

# Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen

**Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet**

**Timo Huttula, Emir Bilaletdin, Pekka Härmä, Kari Kallio,  
Jarmo Linjama, Kari Lehtinen, Hannu Luotonen,  
Olli Malve, Bertel Vehviläinen ja Leena Villa**



# Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen

**Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet**

**Timo Huttula, Emir Bilaletdin, Pekka Härmä, Kari Kallio,  
Jarmo Linjama, Kari Lehtinen, Hannu Luotonen,  
Olli Malve, Bertel Vehviläinen ja Leena Villa**



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN  
RAPORTTEJA 13 | 2009  
Suomen ympäristökeskus  
Tutkimusosasto

Taitto: Seija Turunen

Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF)  
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

## SISÄLLYS

<b>1 Johdanto</b> .....	5
<b>2 Hankkeen rajaukset</b> .....	7
<b>3 Automaattiset in situ mittaukset</b> .....	10
3.1 Vedenlaatumittaukset.....	10
3.2 Tiedonsiirto.....	12
3.3 Laadunvarmistus .....	13
3.4 Hyödyt.....	14
3.5 Kustannukset.....	16
3.6 Laittoimittajien ja käyttäjien kokemuksia kiinteistä automaattiasemista – tuloksia Webropol-kyselystä .....	16
3.7 Luotaavat laitteet.....	18
3.8 Tutkimusalus Muikku .....	19
<b>4 Kaukokartoitus SYKEssä</b> .....	21
4.1 Yleistä .....	21
4.2 Lumipeite.....	22
4.3 Vedenlaatu .....	22
4.5 Maankäytön ja maanpeitteen kartoitukset Suomessa ja Euroopassa .....	24
<b>5 Mallit</b> .....	25
5.1 Mallien kirjo SYKEssä .....	25
5.2 Seurannan tueksi soveltuvien mallien esittely .....	27
5.2.1 Vesistömallijärjestelmä .....	27
5.2.2 Huuhtoumamallit .....	29
5.2.3 Järvi- ja jokimallit.....	31
5.2.4 Biodiversiteettimallit .....	32
5.2.5 Kaukokartoitusmallit .....	33
5.2.6 Tuotanto- ja kulutusjärjestelmien mallit.....	33
5.3 Tärkeimmät mallien kehittämiskohteet.....	34
5.3.1 Vesistömalli ravinnekuvauksineen .....	34
5.3.2 Huuhtoutumamallit.....	34
5.3.3 LakeState .....	35
5.3.4 VEPS.....	35
5.4 Mallien hyödyntäminen seurannoissa .....	36
<b>6 Molekyylibiologiset menetelmät</b> .....	39
<b>7 Hahmontunnistusmenetelmät eliöryhmien määrittämisessä</b> .....	41
<b>8 Seurannan uudistamisen mahdollisuudet lähitulevaisuudessa</b> .....	42
8.1 Automaattiasemien lisääminen.....	42
8.1.1 Pienten valuma-alueiden verkko.....	42
8.1.2 Hydrologinen seuranta.....	43
8.1.3 Automaattiset vesistöjen tutkimuslautat ja jokiasemat .....	44
8.2 Automaattilaitteet liikkuvassa käytössä .....	45
8.3 Ympäristöobservatorioiden verkko .....	46

8.4	
<b>Kaukokartoitus</b> .....	47
8.4.1 Veden kaukokartoitus.....	48
8.4.2 Lumen kaukokartoitus.....	50
8.4.3 Maanpeitteen kaukokartoitus .....	50
8.4.4 Maastohavainnoinnin, mallinnuksen ja kaukokartoituksen yhteis- käytön edistäminen seurannassa .....	51
<b>8.5 Mallien käyttö</b> .....	52
8.5.1 Järvien GIS-pohjainen leväkukintamalli .....	52
<b>9 Pilottihanke- ja menetelmien kehittämishanke-ehdotuksia</b> .....	53
9.1 Kaukokartoitusmenetelmät kokonaisuutena ympäristöhallinnon seuran- tojen kehittämisessä .....	53
9.2 Huuhtouma- ja järvimallien kytkeminen .....	53
9.3 Seurannan mallipohjaiset ja tilastolliset suunnittelumenetelmät (SeMa- TiSu) .....	54
9.4 Hajakuormitus- ja järvitaseiden havaintoverkot (Hajku).....	55
9.5 Lumipeitteen vesi-arvon kuvauksen parantaminen vesistömallissa .....	55
9.6 Maanpeitteen kaukokartoitus .....	55
9.7 Terrestriksen biodiversiteetin ja suojelualueiden ekologisen tilan seuran- tamenetelmien kehittämishanke.....	56
9.8 Vesikasvien ekologisen tilan seurantamenetelmien kehittämishanke...57	
9.9 Molekyylibiologiaa sisältävät hankkeet.....	57
9.10 Hahmontunnistusmenetelmät eliöryhmien määrittämisessä .....	57
9.11 Logistiikan optimointi ja toiminnan simulointi seurannan kehittämi- sessä .....	58
<b>10 Vaihtoehtoja seurannan hallinnolliseksi järjestämiseksi niin, että uudet menetelmät tulevat käyttöön</b> .....	59
<b>II Yhteenveto</b> .....	61
<b>Liite 1. Automaattiasemien käyttö ympäristön seurannassa</b> .....	63
<b>LIITE 2. Luettelo seurannan lyhyen tähtäimen kehittämisehdotuksista ja -hankkeista</b> .....	68
<b>LIITE3. Luettelo seurannan pitkän tähtäimen kehittämisehdotuksista ja -hankkeista</b> .....	69
<b>Lähteet</b> .....	70
<b>Kuvailulehti</b> .....	71
<b>Presentationsblad</b> .....	72
<b>Documentation page</b> .....	73

# 1 Johdanto

Tämä raportti liittyy ympäristöministeriön keväällä 2007 käynnistämään hankkeeseen ympäristön seurannan ja raportoinnin kehittämisestä tuottavuuden näkökulmasta. Hankkeeseen liittyen SYKE asetti 22.1.2008 kolme projektiryhmää. Yksi näistä projektiryhmistä sai tehtäväkseen selvittää **Ympäristön seurannan automatisointia ja uusia menetelmiä** (erityisesti kaukokartoitus ja mallinnus).

Ryhmään kutsuttiin seuraavat henkilöt SYKEstä  
Puheenjohtaja Timo Huttula  
Pekka Härmä  
Kari Kallio  
Olli Malve  
Bertel Vehviläinen  
Sihteeri Jarmo Linjama

SYKE pyysi ryhmään yhteyshenkilöitä kolmesta aluekeskuksesta (UUS, KSU ja PKA). Aluekeskusten nimeäminä yhteyshenkilöinä ryhmässä ovat toimineet Kari Lehtinen/KSU, Hannu Luotonen/PKA ja Leena Villa/UUS. Lisäksi Emir Bilaletdin Pirkanmaan ympäristökeskuksesta toimi ryhmän kutsumana pysyvänä asiantuntijana koko hankkeen ajan. Kirsti Krogerus vastasi ryhmän toiminnan koordinoinnista ja raportoi työn etenemisestä ympäristöministeriön asettamalle ohjausryhmälle.

SYKEN asettamiskirjeessä ryhmän tavoitteeksi ja määräajaksi määriteltiin **”valmistella ehdotus automatisoinnin ja uusien menetelmien kehittämisestä ja käyttöön-otosta seurannan tuottavuuden parantamiseksi 31.10.2008 mennessä”**

Projektiryhmä kokoontui 7 kertaa. Kokouksissa uusien menetelmien asiantuntijat pitivät yhteensä 11 alustusta. Raportin työstäminen tapahtui keskeisiltä osiltaan Tampereen Teiskossa pidetyssä työpajassa syyskuussa 2008.

Seurannalla tarkoitetaan tässä yhteydessä pitkäaikaista ja määräajoin toistuvaa mittaamiseen tai muuhun kokeelliseen havainnointiin perustuvaa ympäristön tilan ja siinä tapahtuvien muutosten seuraamista.

Uusilla menetelmillä tarkoitetaan tässä perinteisiä manuaalisia menetelmiä korvaavia ja täydentäviä mittauksia ja menetelmiä. Tällaisia ovat mm. sähköisiin antureihin perustuvat in situ -mittaukset, kaukokartoituksen sovellukset tai erilaiset mallijärjestelmät. Yleensä nämä menetelmät hyödyttävät sekä ympäristöseurannan että -tutkimuksen kehittämistä. Avainkysymyksiä ovat mm ilmaston muuttumisen ja maa- ja metsätalouden muutosten vaikutukset ravinnevirtoihin, ja kuormituksen aiheuttamiin haitallisiin muutoksiin sisävesissä ja merialueilla. Erilaisia uusia menetelmiä käsitellään tarkemmin luvuissa 3.-7. Ilmatieteen alalla sähköisten antureiden ja niihin perustuvien automaattiasemien käytöstä on jo vuosikymmenien perinteet.

