

## **Kivennäismaan kasvukauden aikaiset vesipitoisuusmuutokset ja niiden paikallinen pysyvyys**

Pekka Hänninen<sup>1</sup>, Antti Ristolainen<sup>2</sup> ja Laura Alakukku<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>*Geologian tutkimuskeskus (GTK), pekka.hanninen@gtk.fi*

<sup>2</sup>*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), [antti.ristolainen@mtt.fi](mailto:antti.ristolainen@mtt.fi)*

<sup>3</sup>*Helsingin yliopisto (HY), laura.alakukku@helsinki.fi*

### **Tiivistelmä**

Maa- ja elintarviketeollisuuden (MTT), Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja Helsingin yliopiston (HY) yhteisissä hankkeissa Maaperäfyysikka ja sato I ja II tutkittiin peltomaan geofysikaalisten ominaisuuksien paikallista ja ajallista vaihtelua. Hankkeiden yhtenä tavoitteena oli selvittää, voidaanko lohkon maan vesipitoisuuden muutosta ennustaa yhden jatkuvatoimisen mittauspisteen tulosten perusteella, kun lohkon ominaisuuksien alueellinen jakauma tunnetaan.

Hankkeissa perustettiin neljälle koealalle kiinteä mittausasema, jossa seurattiin jatkuvatoimisesti kolmen vuoden ajan maaperän lämpötilaa, vesipitoisuutta ja sähkönjohtavuutta 30, 60 ja 90 senttimetrin syvyydessä. Kaksi mittausasemaa oli savipellolla (Jokioinen ja Vihti), yksi hietapellolla (Hausjärvi) ja yksi moreenipellolla (Juva). Savipelloilla seurattiin lisäksi salaojakaivon veden sähkönjohtavuutta ja lämpötilaa. Mittaustiheys oli kolme tuntia. Edellä mainittujen asemien lisäksi tutkimuksen tausta-aineistona käytettiin Ylistarossa olevaa, vanhalle peltoalueella perustettua, GTK:n maaperän lämpötila ja vesipitoisuusseuranta-aseman tuloksia. Peltoalueiden sähköiset ominaisuudet mitattiin kolme kertaa kasvukauden aikana 10\*10 m mittausverkossa.

Seuranta-asemien mittauksen perusteella havaittiin, että ruokamultakerroksen alapuolella maan kosteuden muutokset olivat suhteellisen pieniä. Kasvukaudella 75 % kahden viikon aikana tapahtuneista maan kosteuden muutoksista oli pienempiä kuin 5 tilavuusprosenttiyksikköä. Voimakkaitten sateiden jälkeen peltomaassa voi tapahtua nopeasti suuria kosteuspitoisuuden muutoksia. Suurimmat maan kosteuden muutokset kahdessa viikossa havaittiin Jokioisten savipellolla, missä maa kuivui yhdessä prosentissa tapauksista 20 (30 cm:ssä) ja vettyi 22 (60 cm:ssä) tilavuusprosenttiyksikköä kahdessa viikossa. Kun yli 20 mm kesäsateet imeytyivät muokkauskerrosta syvemmälle, niiden vaikutukset voitiin havaita 30 cm:n syvyydessä 10–14 vuorokauden ajan maalajista riippumatta.

Kenttämittauksen perusteella maan kosteuden muutokset olivat spatiaalisesti pysyviä ja siten hallittavia yhden seuranta-aseman tulosten perusteella. Tutkimuksessa luotiin yksinkertainen malli, jossa jatkuvasti mittaavan seuranta-aseman ja keväällä tehdyn kertamittauksen perusteella kuvattiin kasvukauden aikana päivittäin peltoalueen vesitilaa ja sen muutosta.

Seurattujen maakerrosten pääsääntöisesti lähes yhtäaikaiset vesipitoisuusmuutokset osoittavat, että peltomaan veden liike riippuu pikemminkin oikovirtausreiteistä kuin maan materiaaliominaisuuksista.

