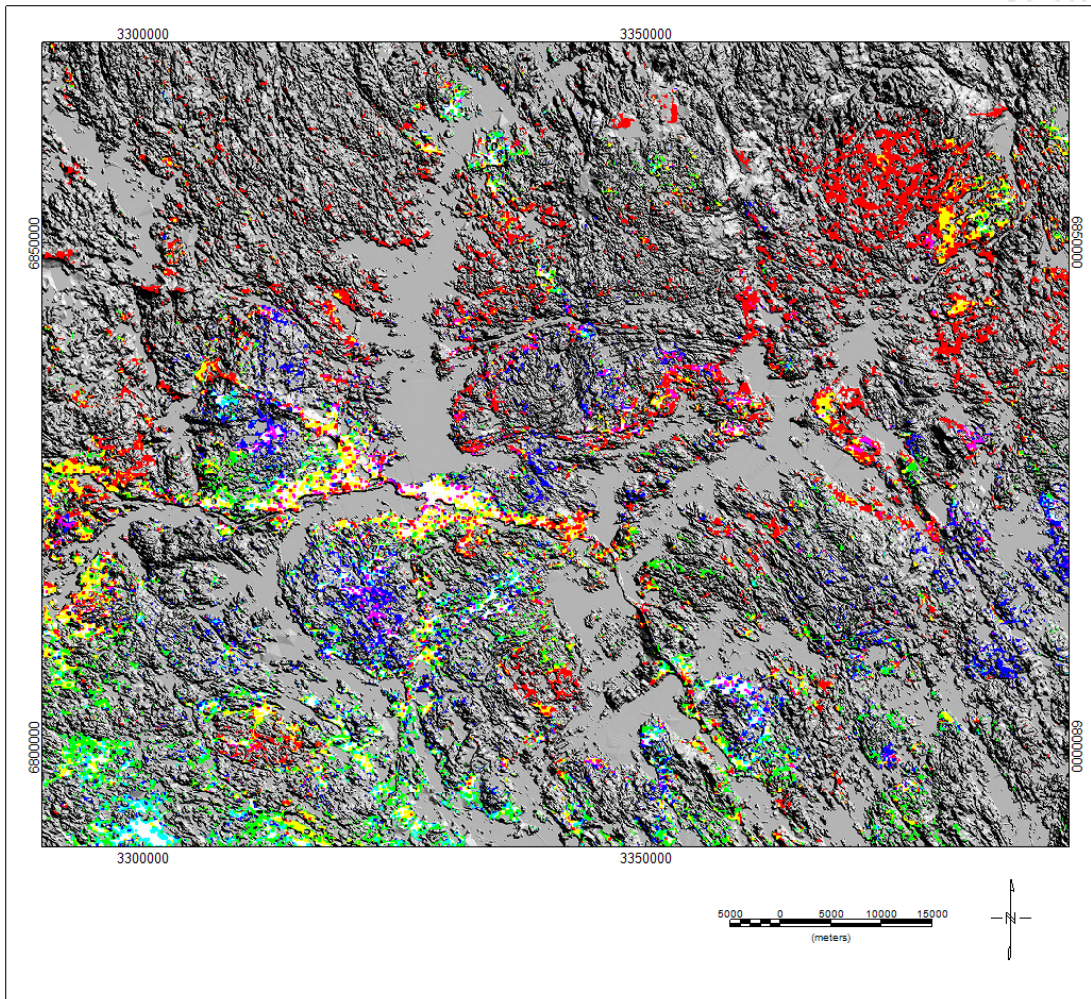
TAATA-alueella kallioperän sähkönjohteita esiintyy pääasiassa Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeellä. Alueen nauhamaiset johdeanomaliat (kuva 5) korreloivat magneettisten paikallisanomalioiden kanssa ja johtuvat pääasiassa mustaliuskeista. Mustaliuskeet sisältävät grafiittia, magneettista magneettikiisua ja muita sulfidi-mineraaleja, jotka aiheuttavat niiden geofysikaalisen erikoislaatuisuuden.