Hydrologisen seurannan automatisointi Suomessa ja siihen liittyvä tiedon kauko-siirto käynnistyivät jo 1970-luvulla erityisesti vesivoimasektorilla (Puupponen 2004).

Myös vesistöjen fysikaalis-kemiallista tilaa kuvaavien muuttujien arvojen mittauksesta automaattiasemilla Suomessa on kokemuksia jo yli kolmenkymmenen vuoden ajalta. Ensimmäinen silloiselle vesihallitukselle hankittu siirrettävä automaattiasema otettiin nimittäin koekäyttöön vuonna 1974 (Muhonen 1976). Automaattisessa mittauksessa perusmittauksia 1970-luvulla olivat lämpötila, johtokyky, pH, happi ja sameus. Kokeiluja jatkettiin mm. Maailmanpankin rahoituksella ja automaattinen vesistö tarkkailu tuotti uutta ja käyttökelpoista tietoa vesistöjen tilasta (Kohonen 1982). Myös hydrologisen seurannan automatisointi ja siihen liittyvä tiedon kaukosiiro käynnistyivät 1970-luvulla erityisesti vesivoimasektorilla (Puupponen 2004).

Hydrologisissa seurannoissa automaattisia asemia on lisätty varsin systemaattisesti erityisesti viimeisen 20 vuoden aikana. Vedenlaadun seurannoissa automatiikan soveltaminen on ollut huomattavasti hitaampaa. Tämä johtuu paljolti anturitekniikan ja tiedonsiirron teknisestä kehitymisestä sekä toisaalta alan toimijoiden kokemuksen kehitymisestä, jotka ovat ajoittuneet 2000-luvulle.

Kaukokartoituksen osalta ympäristön seurannan sovellusmahdollisuudet ovat myös kasvaneet viime vuosina. Alalle on suunnattu paljon voimavaroja ja näin tullaan EU:n tasolla tekemään myös jatkossa. SYKEN kaukokartoitustuotteet palvelevat tällä hetkellä vesistöjen valunnan mallintamista, vesistöjen pintalämpötilan ja vedenlaadun seuranta, levätiedotusta ja maankäytön seuranta.

Laskennallisten vesistömallien soveltamisesta ympäristön tilan seurannan apuvälineenä on vasta vähän kokemuksia. SYKEN vesistömallijärjestelmä soveltuu tähän hydrologian osalta osittain varsin hyvin. Järjestelmän avulla voidaan simuloida valunnan ja muiden hydrologisten suureiden muutoksia aina vuodesta 1962 lähtien. Simulointia voidaan tehdä aina kolmannen jakovaiheen valuma-alue tasolle saakka. Sen sijaan vedenlaadun ja biologisen seurannan osalta kokemukset mallien käytöstä seurannan täydentäjänä ovat vielä varsin vähäiset.

Tässä raportissa tarkastellaan erikseen kolmenlaisten uusien menetelmien nykykäyttöä ja kehitystarpeita (luvut 3-5). Tämän jälkeen esitetään lyhyen aikavälin toimenpide-ehdotuksia uusien menetelmien käyttöönotolle (luku 8). Luvussa 9 esitetään kehityshankkeita, joiden kautta menetelmien käyttöönottoa voidaan laajentaa.



## 2 Hankkeen rajaukset

Seurannalla tavoitellaan tietoa ympäristön tilasta ja siinä tapahtuvista muutoksista. Ympäristön tilaa kuvaavien eri luonnontieteellisten suureiden joukko on perustellusti määritelty aikaisemmissa YHA:n seurantaohjelmissa (Niemi ym. 2006). Tässä työssä on rajoitettu käsittelemään seuraavia seurannan osa-alueita:

Hydrologia

Vesistöjen fysikaalis-kemiallinen seuranta

Vesistöjen hydrobiologinen seuranta: kasviplanktonin a-klorofylli

Vesikasvillisuusseuranta

Biodiversiteetin seuranta

Luonnon ilmiöiden aika- ja paikkamittakaavat vaihtelevat paljon. Taulukossa 1. on esimerkkinä järviympäristössä esiintyvien hydrodynaamisten ilmiöiden mittakaavoja. Siinä on listattu myös ilmiöiden merkitys järvien ravinnekierrolle ja planktonituotannolle.

Taulukko 1. Järvissä esiintyvät hydrodynaamiset ilmiöt ja niiden paikka- ja aikamittakaavat sekä näiden ilmiöiden merkitys ravinteiden kierrolle ja planktonituotannolle (Huttula et al. 2004).

Hydrodynaaminen ilmiö	Horisontaalinen mittakaava	Horisontaalinen nopeus-skaala	Vertikaalinen mittakaava	Aikaskaala	Merkitys planktonituotannossa (PI) ja ravinnekierrossa (Ra)
Tuulen tuottamat virtaukset	100 m–1 km	1–30 cms-l	1–25 m	Päiviä	Suuri molemmille
Valunnan aiheuttamat virtaukset	10 m–100 m	1–10 cms-l	1–10 m	Kuukausia	Suuri molemmille
Tiheyseroista johtuvat virtaukset	10 m–1 km	0,1–5 cms-l	0,1–1 m	Tunneista kuukausiin	Merkittävä molemmille
Etenevät pinta-aallot	1–10 m	1 ms-l	1 m	1 s	Vähäinen molemmille
Lyhytaikaissäänöstelyn aiheuttamat aallot	100 m–10 km	1 ms-l	1 m	10 s–10 min	Vähäinen molemmille
Järven ominaisheilaukset (seiches)	1 km–100 km	1–10 ms-l	0,1 m	10 min–10 h	Vähäinen molemmille
Sisäinen aaltoilike (sisäinen seiche)	1 km–100 km	50 cms-l	1 – 10 m	10 h–1 kk	Kohtuullinen molemmille
Langmuirin spiraalit	10 m–100 m	0,1–8 cms-l	1 – 20 m	5 min	Merkittävä PI:lle

Esimerkiksi järvien planktonituotannon paikallisen vaihtelun selvittämisessä olisi päästävä vähintään 1 km paikkaerotuskykyyn sekä mittauksiin vrk-pituisin välein. Resurssisyistä tällaiseen tiheyteen ei kuitenkaan ole voitu mennä perustutkimuksia lukuun ottamatta.

Valuma-alueella ajallinen vaihtelu kiinteällä maalla vesiuomia lukuun ottamatta on luonnollisesti hitaampaa kuin järvillä tai merialueilla. Paikallisen vaihtelun mitataava horisontaalisuunnassa on taulukossa 1 esitettyjä suurempi.

Vesistöjen tilan seuranta on paljolti perustunut fysikaalis-kemialliseen näytteenottoon. Ajallinen seurantatiheys on vaihdellut muutamasta näytteenotokerrasta vuodessa aina 15–20 näytteeseen vuodessa (virtavesipaikat). Näytteenottoa on kohdennettu erityisesti avovesikaudelle, jolloin biologinen tuotanto on vilkkainta. Tällainen tiheys riittää hitaasti tapahtuvien muutosten havaitsemiseen. Se ei kuitenkaan riitä esim. viime vuosien leutojen talvien tilanteessa, jolloin talvivalunnan ja ravinnehuuhtoumien osuus on merkittävästi kasvanut. Tällöin esim. tunnin välein tehtävillä automaattimittauksilla uoman sameudesta ja vedenkorkeudesta saadaan merkittävästi aikaisempaa tarkempaa tietoa.

Toisena esimerkkinä voidaan käyttää järvien pintalämpötilojen mittausta avovesikaudella. Siinä ongelmana on alueellinen edustavuus. Pintalämpötilan mittaus tapahtuu päivittäin. Mittaus sinällään on halpa ja yksinkertainen. Menetelmä perustuu rantalaiturilta otettavan vesisangollisen lämpötilan mittaukseen. Ilmastonmuutoksen myötä kiinnostus järvi- ja merialtaiden lämpötilatietojen saamiseen kasvaa ja mittausten paikalliseen kattavuuteen voidaan saada selkeää parannusta kaukokartoitusvälineiden kautta.

Uusien menetelmien kustannustehokkuuden arvioinnissa perinteisten menetelmien kustannusten tunteminen on tärkeää. Niiden kustannuksien arviointi onnistuu kuitenkin vain suuruusluokkatarkasteluna (Taulukko 2). Arvioita onkin tehty lähinnä aluekeskusten toimittamien melko epätarkkojen arvioiden pohjalta (Malm2007).