Avainsanat :

Maan kosteus, dielektrisyys, geofysikaaliset mittaukset

## Johdanto

Täsmäviljely vaatii peltoalan maa-aineksen ja maan ominaisuuksien ja niiden vaihtelun tarkkaa tuntemusta. Peltoalueille on kehitetty ja kehitetään monen muuttujan malleja, joilla voidaan arvioida esimerkiksi maan vesipitoisuuden muutoksia. epäsuoraan maalajin, säätilan, kasvuston kehityksen yms. avulla. Geofysikaaliset suureet, kuten maaperän sähköjohtavuus ja dielektrisyys, korreloivat useiden maan kasvukunnolle tärkeiden tekijöiden kanssa. Näiden sähköisten menetelmien avulla pystytään aluemittakaavassa luokittelemaan maaperää sekä sen ominaisuuksia. Vaikkakin maan, sään ja sadon vuorovaikutukset ovat paljon monimutkaisempia kuin mihin geofysikaalisilla mittauksilla voidaan vastata, antavat nämä epäsuorat mittaukset sellaista luokittelutietoa, jonka hankkiminen muilla menetelmillä on aikaa vievää ja kallista tuotaa.

Ollakseen käyttökelpoisia käytettävien mittausten on oltava alueellisesti pysyviä sekä alueiden mittaustulosten suhde toisiinsa ajallisesti toistettava. Lisäksi mitatuilla suureilla on oltava viljelyn kannalta mielekäs vaste. MTT:n, GTK:n ja HY:n yhteisissä hankkeissa 'Maaperäfyysikka ja sato (MaSa) 1 ja 2' tutkittiin, metsämaan luokittelussa käytettyjen, dielektrisyys ja sähköjohtavuusmittauksien soveltuvuutta viljelyssä olleilla savi-, hiesu-, hieta- ja moreenipelloilla (Ristolainen ym., 2006, 2009). Metsämaan luokittelussa em. mittaukset olivat osoittautuneet paikan ja ajan suhteen riittävän stabiileiksi (Sutinen ym., 2007).

Koska maan sähköisten ominaisuuksien mittaaminen useita kertoja kasvukauden aikana on käytännössä mahdotonta, kullekin tutkimusalueelle perustettiin automaattinen seuranta-asema. Ajatuksena oli tutkia, voidaanko yhdellä havaintopisteellä ennustaa alueen sähköisten olosuhteiden muutosta, kun niiden alueellinen jakauma on tunnettu. Käytännössä seurattiin dielektrisyiden perusteella maan vesipitoisuuden muutosta sekä seuranta-asemien että toistettavien kenttämittausten perusteella.

## Aineisto ja menetelmät

Koalueet valittiin siten, että niiden maalajit edustivat erityyppisiä peltoja (taulukko 1). Savisilla paikoilla maa-aineksen savipitoisuus oli lähes 80 % ja niiden laskennallinen veden liikenopeus oli käytännöllisesti katsoen nolla. Karkeilla paikoilla kivennäisaines sisälsi vain 3 % savea ja maa-aineksen laskennallinen liikenopeus oli noin metri vuorokaudessa.

Taulukko 1. Hausjärven, Jokioisten, Vihtin ja Juvan seuranta-asemien maanominaisuuksia. Veden liikenopeus laskettiin näytteiden perusteella Sauerbrein kaavan mukaan (Vukovic & Soro, 1992).  $d_{50}$ : kivennäisaineksen raekoko ( $\mu\text{m}$ ), jota suurempia ja pienempi rakeita on 50 %.

Koealue ja mittaussyvyys (cm)	Maan raekoko ( $\mu\text{m}$ ) ja sen jakauma (%)				Maan orgaaninen hiili %	veden liike mm/vrk
	$\leq 2$	2 - 60	> 60	$d_{50}$		
Hausjärvi 30	12	29	59	80	3,4	15
Hausjärvi 60	19	35	46	40	0,4	2
Hausjärvi 90	60	37	3	<2	1,5	0
Jokioinen 30	45	32	23	3	4,2	0
Jokioinen 60	39	40	21	5	2,8	0
Jokioinen 90	73	24	3	<2	0,9	0
Vihti 30	49	43	8	2	2,2	0
Vihti 60	64	36	0	<2	0,6	0
Vihti 90	78	22	0	<2	0,9	0
Juva 30	4	10	86	100	?	920
Juva 60	3	20	77	93	?	430
Juva 90	3	16	81	96	?	610

