

Automatisoitu, jatkuva ympäristöolosuhteiden seuranta ja seurantatiedon laatu Maasää-hankkeessa

Sirpa Thessler¹, Hanna Huitu¹ ja Niina Kotamäki²

¹*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, sirpa.thessler@mtt.fi, hanna.huitu@mtt.fi*

²*Suomen ympäristökeskus, Jyväskylän toimipaikka, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto, niina.kotamaki@ymparisto.fi*

Tiivistelmä

Maasää-hankkeessa (6/2007-12/2008) suunniteltiin ja rakennettiin jatkuvatoiminen, automaattinen Maasää-anturiverkko tuottamaan tiheäfrekvenssistä ja spatiaalisesti tarkkaa ympäristöolosuhdetietoa Karjaanjoen valuma-alueelta. Lisäksi kehitettiin tuotetun datan laadunvalvontajärjestelmää, sekä testattiin datan hyödyntämistä maatalouden ja vesien seurannan sovelluksissa. Hankkeen toteuttivat Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Suomen ympäristökeskus ja Ilmatieteen laitos sekä 11 yritystä ja yhdistystä. Tutkimuslaitosten yhteistyö jatkuu nyt MMM:n rahoittamassa kolmivuotisessa EnviSense-hankkeessa, jossa jatketaan Maasää-verkon kehittämistä ja hyödyntämistä maatalouden sovelluksissa

Tässä artikkelissa on esitellään Maasää-mittausverkko ja arvioidaan verkon toiminnan luotettavuutta ja mittausten laatua. Arvio tehdään tarkastelemalla huolto- ja ylläpitotoimia hankkeen koko keston ajalta ja laadunvarmistusalgoritmien liputtamia puuttuvia, epäilyttäviä ja virheellisiä havaintoja 4 kk:n ajanjaksolta.

Maasää-anturiverkko koostuu noin 70 mittauspisteestä, jotka tuottavat päivittäin noin 30 000 havaintoa paikallisesta säästä (lämpötila, ilmankosteus, ilmanpaine, tuulen suunta ja nopeus), vedenlaadusta (veden sameus, nitraattityypipitoisuus) sekä maankosteudesta. Antureiden mittausfrekvenssi vaihtelee 15 min:sta tuntiin. Mittaustiedot siirtyvät havaintoasemilta langattomasti ja lähes reaaliaikaisesti kahteen tietokantaan, jotka ovat käytettävissä internetin kautta. Sää-, maankosteus- ja optiset sameushavainnot käyvät päivittäin läpi automaattisen laadunvarmistuksen, jossa tarkistetaan että havaintoasemat mittaavat ja että mittaukset ovat ennalta sovittujen raja-arvojen välissä. Tiedot puuttuvista, epäilyttävistä ja virheellisistä havainnoista lähetetään laadunvarmistajalle, ja niiden perusteella arvioidaan antureiden huoltotarpeita. Tietokantaan talletetaan havainnon laadusta kertova koodi. Spektrometrien tuottamat mittaukset käyvät läpi asiantuntijan suorittaman manuaalisen tarkastuksen ja korjauksen.

Puuttuvien havaintojen osuus on pysynyt pienenä (sääasemien puuttuvien havaintojen osuuden mediaani oli 0.6 % ja sameusasemien 1.4 %). Asemien välinen vaihtelu oli kuitenkin suurta. Yleisimpänä syynä olivat väliaikaiset virransaantiongelmat. Epäilyttäviä tai virheellisiä havaintoja löydettiin 0.06 %. Yleisimpiä ne olivat sameusasemilla, jossa ne johtuivat pääosin veden sameuden yksittäisistä piikkiarvoista tai vedenpinnankorkeusmittareiden sijaintiongelmistä. Huoltotoimia aiheuttivat eniten virransaantiongelmat (88 kpl) tai sameusantureiden likaantuminen (noin 64 kpl).