4.2.4 Säteilykartta

Kokonaissäteilyn voimakkuus TAATA-alueella heijastaa kivilajivaihtelua alueilla, joissa kallioperä on hyvin paljastunutta (kuva 6). Ympäristöstään erottuvat pohjoisosan granitoidivaltaiset alueet ja eteläosan migmatiittivyöhykkeellä muutamat kalliolohkot.



Kuva 6. Kokonaissäteilyn voimakkuus kasvaa punaisen intensiteetin kasvaessa. Siniset alueet ovat järvalueita.



Kuva 7. Ympäristöään voimakkaamman säteilyn alueet esitettynä korkeusmallin päällä. Punainen = kaliumpitoisuus, vihreä = thoriumpitoisuus ja sininen = uraanipitoisuus. Summavärit: valkoinen = K+Th+U, keltainen = K+Th, violetti = K + U, turkoosi = Th + U.

Verrattaessa säteilyaineistoa kallioperäkarttaan nähdään, miten eri alueet liittyvät kivilajeihin. Säteily liittyy joko paljastuneisiin kallioalueisiin tai siihen, että moreenin alla olevaa kivilajia esiintyy runsaasti moreenin joukossa. Etenkin mustaliuskeet helposti rapautuvina leviävät ympäröivään irtomaahan. Tampereen liuskevyöhykkeen pohjoispuolella esiintyy runsaasti happamia syväkiviä, jotka säteilykartalla erottuvat kaliumpitoisuutensa perusteella punaisina alueina (kuva 7). Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeellä uraani- ja thoriumpitoisuus dominoi ja alueet tunnistaa sinisen ja vihreän sävyistä. Erityisesti ympäristöään korkeampi uraanipitoisuus liittyy muutamaani alueisiin, joissa esiintyy runsaasti mustaliuskeita.



GTK



4.2.5 Magneettiset lineamentit

4.2.5.1 Alueelliset lineamentit (> 1 km)

Taajama-alueilla kallioperän rikkonaisuus ja heikkousvyöhykkeet ovat erityisen mielenkiinnon kohteena, koska niillä on vaikutusta rakennettavuuteen. Magneettikenttäkartalla esiintyvät suoraviivaiset piirteet, ns. magneettiset lineamentit, ovat usein indikaatioita kallioperän rikkonaisuus- tai heikkousvyöhykkeistä. Niiden lisäksi magneettisen lineamentin voi aiheuttaa esim. kivilajiraja tai suoraviivainen geometrinen piirre kallioperässä kuten kalliokynnys. Magneettiseksi lineamentiksi tässä työssä katsottiin:

- ympäristöään heikommin magneettinen lineaarinen piirre, jolla on pituutta ainakin muutama sata metriä
- äkillinen lineaarinen magneettikentän voimakkuuden muutos
- ympäristöään voimakkaammin magneettinen lineaarinen, kapea, jatkuva piirre.

Yleisesti kallioperän rikkonaisuutta säätelevät:

- 1) kallioperän kehityshistorian varhaiset vaiheet, jotka säätelevät alueen kivilajijakaamaa, kivilajien sisäistä rakennetta, hauraampien rakenteiden asettumista sekä kallioperän jakautumista toisistaan poikkeaviin osa-alueisiin;
- 2) hauraat siirrosvyöhykkeet, jotka ovat kapeita ja jatkuvia kallioperää lohkouttavia rajapintoja ja jotka toisinaan kehittyvät voimakkaan rakoilun heikkousvyöhykkeiksi;
- 3) rakoilu, joka särkee kallioperää läpikotaisesti, joskin intensiteetiltään epätasaisesti.