Taulukko 2. Ympäristöseurannan kustannuslajit ja niiden arviointimenetelmät.

Kustannuslaji	Selite	Määritettävyyys	Merkittävyys kokonais-kustannusten kannalta
Havaintopaikan perustaminen	Tutkijan tai suunnittelijan työpanos		Pieni merkitys
Havainnon tekeminen	Havaintopaikan tai näytteenottajan kulut	Melko suoraviivaista. Yksittäisen havainnon osalta kuitenkin hankalaa määrittellä	Merkittävä
Analyysit laboratoriossa		Suoraviivaista laboratoriodien hinnoittelun avulla	Merkittävä
Tietoliikennekulut	Aseman ja SYKEN väliseen tiedon siirtoon liittyvät kustannukset	Voidaan arvioida te-leoperaattorien laskutuksen perusteella	Pieni merkitys
Laadunvalvonta	Seurantavastaavan työpanos	Hankala määrittellä yksittäisen havainnon osalta.	Jonkin verran merkittävä
Tietokantaan tallennus ja tietokannan tekninen ylläpito	Tietokantavastaavan työpanos	Hankala määrittellä yksittäisen havainnon osalta.	Jonkin verran merkittävä

Edellisen pohjalta on selvää, että tässä työssä uusien menetelmien kustannustehokkuutta voidaan arvioida vielä varsin vajavaisesti, koska vanhojenkin menetelmien kustannusten arviointi on melko vajavaista.

Kaikkien tässä käsiteltyjen uusien seurantamenetelmien (automaatiikka, kaukokartoitus ja mallit) keskeisenä ominaisuutena on, että niillä saadaan paljon havaintoja harvoista muuttujista. Tämä johtaa väistämättä siihen, että uusia menetelmiä voidaan käyttää lähinnä täydentämään vanhoja menetelmiä.

Seuraavassa käsitellään uusia menetelmiä ja niiden soveltuvuutta.

## 3 Automaattiset in situ mittaukset

### 3.1

#### Vedenlaatumittaukset

Taulukossa 3. on esitetty antureita, joista on Suomessa käyttökokemuksia. Taulukko perustuu Junturan et al. (1997) julkaisemaan yhteenvetoon. Mitattavien vedenlaatumuuttujien määrä on kasvanut muutamalla kymmenen vuoden aikana. Samoin antureiden tarkkuus on parantunut ja hinnat pääosin laskeneet. Ravinneantureiden kohdalla on edelleen puutteita.

Pisimmät kokemukset automaattiseurannoista ympäristöhallinnossa on seuraavista suureista:

- Pinnankorkeus (paineanturi)
- Ilman ja veden lämpötila
- Johtokyky
- pH
- Happi
- Sameus

Taulukko 3. Luonnonvesien automaattimittauksiin saatavilla olevia antureita.

Mitattava suure	Menetelmä	Käyttöko- kemuksia Suomessa	Kaupallinen saatavuus	Hintaluokka €	Käyttökohde
A-klorofylli	fluorometri	x	x	4000-5000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
	Optinen spektri	x	x	20000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
BOD	respirometri	x			
Bakteerimäärä	fluoresenssi	x	x		
Sinilevät	Leväpigmenttien fluoresenssi	x	x	4000-5000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
Bioanturit	Elävän organismin reaktiot	x	x		
Happipitoisuus	Sähkökemialla ja puoliläpäisevät kalvot	x	x	500-1000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
	Optinen	x	x	2000-3000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
pH	Potentiometri	x	x	500-1000	
Redox-potentiaali	potentiometrinen	x	x		
Lämpötila	Sähkövastus	x	x		
	Termistori	x	x	500-1000	
Vedenkorkeus	Paineanturi	x	x	500-1000	
	ultraäänianturi	x	x		
	Matalataajuus tutka	x			
Sameus	Optiset anturit	x	x	1000-10000	
Kiintoainepitoisuus	Optiset anturit	x	x		
	Säteilyanturit	x	x		
	Tiheysanturit				
Sulfaatti	Ioniselektiivinen anturi	x	x		
	Analysaattori/fotometri		x		

Yllämainitut suureet pystytään nykyään mittaamaan melko luotettavasti ja koh-tuuhinnalla, mikäli antureita huolletaan käyttökohteen vaatimalla tavalla (esim. puh-distus, jäätyminen esto, kalibrointi). Erityisesti paine-, lämpötila- ja johtokykyanturit ovat varmatoimisia ja vähän huoltoa vaativia. Tunnettuja anturivalmistajia ovat esim. YSI, S:can, Keller ja OTT.

Näidenkin antureiden käyttökokemuksista voidaan kuitenkin sanoa, että halvin vaihtoehto on harvoin edullisin. Antureiden kestävyys ja mittausten luotettavuus vaihtelee suuresti. Tämä on syytä ottaa jatkohankinnoissakin huomioon. Käyttämäl-lä kunnolla testattuja, luotettavaksi havaittuja antureita voidaan seurantoja näiden suureiden osalta tehostaa erittäin kustannustehokkaasti.

Laatuantureiden (nitraatti-, sameus-, happi- ja pH-anturit) käytössä ja anturei-den valinnassa korostuu se, että on etukäteen tunnettava asennuspaikan olosuhteet mahdollisimman tarkasti ja valittava anturit käyttökohteen mukaan. Esimerkiksi ravinteikkaisiin vesiin ei kannata asentaa anturia, jossa ei ole automaattista puhdis-tusta, koska anturit likaantuvat kesällä muutamassa päivässä. Toisaalta esim. poh-javesiputkiin (kylmää, pimeää, vesi usein vähäravinteista) samat anturit saattavat soveltua erinomaisesti.

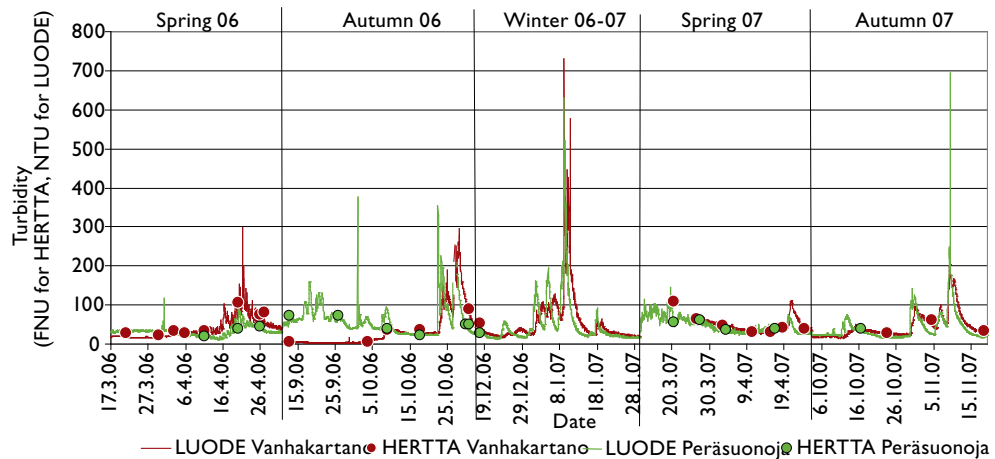
Savijoen maatalousvaltaisella, pienellä valuma-alueella Tarvasjoella on vertailtu erilaisia laatuantureita ja saatu arvokkaita kokemuksia niiden soveltuvuudesta ja soveltumattomuudesta runsasravinteisiin jokivesiin. Erityisen hyviä kokemuksia sameuden ja nitraatin mittaamisesta on saatu anturista, jossa puhdistus on järjestet-ty kompressoritoimisella paineilmalla. Anturi on mitannut luotettavasti ja pysynyt puhtaana.

SYKEssä on meneillään kaksi Tekesin rahoittamaa tutkimushanketta, joissa testa-taan automaattisia in situ -mittauksia, MAASÄÄ ja CatchLake2:

MAASÄÄ-hankkeessa kehitetään maataloudelle suunnattuja ennustepalveluita sekä pyritään vähentämään maatalouden vesistökuormitusta. Hankkeessa on ra-kennettu Karjaanjoen vesistöalueelle tiheä mittausverkko käyttäen langattomia ja automaattisia sääasemia ja sameusantureita ([www.mtt.fi/maasaa](http://www.mtt.fi/maasaa)).