Nykyinen laadunvarmistusjärjestelmä paljastaa suurimmat virheet datassa ja tehostaa mittausverkon huoltoa ja ylläpitoa. Emme vielä tiedä kuinka moni epäilyttävä tai virheellinen havainto jäi huomaamatta. Toisaalta osa nykyisistä datan laatuongelmista on jatkossa vältettävissä kun anturiverkon toiminta vakiintuu. Toimivan laadunvarmistus- ja hälytysjärjestelmän ja huollon tärkeys tuli kuitenkin selkeästi esille.

Asiasanat: automaattinen mittaus, anturiverkot, datan laatu, ympäristön automaattinen seuranta

Johdanto

MTT:n koordinoiman Maasää-hankkeen tavoitteena oli tuottaa tiheäfrekvenssistä ja spatiaalisesti tarkkaa ympäristöolosuhdetietoa lohko-, tila- ja valuma-alueetasoilla, sekä kehittää tarkan sää- ja veden laatutiedon hyödyntämistä säähavaintotietojen alueellisessa yleistämisessä, ympäristökuormituksen seurannassa ja maatalouden sovelluksissa. Hankkeessa suunniteltiin ja rakennettiin jatkuvatoiminen, automaattinen Maasää-anturiverkko Karjaanjoen valuma-alueelle Etelä-Suomeen. Lisäksi kehitettiin tuotetun datan laadunvalvontajärjestelmää, sekä testattiin datan hyödyntämistä useissa sovelluksissa. Hanke toteutettiin yhdessä Ilmatieteen laitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen ja useiden yritysten kanssa.

Tiheäintervallisen ja jatkuvatoimisen automaattimittauksen hyödyt tulevat parhaiten esille, kun tarkastellaan odottamattomia, lyhytkestoisia tai nopeasti muuttuvia ilmiöitä. Tyypillisesti tällaisia ilmiöitä ovat äkilliset sääilmiöt ja niiden vaikutukset. Laaja-alaiset automaattiset mittaust verkostot mahdollistavat myös prosessien seurannan, kun ilmiön etenemistä mittaust verkoston eri osissa voidaan seurata reaaliaikaisesti. Mittauksen automatisoiminen, langaton tiedonsiirto ja mittaust noodien virransaannin järjestäminen paikallisesti helpottaa merkittävästi ympäristömittaust järjestelmän rakentamista ja etenkin vaikeakulkuisten, asumattomien tai vaarallisten alueiden seurantaa (Hart & Martinez 2006). Esimerkiksi vesistön ravinnekuormituksen seurannassa automaattinen mittaust voi merkittävästi parantaa tiedon laatua perinteiseen manuaalisesti otettaviin vesinäytteisiin perustuvaan arviointiin verrattuna. Esimerkiksi talvisten rankkasateiden aiheuttamien ravinne päästöpiikkien muodostumista ja etenemistä jokiuomissa voidaan tarkasti arvioida vain tiheäfrekvenssisten ja tarpeen mukaisesti sijoiteltujen automaattisten mittaust en avulla. Anturiteknologian hyödyntämisen lisääntyessä voidaan mittaust en kustannusten odottaa laskevan, jolloin niistä voi muodostua merkittävä ja yleisesti hyödynnetty työkalu myös maataloudessa mm. viljelyn panostusten tarkemmassa ajoittamisessa.

Anturiverkkoja on jo rakennettu maatalouden ja ympäristönsurannan tarkoituksiin ja operatiivisia sovelluksia on kehitetty (Wang ym. 2006). Yleisimpiä näistä ovat (maatalous)sääsovellukset (Gerrit ym. 2002, Pierce & Elliot 2008), lisäksi anturiverkkoja on käytetty mm. maatalouden hallavaroitust järjestelmissä (Pierce ym. 2008) ja kasvinsuojeluennuste ja kastelujärjestelmissä (Goense ym. 2005, Kim ym. 2006) sekä tulvavaroitust sovelluksissa (Floodnet 2004). Kaupallisesti toimivat sovellukset ovat kuitenkin harvinaisia.

