

Peltomaiden kartoitus geofysiikan mittalaitteilla

Antti Ristolainen¹⁾, Pekka Hänninen²⁾ ja Laura Alakukku³⁾

1) *MTT Maaperä ja kasvinravitseminen, E-talo, 31600 Jokioinen, antti.ristolainen@mtt.fi*

2) *Geologian tutkimuskeskus, Betonimiehenkuja 4, 02151 Espoo, pekka.hanninen@gtk.fi*

3) *Helsingin yliopisto, Agroteknologian laitos, Koetilantie 3, 00014 Helsinki, laura.alakukku@helsinki.fi*

Tiivistelmä

Täsmäviljelyn yleistyminen asettaa myös maaperätutkimuksen uusien haasteiden eteen. Viljelypanosten kohdentamisen tueksi tarvittaisiin tietoa maan sadontuottokykyyn vaikuttavista tekijöistä ja keinoja mitata näitä ominaisuuksia aluemittakaavassa. Toistaiseksi viljelijöillä on käytettävissä ravinneanalyysin lisäksi vain vähän muuta tietoa maan ominaisuuksista

Geofysiikan mittausten menetelmien soveltaminen peltomaille on herättänyt maailmalla suurta mielenkiintoa. Kehityskulultaan pisimmällä olevista sähköjohtavuuskartoituksista on tullut jo käytännön kaupallista toimintaa suurilla tuotantoalueilla ja niiden uskotaan rantautuvan Suomeenkin lähivuosina. Maaperäfyysikka ja Sato – yhteistutkimuksessa MTT, GTK ja HY tukivat Suomessa yleisesti olevien peltomaiden sähköisten ominaisuuksien vaihtelua. Koealueiden maaperän pintaosan sähköisten ominaisuuksien kartoittamiseen käytettiin GTK:ssa kehitettyä johtavuustalikkaa ja eestiläistä Adek Oy:n Percometria. Välikerroksen 30 – 100 cm sähköjohtavuus kartoitettiin kanadalaisen Geonics Ltd:n EM-38:llä ja pohjamaa saman yhtiön EM-31:llä. Lisäksi koealueiden perusrakenne selvitettiin maatulkuvaamalla.

Tulosten perusteella sähköjohtavuus- ja dielektrisyysmittauksilla voidaan olettaa olevan suuri potentiaali maan ominaisuuksien kartoituksessa. Jos tarkastellaan epäsuorille mittauksille asetettuja vaatimuksia, niin käytännön mittausten kannalta kummatkin suureet olivat riittävän stabiileja ajallisesti ja voidaan olettaa oikein ajoitetun kertamittauksen olevan riittävä maan sähköisten ominaisuuksien kartoittamiseen. Spatiaaliset rakenteet säilyivät läpi kasvukauden ja niille oli löydettävissä selvästi maan fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvä selittäjä. Tarkasteltaessa maaperän sähköjohtavuutta ja dielektrisyttä (~vesipitoisuus) savet ml. hiesut, hiedat ja moreeni erottuivat sähköisiltä ominaisuuksiltaan omiksi ryhmikseen. Niiden keskinäinen järjestys noudatti eroja maan hienoaines ja orgaanisen aineksen pitoisuudessa. Tämän lisäksi orgaaniset maat käyttäytyivät sähköisesti mineraalimaista poikkeavasti, tyypillisesti hyvinkin korkeaksi nouseva tilavuusvesipitoisuus nostaa dielektrisyttä, mutta sähköjohtavuutta vain varsin maltillisesti verrattuna mineraalimaihin. Sähköjohtavuusmittaukset olivat ensisijaisesti herkkiä eri maalajien vedenpidätyskyvyille ja toissijaisesti niille tyypilliselle vesipitoisuus-sähköjohtavuussuhteelle. Maalajien luokittelu perustuu tästä johtuen eroihin maalajien vedenpidätyskyvyssä ja sitä kautta tyypilliseen kosteustilaan mittaushetkellä. Mittausten suuren ajallisen vaihtelun ja pintamaan ominaisuuksien voimakkaan hajonnan takia epäsuorien mittausten tueksi tarvittaneen kuitenkin harvahaikoja näytteenottoa.