Kenttämittauksissa käytettiin eestiläistä Percometeriä, jonka työnimenä oli kehittäjänsä mukaan Plakk (Plakk, 2008) sekä GTK:ssa kehitettyä johtavuustalikkaa (Puranen

all., 1999) (kuva 1). Plakilla mittattiin maan sähkönjohtavuus ja dielektrisyys sekä johtavuustalikkolla maan sähkönjohtavuus Plakkia suuremmassa tilavuudessa. Dielektrisyys muunnettiin maan vesipitoisuudeksi Sutisen (Sutinen, 1992) kaavojen perusteella. Plakin mittauspiste on maahan työnnettävän noin 30 mm paksun anturin päässä ja sen mittaussavaruus on noin 0,5 dm<sup>3</sup>. Johtavuustalikon mittaussavaruus on Plakkiin nähden noin satakertainen. Johtavuustalikon mittausta on vakioelektrodivälinen Wenner maavastusluotaus. Suuremman mittaussavaruutensa vuoksi laite ei ollut niin herkkä maassa olleelle ilmatilalle kuin Plakk.

## PLAKK

Näyttöyksikkö

Pidike

Käsikahva

Polkuantura

Mittauspiste



## Johtavuustalikko

Näyttöyksikkö

Mittauselektrodit



Kuva 1. Pistemäisen dielektrisyden ja sähkönjohtavuuden mittalaite (Plakk) sekä GTK:n johtavuustalikko, joka mittasi maan keskimääräisen sähkönjohtavuuden muokkauskerroksesta. Käsikahvat ovat noin metrin korkeudella.

Plakilla ja talikolla mitattiin kukin alue kasvukausien aikana useita kertoja. MaSaI:ssä mittauksia tehtiin keväällä, keskikesällä ja syyskesällä. Syyskesän mittaukset todettiin sadon kannalta merkityksettömiksi ja MaSaII:ssä mittaukset tehtiinkin varhaiskevällä, keväällä ja keskikesällä. Kullekin mittausalueelle merkittiin noin 10m\*10m mittauserkko, jotta mittaukset tapahtuisivat aina samoista paikoista.

Seuranta-asemat (kuva 2) perustuivat Campbell Sci dataloggereihin (CR10X) ja niihin liitettiin kolmeen lämpötila- (T107) ja vesipitoisuusanturiin (CS615/616). Lisäksi asemilla oli maan GTK:ssa johtavuustalikoista maa-asemille kehitetyt sähkönjohtavuusanturit. Mittaukset tapahtuivat pääsääntöisesti kolmen tunnin välein. MaSa hankkeissa käytettiin hyväksi myös GTK:n maaperän seuranta-asemaverkon (Hänninen ym, 2003) Ylistaron (MTT Pelma) asemaa, jolla on mitattu vuodesta 2001 maan lämpötilaa ja kosteutta 10, 30, 50, 70 ja 90 senttimetrin syvyydellä.



Kuva 2. Vihdin koealueen seuranta-asema. Se mittasi maan kosteuden, sähkönjohtavuuden ja lämpötilan 0,3, 0,6 ja 0,9 metrin syvyydessä kolmen tunnin välein..

## Tulokset

Asematuloksista poimittiin kesäaikojen (01.05. –30.09. 2002–05 MaSaI ja 2006–09 MaSaII) seuranta ja määritettiin, kuinka suuria kosteusmuutoksia asemilla tapahtui kahdessa viikossa. Kostuminen laskettiin mittaushetkeä seuraavan kahden viikon suurimman vesipitoisuuden ja mittaushetken kosteuden erotuksesta. Kuivumisessa laskettiin vastaavasti mittaushetken kosteuden erotus sitä seuraavan kahden viikon pienimpään vesipitoisuuteen. Tässä käytetyn algoritmin perusteella ei voida sanoa, tapahtuiko kosteusmuutos kolmessa tunnissa vai kahdessa viikossa. Kerätyn aineiston perusteella sekin on laskettavissa.