Anturiverkot voivat sisältää hyvin monenlaisia antureita ja mittalaitteita aina satelliiteista webbikameroihin ja fysikaalisiin, kemiallisiin tai biologisiin antureihin (Rundel 2009). Automaattista seurantaa tekeviä tahoja on useita ja niiden määrän odotetaan lisääntyvän antureiden hintojen laskiessa. Tulevaisuudessa myös yksityisten ihmisten tuottama ns. vapaaehtoinen ympäristöpaikkatieto voikin olla merkittävä ympäristötiedon lähde valtion, kunnan ja kolmannen sektorin mittaust järjestelmien ohella (Goodchild 2007). Tiedontuottajien ja anturiverkkojen määrän lisääntyessä yhtenä haasteena on saada eri tietokannat yhteiskäyttöiseksi ja keskustelemaan keskenään. Tällöin on myös kiinnitettävä aiempaa enemmän huomiota datamassan käsittelyyn, laadun arviointiin ja laatuparametrien viestimiseen käyttäjille. Myös mallien mahdolliset muutostarpeet nousevat tässä yhteydessä esille, sillä perinteiseen esim. manuaalisesti tapahtuvaan näytteenottoon nojaavat mallit eivät useinkaan pysty hyödyntämään uudentyyppistä dataa.

Tässä artikkelissa kerrotaan Maasää-hankkeesta rakennetusta anturiverkosta ja arvioidaan alustavasti mittaust verkoston toiminnan luotettavuutta ja datan laatua. Maasää-hankkeesta automaattista anturidataa hyödyntävien sovellusten tuloksista on kerrottu yksityiskohtaisesti Huitun (2009) toimittamassa julkaisussa.

Aineisto ja menetelmät

Maasää-anturiverkko rakennettiin Karjaanjoen valuma-alueelle vuosien 2007-2008 aikana Tekesin, MMM:n ja useiden yritysten rahoittamassa Maasää-hankkeessa. Tässä MTT:n koordinoimassa hankkeessa pystytettiin yhdessä Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen kanssa 70 mittaust pistettä paikallisen sään, maankosteuden ja veden laadun mittaamiseen. Puolitoistavuotisen hankkeen aikana kehitettiin lisäksi yksinkertainen laadunvarmistus- ja hälytyst järjestelmä, järjestettiin antureiden huolto ja ylläpito, sekä myös testattiin datan käyttöä vesien seurannan ja maatalouden sovelluksissa.

Tässä artikkelissa Maasää-verkon toimivuutta ja laatua arvioidaan tarkastelemalla laadunvarmistusjärjestelmän liputtamia puuttuvia, epäilyttäviä ja virheellisiä mittaustuloksia sekä analysoimalla anturiverkon vaatimia huoltotoimia. Datan laadun arvioinnissa käytettiin neljän kuukauden ajanjaksoa, heinäkuusta lokakuuhun 2008, ja tarkastelussa olivat mukana 54 sääaseman anturit ja 16 vedensameusanturia. Yhteensä tietokannassa oli reilut kolme miljoonaa havaintoa valitulla ajanjaksolla. Tarvittavia huoltotoimia ja niiden tiheyttä tarkasteltiin hankkeen koko keston ajalta eli 1,5 vuoden ajalta (6/2007- 12/2008). Koska verkko ja laadunvarmistus- ja hälytysjärjestelmä rakennettiin saman ajanjakson aikana, ei tuloksista voida suoraan päätellä nykyistä huoltotarvetta. Antureiden määrä lisääntyi vähitellen siten että viimeiset anturit asennettiin kesällä 2008. Laadunvalvonta ja -hälytysjärjestelmä otettiin puolestaan käyttöön toukokuussa 2008. Kuuteen Obs3+-sameusasemista asennettiin automaattinen puhdistusharja kesän 2008 aikana.