Asiasanat: täsmäviljely, geofysiikka, sähköjohtavuus, dielektrisyys

Johdanto

Viljelymenetelmänä täsmäviljely edustaa ajattelua, jossa tuotantopanosten käyttö voidaan kohdistaa sekä tuotannon talouden että ympäristön kannalta optimaalisiin kohtiin. Satovaihtelun huomioon ottaminen viljelyn päätöksenteossa vaatii kuitenkin tietoa vaihtelun syistä. Vaihteluun vaikuttavien tekijöiden mittaaminen ja hallinta on tärkeää siirryttäessä lohko-kohtaisista viljelytoimista tarkemmin paikkaan sidottuun täsmäviljelyyn. Toteutuessaan täsmäviljely vähentäisi maatalouden ympäristökuormitusta ja parantaisi maatalouden kannattavuutta, koska panosten käyttö voitaisiin optimoida myös lohkon sisällä paikkakohtaisen kasvupotentiaalin tai sadon käyttötarkoituksen mukaiseksi (Booltink et al. 2001). Tällä hetkellä täsmäviljelyn laajamittaisen käytäntöön saattamisen suurimpana esteenä on satoon vaikuttavien tekijöiden tuntemuksen ja tietoa hyödyntävien mallien puute. Tarvitaan myös nopeita ja edullisia menetelmiä mitata maasta johtuvaa sadon vaihtelua.

Täsmäviljelyn yleistyminen asettaa myös maaperätutkimuksen uusien haasteiden eteen. Perinteisesti maaperätutkimus perustuu pitkälti maanäytteistä laboratorioissa tehtäviin määrittäksiin, jotka hitautensa ja kalleutensa puolesta eivät useinkaan sovellu maan vaihtelun tarkkaan määrittämiseen. Toistaiseksi viljelijöillä on käytettävissä ravinneanalyysin lisäksi vain vähän muuta tietoa maan ominaisuuksista, vaikka useissa tutkimuksissa on korostettu maan fysikaalisen kasvukunnan merkitystä sadontuottokykyyn. On selvää, että lohko-kohtaisen fysikaalisen karttatiedon tuottaminen vaatii menetelmäkehitystä. Tällä hetkellä useimmat keskeiset maaperäfysiikan mittaukset vaativat näytteenottoa, ovat aikaavieviä eikä niihin ole tarjolla kaupallista analyysipalvelua, mikä rajoittaa lohkolta tehtäviä maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittämiä. Geofysiikan mittausten soveltaminen peltomaille on herättänyt maailmalla suurta mielenkiintoa. Kehityskulultaan pisimmällä olevista sähkönjohtavuuskartoituksista on tullut jo käytännön kaupallista toimintaa suurilla tuotantoalueilla USAssa, Keski-Euroopassa ja Australiassa. Viime vuosina menetelmä on jo rantautunut pohjoismaista Tanskaan ja pienessä mittakaavassa kokeiluja on tehty myös Ruotsissa ja Norjassa. Epäilemättä peltomaiden sähkönjohtavuuskartoitus rantautuu Suomeenkin lähivuosina. Maan sähkönjohtavuudesta on hyvää vauhtia tulossa eräänlainen satoisuuden yleismittari. Tämä johtuu siitä, että maan sähkönjohtavuuden on raportoitu korreloivan useiden maan kasvukunnolle oleellisten maan ominaisuuksien, kuten sen savespitoisuuden, maan vedenpidätyskyvyn ja maan ravinteisuuden, kanssa (esim. Corwin & Lesch 2003, Domsch & Giebel 2004). Sähkönjohtavuuskartoitusten kiistämättömänä etuna on suuri mittausteho, mönkijään sijoitetulla automaattisella mittauskalustolla uskotaan päästävän jopa 150 hehtaarin päiväsaavutukseen.