Magneettiset lineamentit tulkittiin erilaisista geofysikaalisista aineistoista ja verrattiin topografiseen korkeusmalliin ja kallioperäkarttaan. Tavoitteena oli muodostaa yleiskuva alueella vallitsevista kallioperän rakenteiden suuntauksista, ryhmittymisestä ja alueellisesta systematiikasta. Magneettisten lineamenttien pituus voi aiheuttajansa luonteesta riippuen vaihdella muutamasta sadasta metrillä useisiin kymmeneen kilometriin. Yleensä pitkän lineamentin aiheuttaja ulottuu maanpinnasta syvemmälle kuin lyhyen lineamentin.

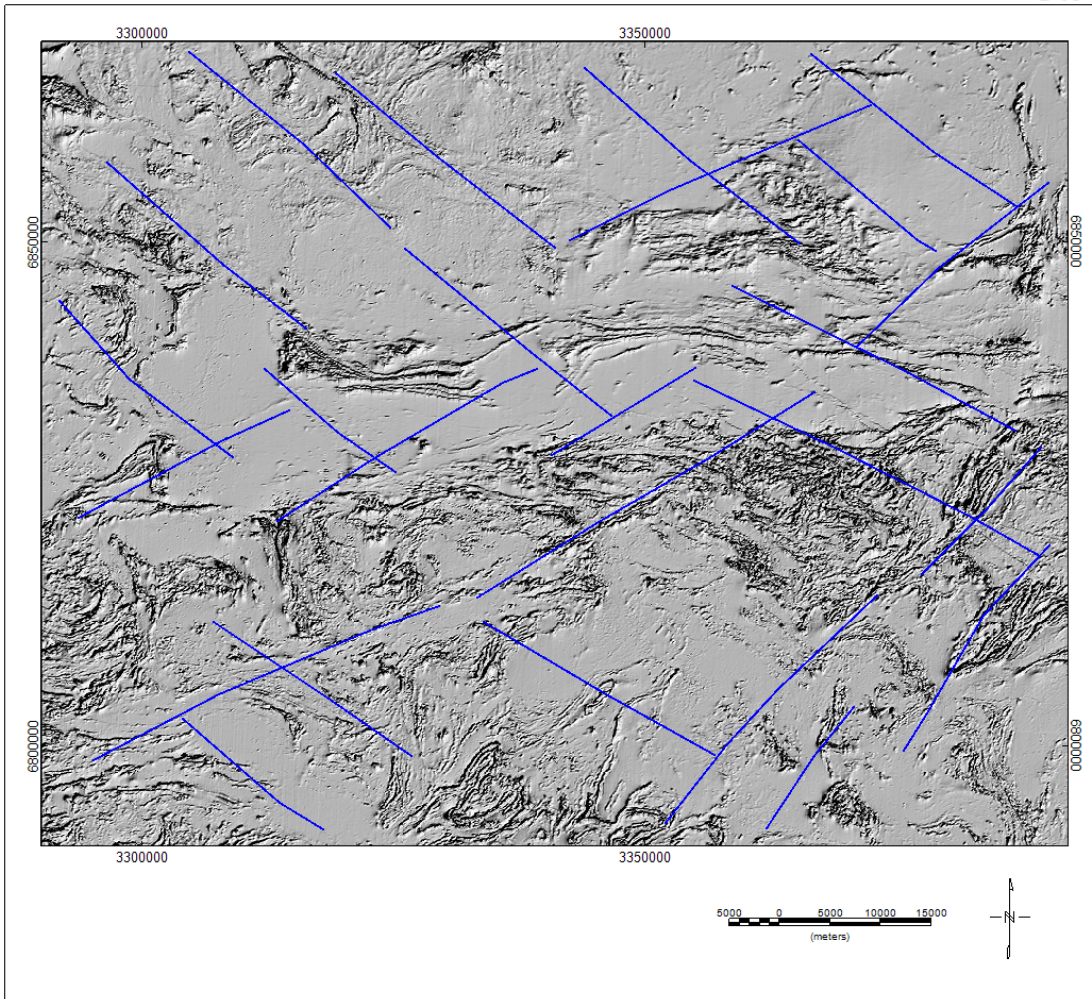
Lineamentit luokiteltiin pituutensa perusteella kolmeen ryhmään:

- Paikalliset lineamentit (pituudeltaan luokkaa < 1 km)
- Alueelliset lineamentit (pituudeltaan luokkaa 1-5 km)
- Geofysikaalisten osa-alueiden rajat (pituudeltaan > 5 km)

Geofysikaalisten osa-alueiden rajat (pituudeltaan > 5 km) rajoittavat koostumukseltaan tai rakenteiltaan erilaisia osa-alueita, jotka poikkeavat toisistaan geofysikaalisesti. Ne ovat tavallisesti suuremman rikkonaisuuden vyöhykkeitä, jotka edustavat alueella yleisiä lineamenttien suuntauksia ja rajoittavat ehjempää kalliolohkoja. Ne liittyvät useimmiten suuraluegeologisiin piirteisiin.

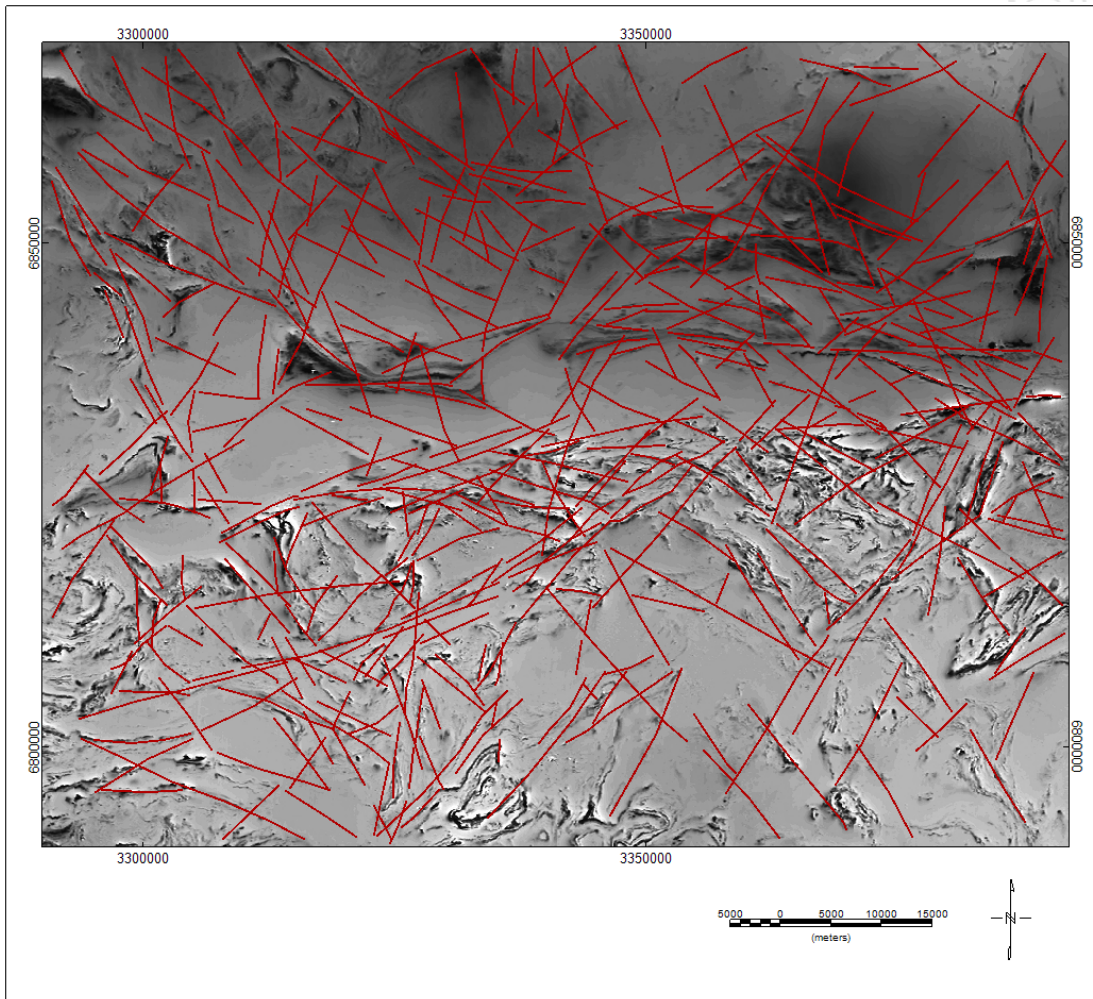
Aeromagneettisen aineiston perusteella TAATA-alueen kallioperän lohkoutumista osa-alueisiin määräävät koilliseen ja luoteeseen suuntautuvat murrosvyöhykkeet, jotka jatkuvat yli alueen keskeisen