Laadunvalvontajärjestelmä tarkistaa datan neljän eri testin avulla: 1) puuttuvan datan testi tarkistaa, onko anturilta tullut havaintoja tietokantaan viimeisen 4 tunnin aikana; 2) puuttuvien havaintojen testi tarkistaa, puuttuko tietokannasta yksittäisiä havaintoja viimeisen 24 tunnin ajalta; 3) variaatiotesti testaa, onko mittaustuloksissa vaihtelua vai mittaaako anturi jatkuvasti samaa arvoa 4) raja-arvo testi testaa, jääkö havainto ennalta määritettyjen anturi-, ajankohta- ja mittauspaikkakohtaisten raja-arvojen sisälle. Raja-arvot on määritetty erikseen epäilyttäville ja virheellisille havainnoille.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Maasää-anturiverkko

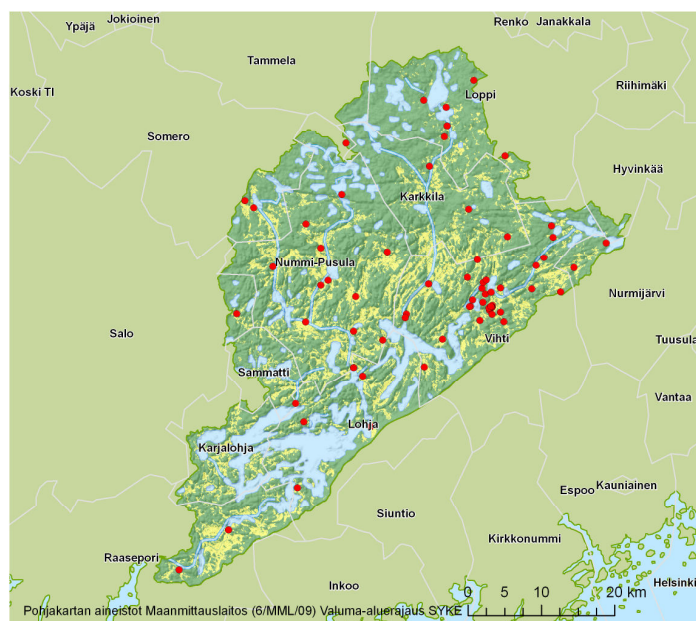
Karjaanjoen valuma-alueelle (2000 km²) sijoitettu jatkuvatoiminen, ympärivuotinen mittausverkko koostuu noin 70 mittauspisteestä, jotka seuraavat 15 minuutin – tunnin välein säätekijöissä, maankosteudessa, veden sameudessa tai nitraattityppipitoisuudessa tapahtuvia muutoksia. Mittauspisteiden laitekanta ja mitattavat parametrit vaihtelevat; 54 pisteessä mitataan paikallisia säätekijöitä a-Lab Oy:n a-Weather sääasemilla (lämpötila, ilmankosteus, ilmanpaine, tuulen suunta ja nopeus); 21 FDR- tai liuska-anturia mittaa maankosteutta; 16 mittauspisteessä mitataan veden sameutta Obs 3+-anturilla, joista osaan on liitetty lisäksi paineanturi veden pinnan korkeuden vaihteluiden määrittämiseksi; 4 mittauspisteessä seurataan veden sameutta ja nitraattitypen pitoisuutta S::can spektrometrillä. Näissä pisteissä mitataan myös veden lämpötilaa ja pinnankorkeutta.

Taulukko 1. Määsää-havaintoverkon mittaukset ja mittalaitteet

Mitattava suure	Anturi	Esitys- tarkkuus	Mittausväli (min)
Ilman lämpötila (C)	Pt1000	0,1 C	15 / 30
Ilman suhteellinen kosteus (%)	AST2 Vaisala HMP50	0,1 %	15 / 30
Sademäärä (mm)	Davis Rain Collector	0,1 mm	15 / 30
Tuulen suunta (aste)	Davis Anemometer	5 astetta	15 / 30
Tuulen nopeus (m/s)	Davis Anemometer	0,1 m/s	15 / 30
Maan tilavuuskosteus (%)	Decagon ECHO (capacitance) FDR (Frequency Domain	0,1 %	15
Maan tilavuuskosteus (%)	Reflectometry)	0,1 %	15
Veden sameus (NTU)	OBS3+	0,1 NTU	15
Veden pinnankorkeus (cm)	Keller 0.25 bar	0,1 cm	15
Veden nitraattityppipitoisuus (mg/l)	S::can Nitro::lyser	0,1 mg/l	60
Veden sameus (FTU)	S::can Nitro::lyser	1 FTU	60
Veden pinnankorkeus (cm)	Keller PR36	0,1 cm	60
Veden lämpötila (C)	Luode omaa tuotantoa	0,1 C	60