Tutkimuksen yhtenä päätavoitteena oli selvittää, miten luotettavasti maalajit voidaan erotella maan sähköisten ominaisuuksien mittauksilla. MTT:n, GTK:n ja HY:n tutkimusryhmä oli aiemmin mitannut savi- ja hietamaiden ominaisuuksia, ja MaSaII tutkimuksessa laajennettiin maalajiskaalaa kattamaan yleisesti viljelyssä olevat mineraalimaat mittaamalla moreeni ja hiesupitoisia maita sekä turvepelto Jokioisten Kuumasta. Yleisenä periaatteena pelloilla tehtäviin epäsuoriin mittauksiin voidaan pitää vaatimusta mitattavien suureiden spatiaalisesta rakenteesta ja niiden ajallisesta pysyvyydestä, sekä viljelyn kannalta mielekkästä tulkinnasta (Hartsock et al. 2000), joita käytettiin tarkastelun lähtökohtana.

Aineisto ja menetelmät

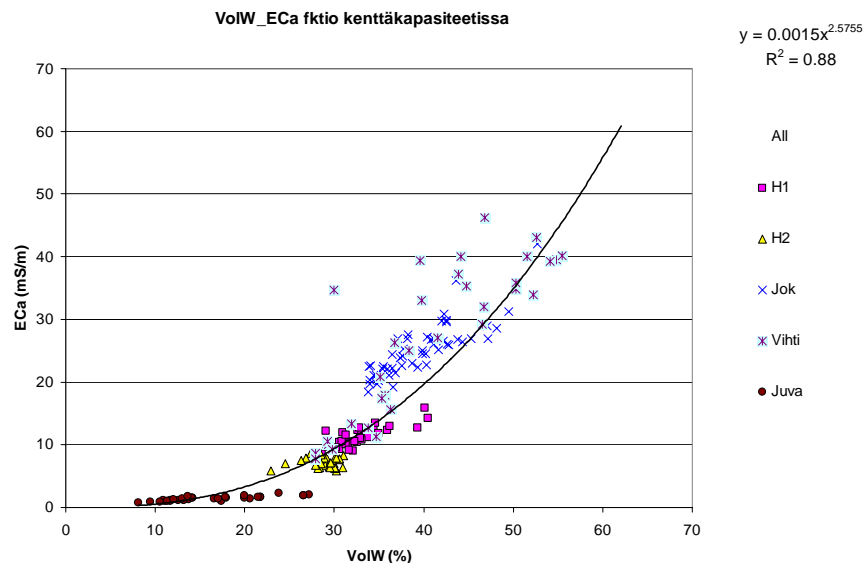
Koealueiden maaperän pintaosan sähköisten ominaisuuksien kartoittamiseen käytettiin GTK:ssa kehitettyä johtavuustalikkaa ja eestiläistä Adek Oy:n Percometria (työnimellä Plakk). Pohjamaan sähkönjohtavuus kartoitettiin kanadalaisen Geonics Ltd:n EM-38:llä (vaste 0-1.0 metriä) ja pohjamaa saman yhtiön EM-31:llä (vaste 0-6 metriä). Johtavuustalikossa on neljä elektrodia, joista uloimpien välille johdetaan vakiovirta ja keskimmäisten väliltä mitataan jännitehäviö. Tuloksista voidaan laskea maan sähkönjohtavuus. Talikon tehollinen mittaussyvyys oli n. 0,30 m kattaen lähinnä muokkauskerroksen. Plak –anturi toimii kapasitiivisella periaatteella ja se on kalibroitu mittaamaan eri taajuusalueita käyttäen sekä maan sähkönjohtavuus että dielektrisyys, jonka perusteella voidaan laskea maan tilavuusvesipitoisuus. Mittaukset tehtiin n. 0,20 metrin syvyydestä muokkauskerroksesta. Elektromagneettisessa induktiossa mittalaite ei tarvitse kontaktia mitattavaan maahan (EMI, non-contact). Käytetyissä menetelmissä on kaksi dipoli antennia (käämiä laitteen eri päissä), joista lähetin