Mittattava suure	Menetelmä	Käyttöko-kemuksia Suomessa	Kaupallinen saatavuus	Hintaluokka €	Käyttökohde
Nitraatti	Ioniselektiivinen anturi	x	x		
	Analysaattori/fotometri		x		
	Optinen 256 kanavainen UV-VIS alueen mittaus	x	x	8000-18000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
Nitriitti	optinen 256 kanavainen UV alueen mittaus		x	8000-18000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
Ammonium	Ioniselektiivinen anturi	x	x	3000-5000	
	Analysaattori/fotometri		x		
Kloraatti	Analysaattori/fotometri		x		
Metalli-ionit	Ioniselektiivinen anturi	x	x		
	Analysaattori/kromi		x		
Fosfaatti	Analysaattori/fotometri		x		
Veden väri	Optinen analysaattori		x	8000-10000	
Rauta	Analysaattori/fotometri	x	x		
Totaalifosfori	Optinen 256 kanavainen UV-VIS alueen mittaus	x	x	8000-18000	tutkimuskäyttö
DOC	Optinen 256 kanavainen UV-VIS alueen mittaus	x	x	8000-18000	vesihuolto, tutkimuskäyttö
Johtokyky	Sähköinen	x	x	1000-10000	vesihuolto, jäteveden valvonta, tutkimuskäyttö
Hiilivedyt	Fluorometri	x	x	10000-15000	vesihuolto, jäteveden valvonta
Fenolit, ksyleeni, tolueeni	Optinen 256 kanavainen UV-VIS alueen mittaus	x	x	8000-18000	vesihuolto, jäteveden valvonta

CatchLake2 hankkeessa testataan in situ -mittauksia sekä Säskylän Pyhäjärvässä (järvimittauslautta) että sen valuma-alueella (Lepistö ym., 2008). Hankkeen tavoitteena on i) kehittää uusia mittaustekniikoita ja järveen tulevan ravinnekuormituksen arviointimenetelmien tarkkuutta, ii) soveltaa valuma-alue ja järvimalleja sekä iii) kehittää kaukokartoitustulkintojen tarkkuutta. Järveen laskevista Yläneenjoesta ja Pyhäjoesta mitataan sameutta jatkuvatoimisesti, koko syys-talvi-kevätkauden 2008–2009.



Kuva 1. Vertailu automaattisten (on-line) ja laboratoriossa tehtyjen sameusmittausten välillä, viidellä eri mittausjaksolla 2006–2007. Mittauspisteet ovat Yläneenjoki (Vanhakartano) ja Peräsuonoja Yläneenjoen vesistöalueen latvoilla (Lepistö et al., 2008).

### 3.2

## Tiedonsiirto

Automaattiantureiden mittaama data kerätään ensi vaiheessa laitteiston tiedon tallentimeen (datalogger) ja lähetetään sopivin väliajoin, esim. kerran vuorokaudessa, edelleen tietokantaan. Ympäristöhallinnossa on käytössä verkkovirta-, akku- ja aurinkopaneelitoimisia laitteita.

Tallennin on keskeisin osa automaattista seuranta. Hyväkään anturi ei anna oikeita tuloksia, jos tallentimessa on ohjelmointivirheitä tai se kadottaa tietoja. Tallentimen on toimittava kaikissa sääolosuhteissa, kestävä vettä ja huippupakkasia. Virtalähteen on oltava sellainen, että virta ei koskaan katkea pitkäksi aikaa. Aurinkopaneelilaitteiden varavirranlähteenä on aina akku, useimmiten akku on myös verkkovirtalaitteissa.

Tallentimeen on mahdollista riittävästi tietoa, mieluiten usean kuukauden tiheästi mitattu data. Jos datapaketin lähetys epäonnistuu, data ei saa hävitä. Tämäkään ei ole itsestään selvää kaikkien laitteiden osalta. Kovilla pakkasilla tiedonsiirto usein epäonnistuu, koska kaikki modeemit eivät kestä pakkasta. Jos tallennin on laadukas, mittaukset jatkuvat modeemin jäätymisestä huolimatta ja sään taas lauhtuessa tietokantaan siirtyy kerralla koko pakkaskauden data.

Keskeisimmät ympäristöhallinnossa käytettävät tiedonsiirtotavat ovat seuraavat:

- GPRS
- GSM-data
- tekstiviesti
- sähköposti

Yksinkertaisissa, muutamaa suurempaa mittavissa laitteissa tiedonsiirto voidaan hoitaa edullisesti GSM-datan avulla tai yksinkertaisimmillaan tekstiviestinä. Molempia tapoja on käytetty ja käytetään edelleen runsaasti ympäristöhallinnon automaattisissa mittalaitteissa. Näillä tavoilla ei kuitenkaan pystytä edullisesti siirtämään

suuria tietomääriä, varsinkaan jos dataa halutaan siirtää useita kertoja vuorokaudessa. Lisäksi tekstiviestitiedonsiirtoon on liittynyt monenlaisia, sekä laitteista että teleoperaattorista johtuneita luotettavuusongelmia.

Tiheä ja monipuolinen tiedonsiirto onnistuu parhaiten GPRS- palvelun kautta. GPRS (General Packet Radio Service) on GSM-verkossa toimiva langaton tiedonsiirto-palvelu. GPRS - tiedonsiirtoformaatin suurin etu on se, että yhteys voi olla jatkuvasti päällä sen kuitenkaan kuormittamatta verkkoa muulloin kuin dataa siirrettäessä. GPRS-tiedonsiirto laskutetaan siirretyn tiedon määrän perusteella, toisin kuin GSM-datasiirto, joka on puhelun tavoin aikaveloitteinen. Tämän vuoksi GPRS on suurten tietomäärien siirrossa edullisin tapa.

Automaattiantureiden datan on siirryttävä tietokantaan oikeassa formaatissa. Koska laitetoimittajia on runsaasti, tämä aiheuttaa ylimääräistä työtä. Määrittelemällä etukäteen riittävän tarkat standardit tiedonsiirrolle ja tiedostomuodoille voidaan datansiirtoon SYKEssä käytettävä työmäärä minimoida ja samalla saadaan virhelähteitä karsittua.

### 3.3

## Laadunvarmistus

Automaattiasemien datan laadun varmistamisen lähtökohtana voidaan pitää sitä, että jo laitteiden hankintavaiheessa valitaan oikeanlaiset ja laadukkaat anturit mittaamaan haluttuja suureita. Sama koskee tallenninta. Lisäksi aseman tai anturien asennuspaikan valinnassa on otettava huomioon mitattavien suureiden erityispiirteet. Esimerkiksi sameusantureissa paineilmapuhdistuksen tai puhdistusharjojen käyttö pitäisi huomioida ja miettiä tapauskohtaisesti. Samoin mm. sääasemat tulisi asentaa avoimeen maastoon, suhteellisen tasaiselle paikalle. Langattomia asemia ei myöskään tulisi asentaa voimalinjojen alle tai GSM-verkon ulkopuolelle, jotta datan siirtoon ei tulisi häiriöitä.

Ulkopuolisten häiriötekijöiden minimoimisen jälkeen dataan voi kuitenkin tulla virheitä. Nämä virheet pyritään tunnistamaan joko manuaalisesti silmäilemällä dataa numeerisessa ja graafisessa muodossa. Jotkut laitevalmistajat tai mittauspalvelujen tuottajat liittävät palvelupakettiin tekstimuotoisen mittausdatan lisäksi erilaisia graafisia esityksiä. Samoin useissa tapauksissa muuttujille voidaan määrittää erilaisia hälytysrajoja ja saada niiden ylitymisestä viesti esim. matkapuhelimeen. Tällaiset yksinkertaiset puoliautomaattiset laadunvalvontamenetelmät soveltuvat hyvin pienen automaattiasemajoukon tulosten varmentamiseen ja erityisesti silloin kun mitattavat suureet eivät arvoiltaan vaihtelee rajusti.

Manuaalista ja puoliautomaattista laadunvalvontaa tekevän henkilön tulisi olla sellainen, joka tuntee seurattavan vesistön luonteen ja pystyy jo nopeasti silmäilemällä tekemään johtopäätöksiä datan laadusta sekä datassa ilmenevistä poikkeamista.

Mikäli tarkkailtavia asemia alkaa olla useita kymmeniä, manuaalinen ja puoliautomaattinenkin laadunvalvonta vie aikaa kohtuuttoman paljon. Tämän vuoksi on tärkeää kehittää automaattisia algoritmeja, jotka tunnistavat selkeitä systemaattisia virheitä ja poikkeamia datassa. Automaattisilla datan laadunvarmistamisalgoritmeilla voidaan hallita suuri joukko automaattiasemia. Tällaisista järjestelmistä Ilmatieteen laitoksella on pitkä kokemus ja SYKE on kehittänyt vastaavaa järjestelmää MAASÄÄ-hankkeessa ([www.mtt.fi/maasaa](http://www.mtt.fi/maasaa)). Toki automaattisen virheenjäljityksen lisäksi on tehtävä jonkin verran manuaalista tarkkailua.