itä-läntisen lohkorajavyöhykkeen. Etenkin koillisuunta tulee vahvasti esille verrattuna topografian perusteella tulkittuihin murros- ja heikkousvyöhykkeisiin (kuva 8).



Kuva 8. Pituudeltaan > 5 km magneettiset lineamentit vinovalaistun magneettikenttäkartan päällä.

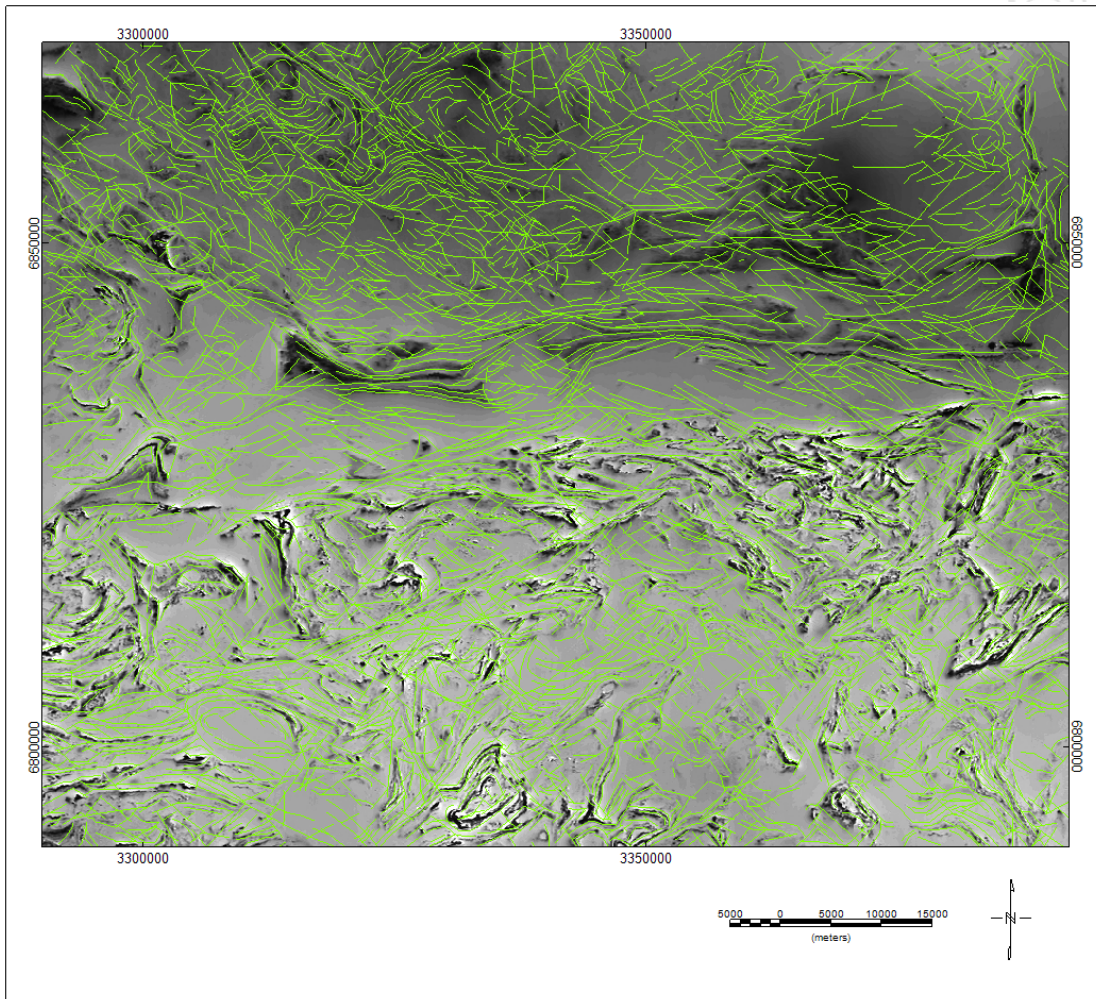
Magneettiset alueelliset lineamentit ovat pituudeltaan luokkaa 1-5 km tai enemmänkin (kuva 9). Ne edustavat voimakkaita kallioperän heikkousvyöhykkeitä, siirroksia ja lohkorajoja.