aiheuttaa primaarikentän ja vastaanotin mittaa primaarikentän muutoksia. Muutokset ovat suoraan verrannollisia maan sähkönjohtavuuteen. EM-laitteiden mittaussyvyys riippuu laitteen kelavälistä, mittaustaajuudesta ja mitattavan aineen sähkönjohtavuudesta, ollen EM38:lla n. 0 - 1,5 metriä ja EM31:lla n. 0 - 6 metriä. Alueiden geologisten rakenteiden selvittämiseksi ne myös maatulkuudattiin.

Vuosina 2002-2004 MaSaI hankkeessa tehtiin kartoitusmittauksia Jokioisten savimailla, savespitoisuuden vaihtelu 30 - 90 %:a, ja hietamailla Hausjärvellä (koealueet H1, karkeaa hietaa ja H2, hienoa hietaa). MaSaII (2006-2009) hankkeessa keskityttiin täydentämään maalajiskaalaa valitsemalla mukaan Vihdin koealue, joka koostui hiesuisesta savesta ja hienosta hiedasta, ja Juvalla sijaitseva hienoaines moreenipelto. Lisäksi tehtiin mittauksia Jokioisten Kuumassa aitosavella - turvemaalla. Pelloilla mittaukset tehtiin n. 10 metrin gridiin ja toistettiin samoista pisteistä eri vuosina. Kaikilta koealueilta otettiin maanäytteitä, joista analysoitiin mm. mekaaninen maalaji ja orgaanisen aineksen pitoisuus.