Suuri osan automaattiasemien datassa olevista virhearvoista pystytään tunnistamaan (ja merkkamaan eli liputtamaan) yksinkertaisten automaattisten testien avulla. Puuttuvien havaintojen testi antaa informaatiota mm. siitä, onko datan siirrossa ongelmia. Mikäli sääasema on esimerkiksi kaatunut tai vedenkorkeusanturi noussut veden pinnalle, datassa ei ole lainkaan vaihtelua vaan anturi mittaa samaan arvoa

jatkuvasti. Tällaisiin tapauksiin kehitetty testi varoittaa jo ajoissa, mikäli havainnoissa ei ole muutoksia. Raja-arvotesti ilmoittaa, mikäli anturin mittausarvo poikkeaa liikaa annetuista raja-arvoista. Raja-arvot valitaan mitattavan suureen ominaisuuksien perusteella. Vahvasti vuodenaikaisvaihtelua sisältäville suureille on hyvä määrittää raja-arvot esimerkiksi kuukausikohtaisesti.

Datassa olevien piikkien testaus voidaan tehdä jatkuvuustestillä: mikäli havaittu suureen arvo muuttuu liikaa tietyllä aikavälillä, havaittu nousu tai lasku on tulkittavissa virheelliseksi dataksi. Sallitut muutokset on määriteltävä jokaiselle suurelle erikseen. Konsistenssitesti puolestaan testaa samasta paikasta mitattujen suureiden yhdenmukaisuutta. Esimerkiksi sademäärän ja virtaaman muutosten tulisi vaikuttaa sameuden muutoksiin.

Edellä luetellut testit sopivat tilanteisiin, joissa samassa asemassa tai samassa havaintopaikassa mitataan useampaa suuretta. Mikäli halutaan vahvistusta tietyllä paikalla olevan anturin tuloksiin, voidaan havaintoja vertailla lähellä olevien asemien havaintoihin. Toki tässäkin on otettava huomioon tutkittavan suureen ominaispiirteet ja kuinka esimerkiksi lähiympäristö niihin vaikuttaa.

Automaattinen virheellisten arvojen havaitseminen onnistuu suhteellisen helposti erilaisilla testeillä. Mikäli datassa havaitaan jotain poikkeavaa, voidaan asia vielä tarkistaa manuaalisesti silmäilemällä dataa ja esimerkiksi käymällä havaintopaikalla. Automaattinen virheiden havaitseminen ei kuitenkaan takaa laadukasta dataa loppukäyttäjälle, vaan havaitut virheelliset arvot tulisi poistaa tai korjata. Automaattisia datan korjausmenetelmiä tulisikin jatkossa kehittää.

#### 3.4

## Hyödyt

Seurantojen automatisoinnin hyödyt ovat kiistattomat. Automaattiantureiden mitaustiheyttä sekä datan lähetystiheyttä voidaan vapaasti säätää tarpeen mukaan kustannusten juurikaan muuttumatta. Näin saadaan katkeamattomat, riittävän tiheet datasarjat hyvin kustannustehokkaasti yleensä lähes reaaliajassa käyttöön.

Koska mittaukset ovat jatkuvia ja tiheitä, saadaan tietoa myös sellaisista yllättävistä tapahtumista (esim. rankkasateiden aiheuttamat ravinnekuormitushuiput), joita ei perinteisin menetelmin pystyittäisi havainnoimaan. Suuri etu perinteisiin menetelmiin verrattuna on myös se, että automaattiantureista saatava data on yleensä suoraan käytettävissä sähköisessä muodossa.

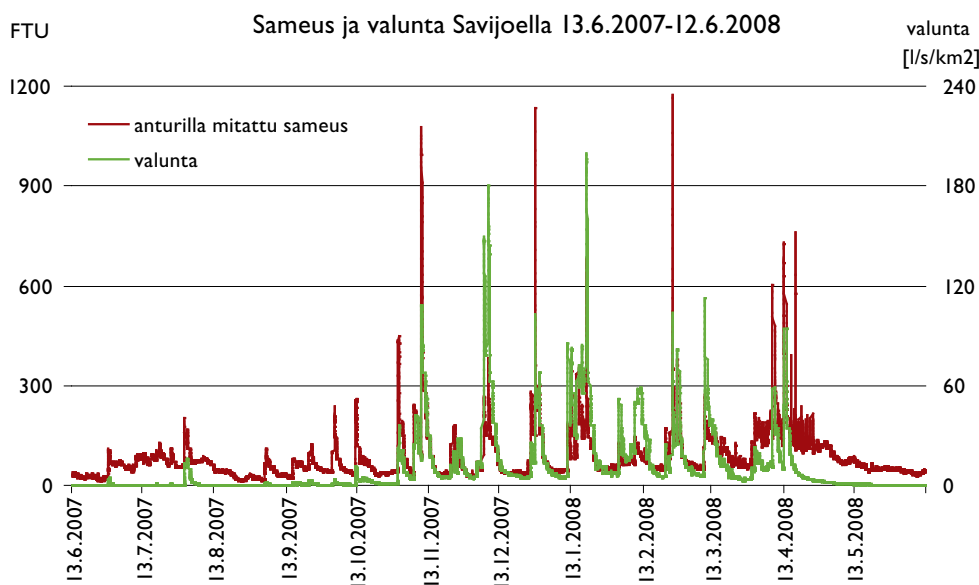
Automaattilaitteista saatavat katkeamattomat ja tiheet havaintosarjat ovat korvaamattoman tärkeitä mallien kehityksessä. Esimerkiksi ravinnehuuhtoumaliikkeen kehityksen suurena hidasteena on ollut se, että vedenlaatuhavaintoja on monilla havaintopaikoilla tehty vain 2-20 kertaa vuodessa. Uusien automaattiantureiden myötä on nähty, että esimerkiksi typen ja kiintoaineen vuosikuormituksesta saattaa muodostua kolmannes muutaman lyhyen kuormitusepisodin aikana. Yläneenjoen kiintoainekuormituksen arviot tarkentuivat tuntuvasti verrattuna manuaaliseen näytteenottoon, eniten tammikuussa 2007 jolloin sääolot olivat poikkeuksellisen leudot (Koskiahho ym. 2008). Näitä kuormituspiikkejä ei perinteisellä, harvalla näytteenotomenetelmällä voida juuri koskaan havaita.



Lounais-suomalaisessa Tarvasjoen kunnassa, maatalousvaltaisella valuma-alueella (pinta-ala 15,4 km<sup>2</sup>, peltoa 39 %) sijaitsevalla Savijoella on vuodesta 2007 alkaen ollut käytössä automaattinen nitraatti- ja sameusanturi. Samassa pisteessä mitataan automaattisesti myös sadantaa, veden ja ilman lämpötilaa sekä valuntaa maa-alueelta. Automaattimittaukset on tehty 30 minuutin välein. Mittausten tuloksia on verrattu perinteisen näytteenottomenetelmän (2-20 näytettä vuodessa) perusteella tehtyihin kuormituslaskelmiin (Linjama ym., 2009). Jo nyt on nähty, että automaattimittauksista on merkittävää hyötyä arvioitaessa maatalouden ravinnekuormitusta.

Kuvassa 2 on esimerkki Savijoella olevan automaattiaseman sameus- ja valuntadatasta. Mittapadolla olevilla automaattiantureilla on mitattu sameus ja valunta 30 minuutin välein yhden vuoden ajan. Näiden arvojen perusteella on laskettu koko valuma-alueen kiintoainekuormitus. Vastaavat laskelmat on tehty myös nitraatille. Hetkelliset vaihtelut kuormituksessa ovat erittäin suuria ja kuormitus keskittyy hyvin suurelta osin talveen.

Eriyisen lupaaviksi ja tarpeellisiksi nämä tulokset on nähty juuri nyt, kun keskustellaan maatalouden ympäristötukien vaikutuksista ja tukijärjestelmän muuttamisesta kannustavampaan suuntaan. Automaattiantureilla tehtävä veden laadun ja määrän tarkkailu yhdistettynä maankäyttötietoihin ja kuormitusmalleihin saattaa parantaa merkittävästi kokonaiskuvaa maatalouden ravinnekuormituksen muodostumisesta. Tätä kautta tietopohja tukien kohdentamismahdollisuuksista lisääntyy. Luonnollisesti myös muista lähteistä tulevan kuormituksen (esim. metsätalous, turvetuotanto, asutus) seurannassa automaattianturit tarkentavat kuormitusarvioita merkittävästi.