Sään ja veden sameuden mittaukset kattavat koko valuma-alueen. Mittaukset tiheytyvät valuma-alueelle sijoitetulla kolmella intensiivisen mittauksen ja tutkimuksen alueella, joihin keskittyy myös maankosteuden ja nitraattitypen pitoisuuden seuranta. Intensiivisen tutkimuksen alueet ovat Hovin kosteikko, Vihtijoen osavaluma-alue ja Hiidenvesi (kartta 1). Sääasemat ja niihin liitetyt maankosteuden anturit on sijoitettu pääasiassa yksityisten viljelijöiden maille. Sameuden ja

nitraattityypipitoisuuden mittauksia tehdään eniten jokiuomissa, mutta myös pelto-ojissa ja salaojissa Hovin intensiivisen tutkimuksen alueella.



Kuva 1. Kartta Maasää-havaintoverkon alueellisesta kattavuudesta

Antureiden mittaustiedot siirtyvät langattomasti tietokantaan joko tekstiviesteinä tai datapuheluin. Asemien välillä ei ole tiedonsiirtoa tai kommunikaatiota. Maasää-verkosta talletetaan päivässä noin 30000 mittaustulosta tietokantaan, johon talletetaan lisäksi tiedot mittaustaikasta ja mittaussajankohdasta. Tämä aika-paikkatietokanta on käytettävissä lähes reaaliaikaisesti julkaisten internetpalveluiden kautta (http://testbed.fmi.fi/time_series.html, <http://maasaa.a-log.net/>).

Sää- ja sameusmittausten laatua valvotaan automaattisten laadunvarmistusalgoritmien avulla ja tämän perusteella mittaustuloksiin lisätään mittauksen laadusta kertova koodi. Laadunvarmistusjärjestelmä myös lähettää hälytysviestin laaduntarkkailijan sähköpostiin, mikäli automaattiset laadunvarmistustestit huomaavat epäilyttäviä mittaustuloksia. Spektrometrien tuottamat mittaukset käyvät läpi asiantuntijan suorittaman manuaalisen tarkastuksen ja korjauksen ennen niiden siirtymistä internetiin ladattavaksi.

Laadun valvonnan ja tarkastelun lisäksi havaintoasemat vaativat jatkuvaa huoltoa ja ylläpitoa. Havaintoasemille pyritään tekemään kaksi vuosittaista huoltokierrosta, jolloin mm. asemat ja anturit puhdistetaan, paristot vaihdetaan ja korjataan löystyneitä kiinnikkeitä. Säännöllisen huollon lisäksi automaattinen laadunvarmistusjärjestelmä tukee huolto- ja ylläpitotoimintaa, sillä järjestelmä välittää viestiä epäilyttävistä tai puuttuvista mittaustuloksista ja mahdollisesti tarvittavista huolloista. Lisäksi anturit, etenkin vedessä mittaavat, tarvitsevat säännöllistä puhdistusta. Spektrometreissä on automaattinen paineilmapuhdistus ja kuudessa sameusanturissa automaattinen puhdistusarja vähentämässä anturin likaantumista. Lisäksi kaikki vedessä mittaavat anturit puhdistetaan manuaalisesti vähintään kerran kuukaudessa. Kesäaikaan likaantuminen kiihtyy ja puhdistusta on tihennetty. Vedessä mittaavien antureiden lisäksi lisäpuhdistustarvetta on esiintynyt sademittareissa.