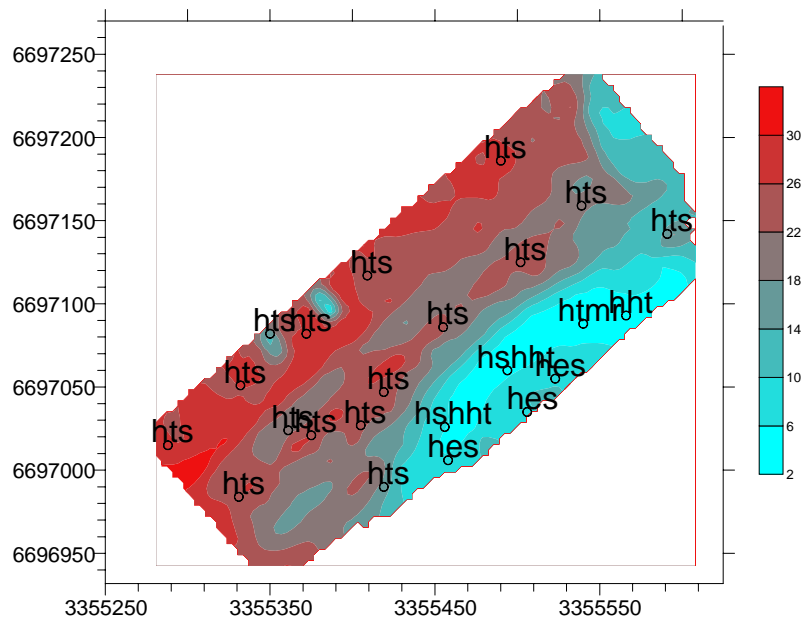
Tulokset ja tulosten tarkastelu

Hankkeessa tehdyt maan dielektrisyyden (~vesipitoisuuden) ja sähkönjohtavuuden mittaukset tukivat hyvin savi- ja hietamaan tuloksia. Vihdin koealue sijoittui maalajivaihtelunsa mukaisesti hietta- ja savimaiden skaalaan, ja karkean perusmaan Juva taas hietojen alapuolelle sekä sähkönjohtavuuden että maan vesipitoisuuden mukaisesti luokiteltuna (Kuva 1). Tulokset tukivat myös hypoteesia, että luokittelu perustuisi ensisijaisesti maan vedenpidätyskykyyn ja maalajityypilliseen vesipitoisuus-sähkönjohtavuus suhteeseen. Tarkasteltaessa maaperän sähkönjohtavuutta ja dielektrisyyttä (~vesipitoisuus) savet ml. hiesut, hiedat ja moreeni erottuvat sähköisiltä ominaisuuksiltaan omiksi ryhmikseen. Niiden keskinäinen järjestys noudatti eroja maan hienoaines- ja orgaanisen aineksen pitoisuudessa. Tämän lisäksi orgaaniset maat käyttäytyivät sähköisesti mineraalimaista poikkeavasti, tyypillisesti hyvinkin korkeaksi nouseva tilavuusvesipitoisuus nostaa dielektrisyyttä, mutta sähkönjohtavuutta vain varsin maltillisesti verrattuna mineraalimaihin. Orgaanisen aineksen vaikutus mittaustuloksiin erottuu Hausjärven loholla H1, joka H2:een verrattuna karkeammasta perusmaasta (KHt vs. HHt) huolimatta oli dielektrisyydeltään ja sähkönjohtavuudeltaan korkeammalla tasolla kaikilla mittauseroilla. Suurehko orgaanisen aineksen pitoisuus, luokkaa yli 10 prosenttia, muuttaa kivennäismaalle tyypillistä vesipitoisuus - sähkönjohtavuus funktiota. Tulosten perusteella sekä hetkellisen vesipitoisuuden että sähkönjohtavuuden suhteen hiesu- ja savesfraktio käyttäytyvät hyvin samalla tavalla, ja yleinen toteamus 'sähkönjohtavuus on savespitoisuuden mittari' pitäne muuttua muotoon 'hienoainespitoisuuden mittari'.

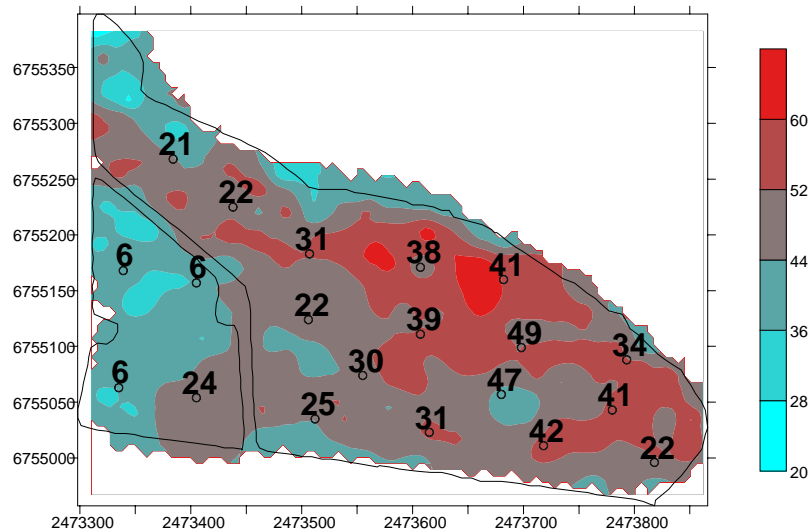


Kuva 1. Maan sähkönjohtavuuden (EC_a , $mS\ m^{-1}$) ja vesipitoisuuden ($VolW$, $m^3\ 100m^{-3}$) välinen suhde tutkituilla maalajeilla. H1=perusmaa karkea hietta, korkea org. aineksen pitoisuus, H2 = Hieno hietta, Jok = Jokioisten savet (saves 30-90 %), Vihti = HHt-HsS, Juva = Karkea hietta-moreeni. Kenttämittausaineisto on suodatettu pistekohtaisen hajonnan vähentämiseksi. Mittausaika toukokuu, maan kosteus ~kenttäkapasiteetissa.