Kuva 2. Automaattiaseman tuottamia hetkellisiä sameus- ja valunta-arvoja Savijoella Lounais-Suomessa (Linjama ym., 2009)

## Kustannukset

Automaattisten mittalaitteiden käyttökustannukset muodostuvat seuraavista:

- Huoltokulut (pakolliset määräaikaishuollot, antureiden määräaikaishuollot ja kalibroinnit)
- Takuuseen kuulumattomat korjaukset
- Hankintainvestoinnin kuoletus eli laitteen hankintahinta / kestoikä
- Tiedonsiirtokulut (operaattorilaskut GSM-tiedonsiirrosta)
- Datan käsittely (laadunvarmistus, mahdollinen datankäsittelyohjelma, datansiirtoon tarvittava työmäärä)

Laitteen hankintahinta on helposti kilpailutuksella määritettävä kertainvestointi. Usein laitteita hankittaessa keskitytään liikaa ainoastaan hankintahintaan, vaikka laitteen kestoikä ja käyttökulut saattavat vaikuttaa kustannuksiin huomattavasti enemmän. Esimerkiksi ostamalla halvin sameusanturi ilman automaattista puhdistusta saadaan itse hankinta näyttämään edulliselta. Kuitenkin edes välttäviin mittauksuksiin pääsemiseksi anturia pitää käydä puhdistamassa kesäaikaan muutaman päivän välein ja tämä tulee kokonaisuudessaan erittäin kalliiksi.

Hankinnan edullisuuden kannalta keskeistä on myös se, onko laitteen oletettava käyttöikä esimerkiksi kolme vai kymmenen vuotta. Tätä ei varmasti voi etukäteen tietää, mutta monista laitteista on olemassa jo kohtuullisen pitkältä ajalta hyviä ja myös huonoja kokemuksia.

Laitteiden kokonaisedullisuuteen vaikuttaa lisäksi erittäin merkittävästi laitteen takuu ja huolto. Hyvä huolto ja takuu koostuvat ainakin seuraavista asioista:

- Soittoihin ja sähköposteihin vastataan aina nopeasti
- Mahdollisuus (suomenkieliseen) henkilökohtaiseen tapaamiseen laitetoimittajan kanssa
- Viat selvitetään ja laitteet korjataan aina mahdollisimman nopeasti
- Takuuajan jälkeenkin ongelmat selvitetään nopeasti ja kohtuuhinnalla

Mikäli yllämainitut sinänsä itsestään selvät asiat ovat kunnossa, ympäristöhallinnon työntekijöiden aikaa ei kulu tarpeettomiin neuvotteluihin ja työaikaa säästy muuhun. Tästä syntyy todellista säästöä, jota on kuitenkin vaikea mitata rahallisesti.

Myös laitevalmistajien vaihtuvuus aiheuttaa kustannuksia. Jos laitevalmistaja lopettaa toimintansa, takuu- ja huoltoasiat vaikeutuvat yleensä huomattavasti. Tästä aiheutuu ylimääräistä työtä ja sitä kautta kustannuksia.

## Laitetoimittajien ja käyttäjien kokemuksia kiinteistä automaattiasemista – tuloksia Webropol-kyselystä

Automaattiasemien käyttökokemuksia ja kustannuksia Suomessa haluttiin kartoittaa laite-toimittajille ja käyttäjille suunnitellulla kyselyllä (Liite 1). Kysely tehtiin internetissä toimivalla Webropol-työkalulla ja kyselyn vastauspyyntö lähetettiin noin 60 laitetoimittajalle tai käyttäjälle. Vastausprosentti oli melko alhainen, noin neljännes kyselyn avanneista oli vastannut kysymyksiin. Vaikka vastauksia saatiin vain 20 vastaajalta, tulosten tuoman informaation hyödyllisyys on kuitenkin kiistaton ja tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina.

Kysely oli jaoteltu kahteen erilaiseen kysymysjoukkoon riippuen siitä, oliko vastaaja automaattiasemien laitetoimittaja vai käyttäjä. Laitetoimittajat, joita oli vastanneita neljännes (5), vastasivat vain niihin kysymyksiin, joissa tiedusteltiin mielipiteitä automaattiasemien yleistymisestä ja yleistymisen syistä Suomessa lähivuosina.

### **Automaattisilla asemilla mitattavat muuttajat**

Suurimmalla osalla (80 %) vastaajista on eri muuttujille alle viisi asemaa tai anturia käytössään. Vain muutamalla käyttäjällä oli yli 20 asemaa tai anturin verkosto. Vastajat olivat jakautuneet verraten tasaisesti erilaisten antureiden käyttäjien kesken, suhteellisesti eniten oli kuitenkin pintaveden lämpötilan mittaajia (79 % vastanneista). Myös säämuuttujia ja pintaveden korkeutta mitataan suhteellisen usean (71 %) käyttäjän toimesta. Sameus, nitraatti- ja pH-antureita on noin puolella vastaajista käytössä. Muutamat mittaavat a-klorofylliä, maankosteutta ja happea. Lisäksi oli mainittu veden sinileväbiomassa, DO, CD, syanopigmentit, DOC, sähkönjohtavuus, valunta sekä automaattiset fotometrit laivoilla.

### **Asemakohtaiset kustannukset ja työpanos**

Käyttäjiltä tiedusteltiin asemakohtaisia perustamiskustannuksia sekä vuotuisia ylläpitokustannuksia. Kustannusten arvioinneissa oli jonkin verran eroja, mutta yleisesti ottaen voidaan sanoa, että suurin osa perustetuista asemista on maksanut alle 3000 €. Kalleimpia perustamiskustannuksiltaan näyttäisivät olevan nitraatti, a-klorofylli ja sameus. Ylläpitokustannuksissa oli vastausten osalta melko paljon vaihtelua, mutta yleisesti ottaen ylläpitokustannuksissa pätee sama periaate kuin perustamiskustannuksissa: säämuuttajat, vedenkorkeus ja virtaama ovat kustannuksiltaan edullisempia kuin veden laadun anturit. Aseman huoltoon vuosittain käytetty työpanos vaihtelee hyvin paljon käyttäjien kesken. Säämuuttujiin ja virtaamaan käytetty panos on kuitenkin selvästi muita alempi: 67 % niistä, joilla on näitä antureita käyttäen alle kolme työpäivää vuodessa huoltoihin. Yli 15 työpäivää vuodessa saadaan käytettyä sameus- ja nitraattiantureiden huoltamiseen.

### **Laadunvarmistus ja kalibrointi**

Ylivoimaisesti suurin osa (71 %) datan laadunvarmistuksesta tehdään graafisesti. Tämä johtunee osittain siitä, että suurimmalla osalla käyttäjistä on vain muutaman aseman data tarkasteltavana. Noin 15 %:lla vastaajilla on käytössä tekstiviestihäilytykset ja 9 %:lla ohjelmalliset algoritmit. Viidellä prosentilla vastaajista ei ollut käytössä minkäänlaista datan laadunvarmistusta. Kalibrointia tehdään oikeastaan kaikille muille muuttujille paitsi sää-muuttujille, 71 % säämuuttujien mittaajista ei kalibroi laitteita. Sitä vastoin muiden muuttujien osalta kalibrointinäytteiden haku noin kerran kuukaudessa on yleisintä. Vastaukset vaihtelevat hyvin paljon saman muuttujan eri käyttäjien kesken.

### **Automaattiasemien hyödyllisyys**

Käyttäjiltä tiedusteltiin automaattisten asemien hyödyllisyyttä suhteessa tilanteeseen ennen asemia. Yli 90 % vastaajista kokee, että automaattiasemista on paljon tai erittäin paljon hyötyä. Muuttujakohtaisesti vastauksia tulee melko vähän kuhunkin luokkaan, mutta kaikkien muuttujien kohdalla koetaan kuitenkin asemista olevan hyötyä.

### **Automaattiasemien hankinta ja käyttäjäkunta Suomessa jaksolla 2009-2012**

Kysymys oman organisaation suunnitelmista hankkia automaattiasemia jaksolla 2009–2012 koettiin hieman hankalaksi vastata. Vajaa kolmannes vastaajista ei osannut arvioida organisaationsa hankintoja lainkaan. Jonkin verran hankintoja kuitenkin arvellaan tehtävän. Osa vastaajista arvelee, ettei organisaatiossa tehdä lainkaan automaattiasemahankintoja. Sitä vastoin melkein kaikki vastaajat ovat sitä mieltä, että Suomeen tullaan hankkimaan automaattisia mittauslaitteita tulevana vuosina. Joidenkin mielestä useita kymmeniä (yli 40) antureita tullaan hankkimaan. Erityisesti ollaan sitä mieltä, että säämuuttujien, vedenkorkeuden ja virtaaman antureita sekä vedenlaadun antureita tullaan asentamaan. Vastaukset olivat melko vaihtelevia muuttujien ja vastaajien kesken. Kysymykseen arvioida eri organisaatioiden aikomuksia hankkia automaattiasemia lähivuosi-

na jätti osa vastaamatta. Kuitenkin vastauksista päätellen sekä käyttäjät että laitetoimittajat ovat sitä mieltä, että automaattiasemien käyttäjäkunta ympäristöseurannassa tulee olemaan melkoisen laaja. Syitä tähän näyttäisi olevan se, että automaattiasemien käyttö parantaa ympäristön seuranta kaikkien muuttujien osalta. Myös kustannussäästöihin uskovat useat vastaajat. Erityisesti vedenlaatuantureiden anturitekniikan parantumisen uskotaan olevan myös syy käyttäjäkunnan laajenemiseen.