Hankkeen aikana Maasää-verkon tuottamaa dataa hyödynnettiin seuraavissa sovelluksissa: kosteikon ravinteiden pidätyskyvyn seuranta, ravinnekuormituksen mallintaminen valuma-alueella, lämpötilan yleistäminen 25 m hilaruudukoon, kasvinsuojeluennusteiden kehittäminen perunaruton ja rypsin ja rapsin pakkahomeen osalta, peltomaan kosteuden automaattimittauksen hyödyntämismahdollisuuksien arviointi, ja tarkan ympäristöolosuhdetiedon tarkennetussa viljelyssä tapahtuvan hyödyntämisen arviointi ja demonstrointi.

Maasää-verkon datan laatu

Mittausverkon tuottaman data laatuun vaikuttavat useat tekijät alkaen laitteiden mittaustaikasta valinnasta, asennuksesta ja laitteiden kalibroinnista. Datan laatuun vaikuttaa myös

laadunvarmistusjärjestelmän toimivuus ja se, että tarvittavista ylläpito- ja huoltotoimista huolehditaan. Puuttuvien havaintojen määrä pystytään selvittämään tietokannasta melko luotettavasti ja niiden osuus koko tietomassasta on pysynyt pienenä. Neljän kuukauden tarkastelujakson aikana sääasemien puuttuvien havaintojen osuuden mediaani oli 0.6 % ja sameusasemien 1.4 %. Asemien välinen vaihtelu oli kuitenkin suurta, ja joillakin asemilla jopa yli 10 % havainnoista puuttui. Yleisimpänä syynä puuttuviin havaintoihin olivat väliaikaiset virransaantiongelmat.

Laadun arvioinnin kannalta ongelmallisinta on tunnistaa anturin likaantumisen aiheuttamat virheelliset mittaustulokset, kuten veden sameuden hidas lisääntyminen tai roskan tai muun hetkellisen häiriötekijän aiheuttama piikki mittaustuloksissa. Raja-arvotesti löysi epäilyttäviä tai virheellisiä havaintoja vain 0.06 % (Taulukko 2). Ilman lämpötilan kohdalla hälytykset olivat osin vääriä, sillä hälytys epäilyttävästä havainnosta johtui muutamasta elokuun poikkeuksellisen kylmästä yöstä. Ilmapaine laski epäilyttävän alas johtuen virransaantiongelmista. Useimmiten raja-arvotesti hälytti epäilyttävästä tai virheellisestä vedenpinnan korkeuden havainnosta. Nämä hälytykset tulivat kahdelta asemalta, joista toinen oli luvottomasti nostettu kuivalle maalle, ja toisen mittauspaikan vedenpinta oli laskenut anturia alemmas. Veden sameuden mittaustulokset ylittivät raja-arvot noin 400 kertaa. Pääosin hälytykset aiheutuivat yksittäisistä piikkiarvoista.

Laadunvarmistustestien hälytysten tarkastelu osoitti, että puuttuvia, epäilyttäviä tai virheellisiä havaintoja löytyi melko vähän. On kuitenkin muistettava, että emme tarkastelleet sitä, kuinka moni virheellinen havainto jäi testeiltä huomaamatta. Laadunvarmistus- ja hälytysjärjestelmä paljasti kuitenkin hyvin suurimmat virheet datassa ja tehostaa mittausverkon huoltoa ja ylläpitoa.

Taulukko 2. Määritetyt raja-arvot ylittävien haavaintojen määrä mittausuureittain 4 kuukauden tarkasteluajanjakson aikana

Mittausuure	Epäilyttävien havaintojen määrä	Virheellisten havaintojen määrä
Ilman lämpötila	114	-
Veden pinnankorkeus	900	30
Ilmapaine	250	-
Veden sameus	323	80