Tulosten perusteella sekä mittaamalla dielektrisyttä tai sähkönjohtavuutta voidaan maalajit luokitella yleisesti saviin ja hiesuihin, hietamaihin ja näitä karkeampiin hienoainesmoreeneihin. Käytännössä yleispätevää tarkempaa luokittelua ei voida tehdä mittausten suuren hajonnan, ajallisen vaihtelun ja peltojen välisten käsittelyerojen takia. Yleisesti sähköisten ominaisuuksien mittaukset antavat hyvän kuvan lohkon sisäisestä maalajivaihtelusta ja harvakkollakin, n. 25 metrin, gridillä voitiin pääsääntöisesti kattaa koalueiden sisäinen vaihtelu sekä mineraali että orgaanisilla mailla (kuvat 2 ja 3). Tulosten tulkinnan kannalta oleellista on myös muutamaaan pisteeseen perustuva tarkemmat maanäytteistä tehtävät analyysit. Eri aikoina (kevät-kesä-syky) tehtyjen mittausten perusteella voitiin päätellä, että niiden ajallinen stabiilius oli pääosin hyvä (järjestyskorrelaatiokerroin $r = 0,9 - 0,3$), ja voidaan olettaa, että hyvissä olosuhteissa tehty kertamittaus on riittävä pellon sisäisten maalajierojen kartoittamiseen. Kasvukauden edetessä lohkojen väliset erot maan rakenteessa, kuivatuksessa ja lannoitusten ajoitus vaikuttavat luokittelutarkkuuteen, mistä johtuen mittaukset tulisi suorittaa vielä kevätkosteassa maassa lähellä kenttäkapasiteettia. Alhaisen vedenjohtavuuden omaavilla savimailla mittaukset voitaisiin ajoittaa kylvön jälkeiseen aikaan, karkeammilla mailla taas kartoitusmittauksia voitaisiin suorittaa melko pian roudan sulamisen jälkeen. Kokemusten perusteella loppukesä/syky on mittausten suorittamisen kannalta riskialtis. Maan ollessa kuivaa savimaiden halkeilu aiheuttaa tuloksiin voimakasta hajontaa peittäen alueelliset rakenteet ja taas karkeilla mailla mitatut absoluuttiset arvot jäävät mittausten skaalan alapäähän, jolloin mittausvirheen suhteellinen merkitys on suuri ja mittausten erottelukyky heikkoa. Kuivissa olosuhteissa suurta maatilavuutta mittaava EM38 laite selviytyi parhaiten. Lyhyen kelavälin EM38 mittauksen ongelmaksi muodostui kuitenkin satunnaisesti esiintynyt mittauksen vaeltaminen, mikä voi johtaa karkeisiin tulkintavirheisiin.

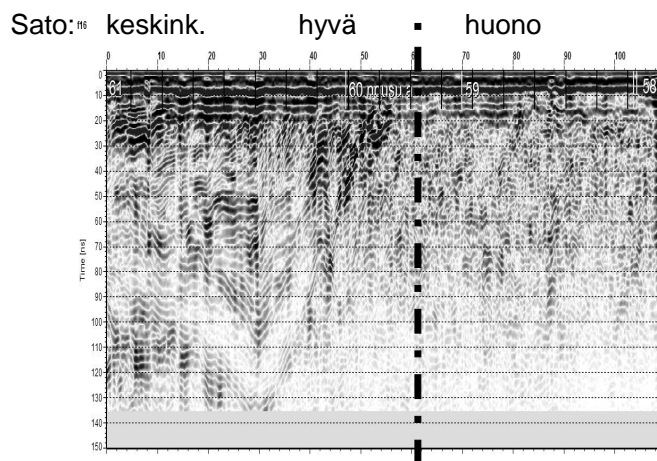


Kuva 2. Muokauskerroksen sähkönjohtavuuden vaihtelu Vihdin koalueella mitattuna johtavuustalikkolla (mS m^{-1}) ja maalaji (kirjainlyhenteet)