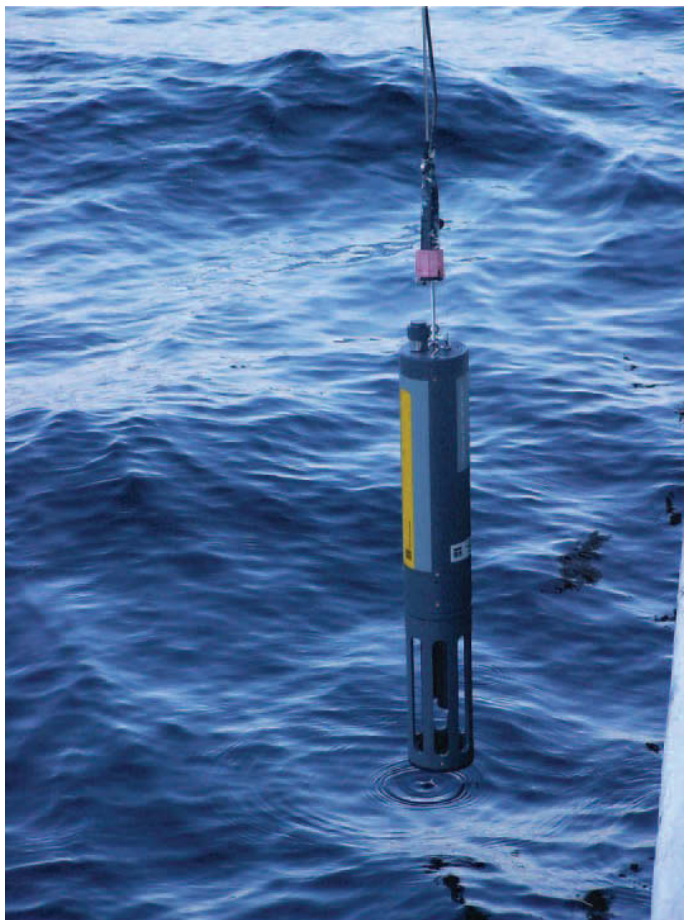
3.7

### **Luotaavat laitteet**

Erlaisia automaattisia luotaimia on meritieteessä käytetty jo vuosikymmenien ajan. Peruslaite on ns. CTD (Temperature Conductivity Depth) luotain, johon voidaan liittää muitakin antureita. Itsenäisillä laitteilla tarkoitetaan sellaisia, joissa on akku, prosessori ja tallennin itsessään. Tällaisella laitteella voidaan luodata muuttujien arvoja vesipatsaassa ja purkaa tiedot mittauksen jälkeen tietokoneelle. Toinen versio on laite-tyyppi, joka toimii on line- periaatteella ja kerää tiedot pinnalla olevaan tallentimeen tai tietokoneelle. Luotaimen avulla saadaan helposti mittaustietoa vesipatsaasta jopa 0,25 cm välein ja itse mittaus havaintopaikalla vie aikaa merkittävästi vähemmän kuin vesinäytteiden ottaminen.

Nykyisin happianturit alkavat olla jo niin luotettavia (erityisesti ns. Optode-anturit), että luotaimilla voidaan saada myös erittäin luotettavaa happimittaustietoa. Tällainen anturi on ollut esim. Jyväskylällä Jyväskylän Yliopiston Aino-lautalla toiminnassa jo pari vuotta ja sen huoltotarve on erittäin vähäinen.

Luotaimien toimittajista tunnetuimpia ovat Hydrolab, YSI, Falmouth, RGB ja Mee-restechnik.



Kuva 3. Veden laadun luotauslaite mallia YSI

## Tutkimusalus Muikku

Tutkimusalus Muikku on ollut toiminnassa vuodesta 1989. Aluksen tutkimustoiminnan strategiasta ja kehittämisestä vastaa Etelä-Savon ympäristökeskuksen asettama R/V Muikun hallintoryhmä. Ympäristöministeriön asettama Suurjärvitutkimuksen yhteistyöryhmä osallistuu myös aluksen strategian ja tutkimustoiminnan kehittämiseen. Aluksen tutkimustoiminnan koordinoinnista ja suurten laitehankintojen valmistelusta vastaa hallintoryhmä yhdessä aluksen käyttäjätahoja edustavan kehittämissyöryhmän kanssa. Tutkimustoiminnan ja laitehankintojen käytännön koordinaatio on Joensuun yliopiston Ekologian tutkimusinstituutilla (ETI).

Alus on Etelä-Savon ympäristökeskuksen hallinnassa ja omaisuuskirjanpidossa. Aluksen miehittää merenkulkuhenkilökunnan osalta merenkulkulaitos. Aluksen miehistömenoista sekä peruskorjausluontoisista menoista vastaa Etelä-Savon ympäristökeskus, tutkimuslaitteiden hankinnasta Joensuun yliopisto lukuun ottamatta kalastusteknisiä laitteita, joiden hankinnasta vastaa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kukin määrärahojensa sallimassa laajuudessa. Aluksen laboratoriohenkilöstön palkkauksesta Vuoksen vesistöalueella vastaa Joensuun yliopisto.

Laivan tutkimuskäyttö hankerahoituksen pienentyessä on Saimaalla vähentynyt alkuvuosista ja SYKEN tutkimuksissa sillä on ollut käyttöä pääasiassa merialueilla. Siellä siitä on ollut hyötyä erityisesti vedenalaisen luonnon kartoitushankkeissa sekä hapettomien pohjien kartoituksessa, rannikkovesien veden laadun seurannassa ja vieraslajien (mm. Amerikan kampamaneetti) levinneisyyden seurannassa sekä kalastotutkimuksissa.



Kuva 4. Tutkimusalus Muikku

Muikun tilanteeseen vaikuttanee lähitulevaisuudessa tutkimusalus Arandan käyttö. Aranda siirtyy vuoden 2009 alusta SYKEN vastuulle. Laivat ovat selvästi kokoluokaltaan ja syvyykseltään erilaisia, mutta perusvarustukseltaan samantyyppisiä. Alusten toiminta-alueet (avomeri, rannikko) ovat kuitenkin hyvin erilaisia, joten alukset täydentävät toisiaan.

Molemmissa aluksissa on ajantasaiset paikannus- ja navigaatiojärjestelmät, meteorologiset laitteistot, monipuoliset näytteenottovälineet ja mittauslaitteistot. Merkittävin ero näytteenotto- ja mittausvälineissä on niiden toiminta-alue – Aranda on tehty syvän meren oloja ajatellen.

R/V Muikulla on moderni mittaus- ja näytteenottovälineistö veden laadun seurantaan sekä välineistö planktonnäytteiden ottoon. Kalatutkimuksiin on käytettävissä kaikuluotain, trolit ja kalanpoikaspyydykset. Veden virtausmittauksiin on myös laitteisto käytettävissä (ADCP). Laivan laboratorioissa voidaan esikäsitellä näytteitä ja tehdä myös vesikemiallisia analyyseja. Lista R/V Muikun laitteista löytyy sivuilta: <http://www.joensuu.fi/eti/suurjarvi/rvmuikku/muikkumanu07.pdf>

Aranda on nykyaikainen jäävahvistettu iso meren tutkimusalus (pituus on 59,2 m, leveys 13,8 m ja bruttovetoisuus 1734 GT, miehistöä 12–13 hlöä). Aranda soveltuu monitieteelliseen, ympärivuotiseen merentutkimukseen, ts. biologiseen, fysikaaliseen, kemialliseen sekä merigeologiseen tutkimukseen. Hyvin varustetut laboratoriotilat ja tietojenkäsittelyjärjestelmä mahdollistavat näytteiden analysoinnin ja tulosten käsittelyn jo matkan aikana.

Arandan ohjailtavuus on mitoitettu vaativaa tutkimustyöhön, alus pysyy tarkasti paikallaan havaintoasemilla DGPS- ja taut-vaijerijärjestelmillä. Arandalla on satelliittikuvien ja sääkuvien vastaanottolaitteistot sekä oma monipuolinen sääasema.