Tiedot mittausasemilla tehtävistä huolto- ja ylläpitotoimista kirjataan kunkin aseman lokitietoihin. Lokitiedot analysoitiin kaikilta sääasemilta ja sameusasemilta hankkeen keston ajalta. Huoltotoimia kirjattiin yhteensä noin 190 kpl.. Yleisimmin huoltotoimia asemien aiheuttivat virransaantiongelmat (88 kpl) tai sameusantureiden likaantuminen (noin 64 kpl). Muutamilla paikoilla myös sademittareiden sadevesikeräin oli altis tukkeutumaan (18 kpl) lähipuiden lehdistä tai neulasista tai lintujen jätöksistä. Jotkut sääasemista kaatuivat tuulella (12 kpl) ennen kuin niihin asennettiin oikeanlaiset tukihihnat ja pehmeään maaperään sopivat tukijalat. Virransaantiin liittyviä ongelmia on pystytty vähentämään paristopakettien kokoonpanoa muuttamalla. Sameusantureiden likaantumisen vähentämiseksi kuuteen sameusanturiin asennettiin automaattiset puhdistusharjat. Jotta puhdistusharjojen vaikutusta sameusantureiden likaantumisenopeuteen voidaan arvioida, tarkastelimme näiden kuuden aseman sameustuloksia kuukausi ennen ja jälkeen harjojen asennuksen. Harjojen asennuksen jälkeen mitattu sameuden vaihtelu väheni huomattavasti, ja myös sameuden keskiarvo laski. Harjojen avulla myös sameuden hidastuminen ylöpäin katosi havainnoista. Tämän alustavan tarkastelun perusteella automaattinen puhdistus näyttää olevan välttämätöntä veden sameuden mittaamisessa. Se voi myös vähentää suuressa määrin huoltokäyntien tarvetta, sillä sameusantureiden puhdistus oli tutkitulla jaksolla yleisin huoltotoimi.

Osin epäilyttävät tai puutteelliset havainnot olivat verkon perustamisvaiheeseen liittyviä yksittäistapauksia, kuten väärät asennuspaikkavalinnat ja asemien kaatumiset, ja laitekannan käyttöönottoon liittyviä, kuten osa virransaantiongelmista. Näiden ongelmien vaikutukset datan laatuun vähenevät, kun mittausverkon toiminta vakiintuu. Joka tapauksessa, laadunvarmistuksen kehitystyötä on jatkettava, sillä nykyisillä testeillä kaikkia epäilyttäviä tai virheellisiä havaintoja ei vielä huomata. Erityisesti sameusanturien likaantumisesta johtuvia virheellisiä mittaustuloksia ei vielä saada riittäväällä tarkkuudella kiinni.

Johtopäätökset

Automaattisen mittausverkon avulla ympäristöseuranta voidaan tehdä huomattavasti tarkemmin kuin aikaisemmin: mittavien parametrien muutoksista saadaan tietoa jopa muutaman minuutin välein. Se myös mahdollistaa laajojen alueiden spatiaalisesti suhteellisen tiheän seurannan. Jotta automaattidataa hyödyntäviä sovelluksia voidaan kehittää, täytyy tuotetun datan laadun oltava riittävä ja laatuarvot välitetty käyttäjille. Tämä on vieläkin tärkeämpää, mikäli hyödynnetään ja käytetään yhdessä eri anturiverkoista haettavia mittaustuloksia.

Vaikka maasää-anturiverkon laadunvarmistus- ja huoltojärjestelmät ovat vielä kehitystyön alla ja vakiintumattomat, verkko näytti toimivan melko luotettavasti. Osa niistä ongelmista, jotka seurantajakson aikana aiheuttivat katkon havaintosarjoissa, on jatkossa vältettävissä. Tällaisia ovat ainakin kaatumiseen ja osin myös paristoihin liittyvät ongelmat. Toki on syytä myös muistaa että analyysi koski suhteellisen lyhyttä ajanjaksoa ja on mahdollista että pidemmän ajanjakson tarkastelu tuo esiin uusia ongelmia.