Pääsääntöisesti havaitut kosteusmuutokset olivat pieniä (taulukko 2). Vaikka maalajit seurantapisteeissä olivat hyvin erilaisia ja niiden laskennalliset veden liikenopeudet sekä vesipitoisuuden mediaanit vaihtelivat suuresti, vesipitoisuusmuutoksien mediaanit olivat hyvin maltillisia vaihdellen välillä 0,3–2,1 tilavuusprosenttiyksikköä. Vielä yläkvartiilin kohdalla muutokset olivat alle 5 tilavuusprosenttiyksikköä, vaikka suurimmat kahdessa viikossa havaitut vesipitoisuusmuutokset olivat yli 23 tilavuusprosenttiyksikköä.

Sateiden vaikutuksen keston todentamiseksi etsittiin eri mittausasemilta yli 20 mm sadejaksoja ja niitä seuranneita kuivia jaksoja. Näistä tapahtumista määriteltiin, kuinka nopeasti maan kosteus palautui 30 senttimetrin syvyydessä huippuarvostaan alkukosteuteensa. Tähän tutkimusosioon otettiin mukaan myös Pelman seuranta-aseman entiselle savipellolle sijoitettu GTK:n seuranta-asema. Seuranta-asemien mittaustulosten perusteella sateen vaikutus kesti 11–14 vuorokautta. Tulosten mukaan maalaji ei vaikuttanut merkittävästi maaperässä havaittuun sateen vaikutuksen keston. Yli 20 mm sateiden aiheuttamat vesipitoisuusmuutokset havaittiin eri syvyyksillä ja eri maalajeilla mittaustarkkuuden puitteissa yleensä heti tai pienellä, alle vuorokauden, viiveellä.

Koska pysyviä antureita ei voitu asentaa muokkauskerrokseen, ylimmät anturit asennettiin noin 30 cm syvyyteen. Kenttämittauksissa käytetyn kosteus/sähkönjohtavuus Percometerin (Plakk) mittaussyvyys oli kuivissa olosuhteissa vain 10–20 cm syvyydelle. Siksi kenttämittausten ja aseman tietojen välillä oli syvyyssuunnassa olevista maan kosteuseroista johtuva poikkeama. Poikkeaman selvittämiseksi käytimme hyväksemme GTK:n Ylistaron (MTT Pelma) aseman maankosteustietoja 10 cm ja 30 cm syvyydeltä. Vuosien 2001–06

seurannan perusteella Vihdin lohkon maalajin kaltaisen savikkoalueen maa kuivui toukokuun alusta kesäkuun loppuun 10 cm syvyydessä noin 10 tilavuusprosenttiyksikköä enemmän kuin 30 cm syvyydessä.

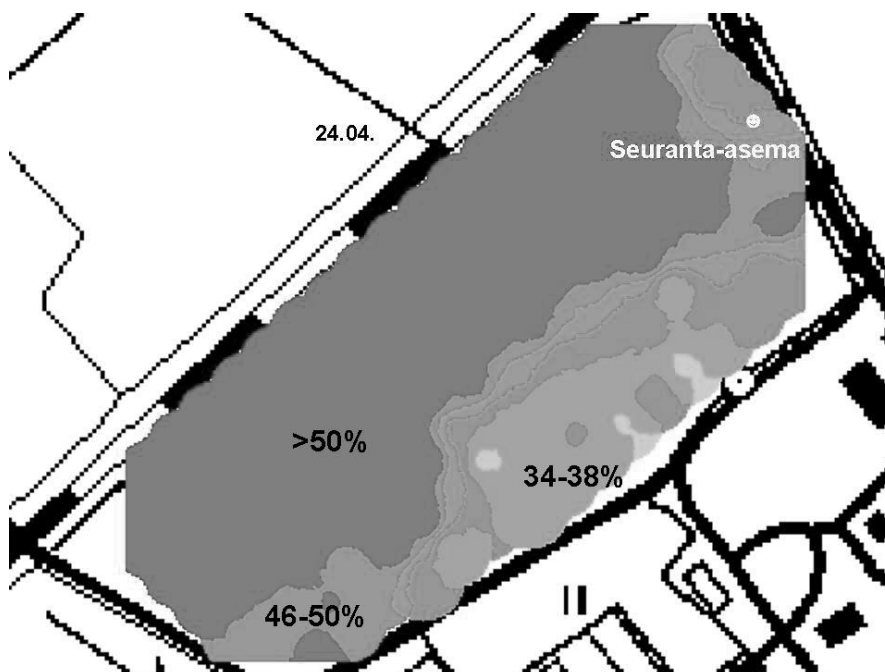
Taulukko 2. Seuranta-asetilla kesäaikoina (01.05-30.09, vv 2002–05 MaSaI ja 2006–09 MaSaII) havaitut mediaanikosteudet (tilavuusprosenttia) ja kahden viikon aikana havaitut kosteusmuutoksien mediaani ja yläkvartiili. Kostumisen ja kuivumisen luvut ovat tilavuusprosenttiyksikköä.