Kuva 3. Dielektrisyysmittauksista johdettu maan tilavuusvesipitoisuuden vaihtelu (karttapinta, $m^3 100m^{-3}$) aitosavi – turvemaalla ja maan orgaanisen aineksen pitoisuus ($g 100g^{-1}$) muokkauskerroksessa.

Maatutkauksen perusteella tutkittiin koalueiden pohjamaan rakennetta ja maalajirajoja. Yleisesti tutkimuksen tulokset tukivat kentältä tehtyjä havaintoja esimerkiksi kasvuston vaihtelussa ja sopivat maan sähköisten ominaisuuksien mittaustulosten esittämään maan vaihteluun. Vihdissä kerrostuneet karkeammat maalajitteet sukelsivat rinteiden alaosassa savipatjan alle, missä oli pohjamaan sähköjohtavuusmittausten perusteella rikastumiskerros. Vihdin tutkakuvista voitiin todeta, että maan savespitoisuuden ylitettyä n. 30 % tutkasignaali ei enää tunkeutunut maahan. Juvalla tutkakuvassa erottui rinteiden suuntaisesti kerrostuneiden hietakerrosten esiintyminen vanhan järven rantaviivan alapuolella ja rinteiden yläosissa taas lajittumaton moreeni (Kuva 4).



Kuva 4. Esimerkki tutkalinjasta Juvan koalueen poikki ja yleisarvio satoisuudesta. Oletettu vanha rantaviiva on merkitty katkoviivalla.

Johtopäätökset

MaSa tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että sekä sähkönjohtavuuden että dielektrisyyden mittauksilla voidaan tehokkaasti kartoittaa sekä aluetasolla että lohkon sisällä maalajivaihtelun rajoja. Mittausten onnistumisen kannalta suotuisin ajankohta ajoittui kevääseen - alkukesään maan ollessa lähellä kenttäkapasiteettikosteutta. Kuivissa olosuhteissa savipitoisilla mailla maan halkeilu aiheutti merkittävää hajontaa tuloksiin. Tulosten perusteella suotuisissa olosuhteissa tehty maan sähköisten ominaisuuksien kertamittaus on riittävä maalajivaihtelun kartoittamiseen, optimaalinen mittausajankohta on keväällä – alkukesällä maan ollessa vielä lähellä kenttäkapasiteettikosteutta. Hiedalla ja sitä karkeammilla maalajitteilla maatutkaus onnistuu peltomailla, mutta savisilla alueilla maan luontaisesti korkea sähkönjohtavuus estää tutkasignaalin tunkeutumisen maahan. Menetelmänä tutkaus on kuitenkin kallis ja tulokset pitkälti tulkinnanvaraisia, joten sen kannattavuus maatalousmailla lienee epävarmaa.

Kirjallisuus

Booltin, H. W. G, van Alphen B. J., Batchelor, W. D., Paz, J. O., Stoorvogel, J. J. & Vargas, R. 2001. Tools for optimizing management of spatially variable fields. *Agricultural Systems*. 70:445-476.

Corwin, D. L. & Lesch, S. M. 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles and guidelines. *Agron. J.* 95:455-471.

Domsch, H. & Giebel, A. 2004. Estimation of soil textural features from soil electrical conductivity recorded using EM38. *Precision Agriculture* 5:389-409

Hartsock, N. J., T. G. Mueller, G. W. Thomas, R. I. Barnhisel, and K. L. Wells & Shearer, S. A. 2000. *Soil Electrical Conductivity Variability*. In. P.C. Robert et al. (ed.) Proc. 5th international conference on precision Agriculture. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.