Tulokset toivat selvästi esille toimivan laadunvarmistus- ja hälytysjärjestelmän ja huollon tärkeyden, jotta automaattinen anturiverkko tuottaa käyttökelpoisia havaintoja. Välttämätön huolto- ja ylläpitotoiminta myös muodostaa merkittävän osan automaattimittauksen kustannuksista. Kun huoltoon ja ylläpitoon liittyvät työt kuten antureiden puhdistus ja kalibrointinäytteiden ottaminen otetaan huomioon, ei kenttätyö välttämättä vähene perinteisiin menetelmiin verrattuna. Tarkemmat arvot automaattimittauksen kustannuksista tullaan saamaan jatkohankkeen aikana, kun verkon rakentamisen ja pilotoinnin aikaiset ongelmat on ohitettu.

Emme ole varmistaneet laadunvarmistustestien luotettavuutta eli sitä, kuinka hyvin ne saavat kiinni puuttuvat ja virheelliset havainnot ja kuinka paljon virheellisiä havaintoja jää meiltä vielä huomaamatta. Puutteellisten havaintojen osalta testien odotetaan olevan hyvin toimivat, mutta virheellisten havaintojen osalta järjestelmää on tavoitteena kehittää mm. hyödyntämällä edeltäviä havaintoja ja vertaamalla eri mittaussuureita tai toisiaan lähellä olevien asemien mittauksia keskenään. Jatkossa tavoitteena on myös verrata automaattimittauksen tuloksia suoraan vesinäytteisiin tai toisiin automaattimittauksiin.

Maasää-hankkeessa alkanut työ jatkuu nyt Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa Envisense-hankkeessa. Jatkohankkeessa keskitytään automaattimittauksia hyödyntävien maatalouden sovellusten kehittämiseen. Hankkeessa jatketaan viljelykasvien kasvinsuojelujärjestelmien ja säätietojen interpolointimenetelmien kehitystyötä. Lisäksi kehitetään edelleen nurmen korjuuaikamallia ja kehitetään ruiskutuksen säätöön, jotka huomioivat paikalliset olosuhdetiedot. Maasää-verkkoa on tähän mennessä hyödynnetty lähinnä viljelyn sovelluksissa ja vesien seurannassa, mutta on selvää, että Maasää-tietokantaa ja havaintosarjoja voidaan käyttää myös monien muiden ilmiöiden ja ongelmien tarkastelussa.

Kirjallisuus

Floodnet. 2004. <http://envisense.org/floodnet/floodnet.htm>, luettu 28-29.10.2008.

Hoogenboom, G., Coker, D. D., Edenfield, J. M., Evans, D. M. & Fang, C. 2002. The Georgia automated environmental monitoring network: ten years of weather information for water resources management. Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference, 23-24.4.2003, University of Georgia. <http://cms.ce.gatech.edu/gwri/uploads/proceedings/2003/Hoogenboom%20et%20al.pdf>.

Huitu, H. (toim.). 2009. Automatisoidun mittausverkon kehittäminen ympäristön seurantaan. MTT Kasvu 4.

Goense, D., Thelen, J., & Langendoen, K. 2005. Wireless sensor networks for precise Phytophthora decision support. 5th European Conference on Precision Agriculture (SECPA), June 2005, Uppsala, Sweden. <http://www.st.ewi.tudelft.nl/~koen/papers/Secpa.pdf>.

Goodchild, M. F. 2007. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. GeoJournal 69: 211–221.

Hart, J. K. & Martinez, K. 2006. Environmental sensor networks: A revolution the earth system science? Earth-Science Reviews 78: 177-191.

Kim, Y., Evans, R. G., Iversen, W., & Pierce, F. J. 2006. Instrumentation and Control for Wireless Sensor Network for Automated Irrigation. 2006 ASABE Annual International Meeting, 9-12.7.2006, Portland, Oregon. Asebe meeting presentation: paper number 061105.

Pierce, F. J.; Elliott, T. V. 2008. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture* 61: 32-43.

Rundel, P. W., Graham, E. A., Allen, M. F., Fisher, J. C. & Harmon, T. C. 2009. Environmental sensor networks in ecological research. *New Phytologist* 182: 589-607.