Mittaussyvyys (cm)	Vesipitoisuus mediaani	Kostuminen mediaani	Kuivuminen mediaani	Kostuminen yläkvartiili	Kuivuminen yläkvartiili
Hausjärvi 30	33	1,9	2,1	4,5	4,6
Hausjärvi 60	31	1,2	1,5	3,9	3,5
Hausjärvi 90	29	0,3	0,3	0,8	1,1
Jokioinen 30	36	1,6	1,3	4,3	4,9
Jokioinen 60	44	0,9	0,3	2,8	4,4
Jokioinen 90	46	0,5	0,9	1,7	1,1
Vihti 30	37	1,5	1,0	3,1	2,3
Vihti 60	32	1,0	0,8	3,1	2,2
Vihti 90	51	1,4	0,7	2,5	1,3
Juva 30	13	0,8	0,9	2,4	1,5
Juva 60	20	1,0	1,4	2,8	2,3
Juva 90	30	0,8	1,3	2,5	2,2

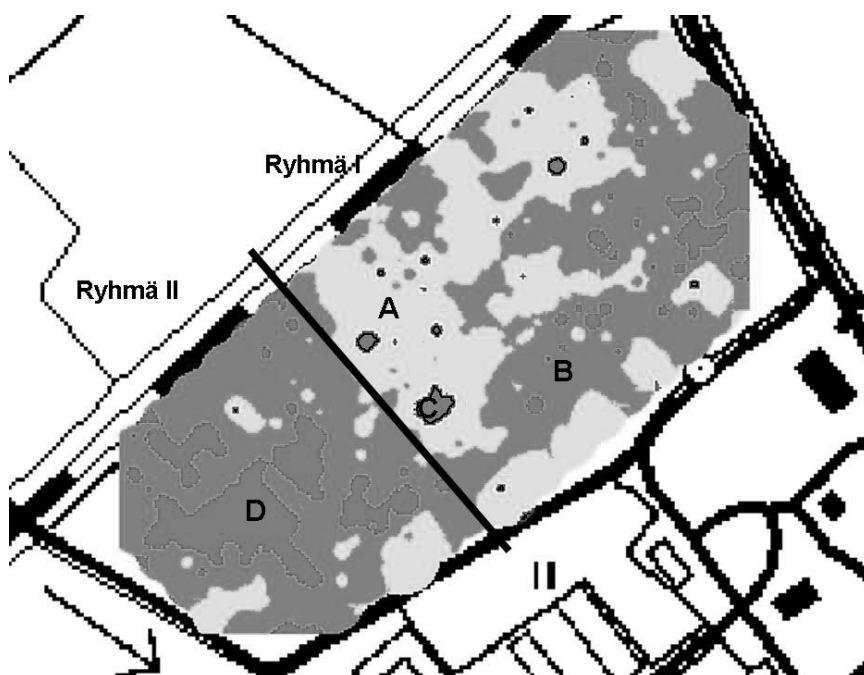
Vihdin koealueella tehtiin vuoden 2007 kevään ensimmäinen maastomittaus huhtikuun 24. päivänä (kuva 3). Mittaus oli alkutieto mallille, joka laski asemaseurannan perusteella päivittäin uuden maaperän vesipitoisuusjakauman koealueelle. Plakk mittaus vedellä kyllästyneestä maasta ei ollut luotettava ja mitatut lukemat olivat liian suuria. Tämän vuoksi yli 55 tilavuusprosenttiset kosteudet muutettiin 55 tilavuusprosenttiin, mikä oli laboratorionäytteissä suurin havaittu maan pintaosan vesipitoisuus ko. pellolla. Jatkokäsittelyssä yhdenkään kartan verkkopisteen arvoksi ei hyväksytty yli 55 tilavuusprosenttia.