Kuva 9. Magneettiset alueelliset lineamentit magneettikenttäkartalla.

4.2.5.2 Paikalliset lineamentit

Paikalliset lineamentit (pituudeltaan luokkaa < 1 km) edustavat kallioperän paikallista rakoilua ja rikkonaisuutta ja ovat yleensä siirros- ja heikkousvyöhykkeitä tai voimakkaamman rakoilun vyöhykkeitä (kuva 10). Ne liittyvät usein kivilajirajoihin ja kallioperän liuskeisuuden suuntautuneisuuteen ja heijastavat topografiaa sääteleviä rakosuuntauksia. Kivilajille tyypilliset ja ominaiset heikkous- ja rikkoutumissuunnat korostuvat magneettisessa aineistossa. Esimerkiksi kerroksellisissa kivissä kerrosten suuntainen ja kerroksellisuutta leikkaava liuskeisuus ovat tyypillisiä heikkoussuuntia, jotka voidaan havaita magneettisina lineamentteina.



Kuva 10. Paikalliset magneettiset lineamentit magneettikenttäkartalla.

Viitteet:

Hautaniemi, H., Kurimo, M., Multala, J., Leväniemi, H. & Vironmäki, J., 2005. In Airo, M-L. (ed.), The "Three in One" aerogeophysical concept of GTK in 2004. Geological Survey of Finland, Special Paper 39, 21-74.

Hyvönen, E., Turunen, P., Vanhanen, H., Arkimaa, H. and Sutinen, R., 2005. Airborne gamma-ray surveys in Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 39, 119-134.

Kuivamäki, Aimo (toim.) 2004. KallioINFO-informaatiojärjestelmän kehittäminen yhdyskuntasuunnittelua ja kalliorakentamista varten. Vaihe 1: KallioINFO-käyttöliittymän prototyypin ja 1:20 000 rakennettavuusmallin luonnoksen valmistaminen. Loppuraportti. KallioINFO-projekti. Vaihe I 1. 1. 2003-30-9-2004. 68 s., 40 liites. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, K 21.42/2004/3.

Kuivamäki, Aimo (toim.) 2006. GeoTIETO-informaatiojärjestelmän kehittäminen yhdyskunta- ja ympäristösuunnittelua sekä rakentamista varten. Vaihe II: Geo TIETO-käyttöliittymän ja 1:20 000 rekennettavuusmallien viimeistely sekä 1:50 000 rakennettavuusmallien kehittäminen. 166 s., 29 liites. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, K 21.42/2006/2.