Alkutilanteen perusteella kullekin verkkopisteelle laskettiin uusi päiväkohtainen maankosteuspitoisuus, siten, että alkukosteutta muutettiin suhteessa kiinteällä seuranta-asetilla havaittuun kosteusmuutokseen. Ylistaron aseman tulosten perusteella huomioitiin kenttämittaussyvyyden ja seuranta aseman ylimmän kosteuspitoisuuden välin poikkeama vähentämällä pinnasta 01.05. alkaen 1/60 tilavuusprosenttiyksikköä vuorokautta kohden. Laskennallista karttaa verrattiin kesäkuun 25. päivän kenttämittaustulosten perusteella interpoloituun maan vesipitoisuuskarttaan. Kenttämittausten perusteella ineterpolidusta maan kosteusjakaumasta vähennettiin laskennallinen mittaustulos ja jäännösverkko piirrettiin kartaksi (kuva 4). Kun käytännön mittaustarkkuudeksi tällä pellolla tiedettiin  $\pm 2$  tilavuusprosenttiyksikköä, hieman alle puolessa pisteitä ennuste toimi tarkasti. Karttatuloksessa näkyi mittausryhmien kädenjälki osoittaen, että mittausrutiineissa on vielä kehittämistä.

Samaa mallia sovitettiin myös Juvan moreenipellolle. Juvan alueella ei tehty kentällä mitatun ja mittausaseman ylimmän kosteusanturin syvyys erosta johtuvaa korjausta. Juvalla maan vedenpidätyskyky on alhainen eikä siellä voinut käyttää savimaalle laskettua korjausta. Juvalla lopputuloksen absoluuttiset virheet olivat selvästi pienempiä kuin Vihdin loholla johtuen Juvan koealueen maaperän pienemmistä absoluuttisista vesipitoisuuksista.



Kuva 3. Vihdin tutkimusalueen kenttämittaustuloksen perusteella interpoloitu maan vesipitoisuus 10–20 cm:n syvyydessä huhtikuun 24. päivänä vuonna 2007. Prosenttiluvut ovat tilavuusprosenttia. Tumman alueella kosteus on yli 50 tilavuusprosenttiyksikköä. Harmaasävyt vaalenevat 4 tilavuusprosentin välein eli kuivimpien alueiden maan kosteudet ovat 30–34 tilavuusprosenttia.



Kuva 4. Vihdin koalueella 25.06.07 mitatun ja 26.04.07 mittaustuloksen ja asemaseurannan perusteella lasketun maan vesipitoisuuden erotus. Vaalealla alueella (A) tulokset ovat mittaustarkkuuden (2 tilavuusprosenttiyksikköä) rajoissa yhtenevät. B-alueella virhe on 2–5 tilavuusprosenttiyksikköä positiivinen ja C -alueella negatiivinen. D-alueella mittaustulos on yli 5 tilavuusprosenttiyksikköä suurempi kuin laskennallinen tulos.

## Johtopäätökset

Uudet anturi-, mittauss-, kuvaus- ja tiedonkeruutekniikat mahdollistavat peltoalueen lämpötilan ja kosteuden taloudellisesti tehokkaan ja reaaliaikaisen mallintamisen. Mallinnustulos kertoo, onko jossain osassa peltoaluetta odotettavissa kuivuus- tai kosteusongelmia määrättyillä ilmasto-olettamuksilla tai ovatko ongelmat jatkuneet pitkään. Mallinnustulos ei suoranaisesti kerro sadon jakautumisesta peltoalueen eri osissa. Peltoalueen vastaavanlaisen pistekohtaisen tuloksen saaminen perustuen maalajiin, kasvillisuuteen, ilmastotekijöihin jne. tarvitsee suuren määrän stabiileja ja aikaan sidottuja muuttujia ja muuttujahistoriaa. Valitettavasti se viimeinen tekijä, eli miten tilanne mallintamishetkestä eteenpäin kehittyy, on ratkaisematta.

Tulosten perusteella peltoalue voidaan luokitella savisiin, hienoihin ja karkeisiin maa-alueisiin sähköisten dielektrisyys ja johtavuusmittausten avulla. Jatkuvatoimisten seuranta-asemien mittausten perusteella ruokamultakerroksen alapuolella maan kosteuden muutokset olivat suhteellisen pieniä. Kasvukaudella 75 % kahden viikon aikana tapahtuneista maan kosteuden muutoksista oli pienempiä kuin 5 tilavuusprosenttiyksikköä. Voimakkaiden sateiden jälkeen pelloissa voi kuitenkin tapahtua nopeasti suuria kosteuspitoisuuden muutoksia.

Kenttämittausten perusteella maan kosteuden muutokset olivat spatiaalisesti pysyviä ja siten hallittavia yhden seuranta-aseman tulosten perusteella. Tutkimuksessa luotiin yksinkertainen malli, jossa jatkuvasti mittaavan seuranta-aseman ja keväällä tehdyn kertamittauksen perusteella kuvattiin kasvukauden aikana päivittäin peltoalueen vesitilaa ja sen muutosta. Maan kosteuden lohkomittakaavainen ennustaminen paranee, jos tekniikan kehittyessä voidaan taloudellisesti saada luokitellulle alueelle kiinteä seuranta-asemaverkosto.

Seurattujen maakerrosten pääsääntöisesti lähes yhtäaikaiset vesipitoisuusmuutokset osoittavat, että peltomaan veden liike riippuu pikemminkin oikovirtausreiteistä kuin maan materiaaliominaisuuksista.

## Kirjallisuus

- Hänninen, P., Sutinen, R., Suomi, T., Äikää, O., Penttinen, S. & Majaniemi, J.** 2003. GTK:n maaperän seuranta-asemat 2000-2002. Geologian tutkimuskeskus, Raportti P31.4.035. 21 s.
- Plakk, T.** 2008. Percometer – a capacitive probe instrument for soil dielectric constant and conductivity measurement and monitoring. International Conference on Metrology of Environmental, Food and Nutritional Measurements.,9.-12.09.2008, Budapest, Hungary. S. 17-19.
- Plakk, T.** 1994. HF Permittivity measurements by capacitive probe. Unpublished article. Adek Ltd, Estonia
- Puranen, R., Sulkanen, K., Nissinen, R. & Simelius, P.** 1999. Ominaisvastusluotaimet ja vastustalikot. Geologian tutkimuskeskus, Raportti Q15/27.4/99/2. 8 s. + 1 liite.
- Ristolainen, A., Jaakkola, A., Hänninen, P. & Alakukku, L.** 2006. Sadon ja maan ominaisuuksien vaihtelun käyttö suunnittelussa .Laura Alakukku (toim.). Maaperän prosessit - pellon kunnon ja ympäristönhoidon perusta : MMM:n maaperätutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja elintarviketalous 82: s. 82-92.
- Ristolainen, A., Hänninen, P., Hakojärvi, M., Mannfors, B. & Alakukku, L.** 2009. MaSa raportti Maaperäfyysiikka ja sato – Hiesu- ja moreenimaiden sähköiset ominaisuudet ja niiden monitorointi, Masa2 (2006–2009). 22 p. (Loppuraportti elokuu 2009)
- Sutinen, R.** 1992. Glacial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground penetrating radar, Geological survey of Finland, Bulletin 359. 123 p.
- Sutinen, R., Middleton, M., Hänninen, P., Varitainen, S., Venäläinen, A. Sutinen, M-L,** 2007. Dielectric constant time stability of glacial till at clear-cut site. Geoderma, Vol. 141, s. 311-319.
- Vukovic M. & Soro A.** 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. Water Resources Publications, USA. 83 p.