Laivojen laboratoriot ovat tiloiltaan hyvin erilaisia. Kummankin laboratorion varustelu hoidetaan pääsääntöisesti samalla periaatteella. R/V Muikulla kaikki perusvälineet ovat pysyvästi laivalla, vain erikoislaitteet tuodaan erikseen pyydettyäessä laivalle, esim. ravinneanalyysointilaitteisto, tutkimuskalakaikuluotain, trolit, vakiovalokaappi, autoklaavi. Laivojen käytöstä tutkimushankkeissa peritään maksu. Muikulla päivämaksu on sisävesillä 670 ja merellä 830 euroa. Arandan maksu on merkittävästi suurempi.

Molempien laivojen siirtyessä vuoden 2009 alussa SYKEN Merikeskuksen käyttöön, joudutaan niiden käyttöä vielä erikseen pohtimaan. Tässä todetaan vain, että laivojen käyttöä merialueilla voidaan järjeistää niin, että Muikku keskittyy rannikko- ja pintavesitutkimukseen. Arandan hydrofysikaaliset laitteet (erityisesti vanha ADCP) ja suuri syväys eivät tätä tutkimusta tehokkaasti tue. Arandan käyttöä voidaan laajentaa Itämeren syvien vesien tutkimuksessa koko Itämeren laajuudelta ja pyrkiä käyttämään sitä enenevästi kansainvälisessä yhteistyössä.

Muikun käyttöä Saimaalla voitaisiin laajentaa mm. kaukokartoitustutkimuksiin, levä- ja kalakantojen seurantoihin, uusien suurien järvien tutkimismenetelmien kehittämiseen ja testaamiseen sekä myös kulkeutumismallien kehittämiseen. Lisäksi R/V Muikun käyttöä opetuksessa voidaan lisätä.

## 4 Kaukokartoitus SYKEssä

4.1

### Yleistä

Satelliittikuvien etuna on laaja alueellinen ja ajallinen kattavuus. Useat eri satelliitit kuvaavat päivittäin kerralla Pohjoismaiden levyistä aluetta. SYKEllä ei ole omaa vastaanottoantennia, vaan kuvat saadaan eri vastaanottoasemilta tietoverkkoa pitkin. Maaliskuusta lokakuulle SYKE/GEO lataa ja prosessoi päivittäin useita satelliittikuvia, joiden maastoerotuskyky vaihtelee 250 m ja 1 km välillä. Satelliittikuvilta tulkitaan keväällä lumen sulamista ja kesällä vedenlaatua ja pintalämpötilaa sekä seurataan kasvillisuuden kehittymistä. Tällä hetkellä käytettävät instrumentit ovat amerikkalaiset MODIS (NASA) ja AVHRR (NOAA) sekä eurooppalainen ENVISAT/MERIS (ESA). Satelliittikuvien tulkinan edellyttämä aineistojen automaattinen esikäsittely ja arkistointi tehdään SYKEssä kehitetyllä tiedonkäsittelyohjelmistolla. Toiminta on kustannustehokasta, kun samaa, pitkälle automatisoitua satelliittikuvien esiprosessointiketjua käytetään useamman sovelluksen taustalla.



Kuva 5. Sentinel 2 satelliitti (Photo: ESA)

Käyttäjille lopputuotteet ovat saatavilla sekä www-sivujen (<http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/satelliittikuvat.html>) että ympäristöhallinnon karttakäyttöliittymän kautta.

EU:n ja Euroopan avaruusjärjestön ESA:n yhteisessä GMES-ohjelmassa (Global monitoring of environment and security) tarjotaan satelliittikaukokartoitukseen, malleihin ja in-situ havaintoihin perustuvia tietopalveluita tiedon loppukäyttäjille. SYKEN tarjoamat operatiiviset kaukokartoitus-palvelut on integroitu osaksi Euroopalaista palveluverkosta GMES hankkeissa (MarCoast, GSE-Land ja Polarview). Lisäksi SYKEssä kehitettyä lumiseurantaa ollaan parhaillaan ottamassa käyttöön mm. Kanadassa.

#### 4.2

### Lumipeite

Lumen sulantaa seurataan päivittäin koko Suomen alueelta. Seuranta alkaa vuosittain maaliskuun alusta ja jatkuu toukokuun loppuun. Lumen sulamista ja ilmaantuvia päiviä kuvataan teemakartoilla, joissa näkyy 5 km x 5 km ruudukossa lumen peittämä ala prosenttilukuna. Laskenta-alueina käytetään lisäksi valuma-alueita hydrologisen seurannan erityistarpeita varten. SYKEN hydrologinen vesistömalli käyttää valuma-aluekohtaista lumitietoa tulvaennusteiden tarkkuuden parantamiseen; tämä toiminto on automatisoitu mahdollisimman pitkälle. Vuosina 2006–2008 lumikarttoja on tuotettu myös laajemmalle alueelle, vuoden 2008 seurannan kattaessa jo melkein koko Itämeren valuma-alueen. Tämä toiminta on liittynyt ESA:n Polarview-projektiin. Päivittäiset lumikartat työstetään teemakartaksi SYKEN internet-sivuille ([www.ymparisto.fi/lumipeite](http://www.ymparisto.fi/lumipeite)), minkä lisäksi tieto lähetetään numeerisena vesistöennustemalliin.

SYKEN lumituotteet perustuvat Terra/MODIS-kuviin; lisäksi on vuosina 2007–2008 koeluotoisesti käytetty myös kanadalaisen Radarsat-satelliitin mikroaaltotutkakuvia, joilla on pyritty paikkaamaan pilvisyyden aiheuttamat katkokset havainnoissa. Radarsat-kuvien käytöstä saatujen hyvien kokemusten perusteella toimintaa pyritään jatkamaan, vaikkakin kuvien korkea hinta on estänyt niiden laajamittaisen käytön.

#### 4.3

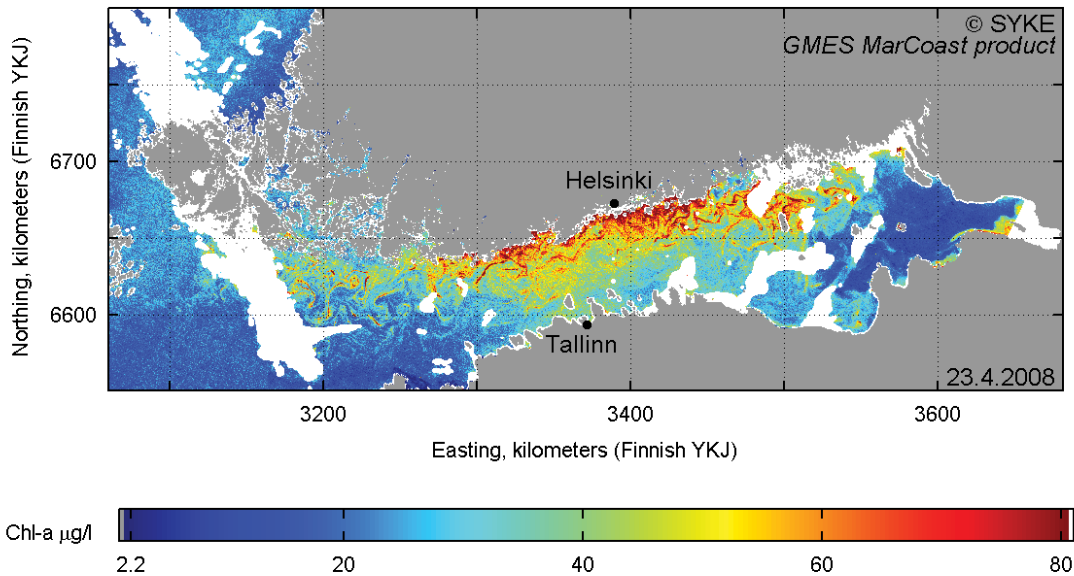
### Vedenlaatu

Suomea ympäröiviltä merialueilta koostetaan kesäkaudella (touko-syyskuussa) viikoittain sameus-, a-klorofylli- ja pintalämpötilakartat. Lisäksi heinä-elokuun ajalta seurataan pintalevälauttoja. Viikkokoosteen lisäksi sekä pintalämpötiloista että pintalevälautoista esitetään päivittäiset havainnot pilvipeitteen salliessa. Tuotteet kattavat Suomenlahden ja Pohjanlahden alueet. Lisäksi Helsingin, Loviisan ja Porin edustoilta esitetään tarkemmat kartat. Pintalämpötilojen seurantaa on jatkettu lokakuun loppuun. Kaukokartoituskauden päätyttyä tuotteiden tarkkuutta arvioidaan vertaamalla niitä maastohavaintoihin. Pintalevälautoista esitetään kauden loputtua vuosikooste ([http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/algae/2008/Pintalevakooste\\_RS\\_2008.pdf](http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/algae/2008/Pintalevakooste_RS_2008.pdf)).

Veden pintalämpötilaa tulkitaan operatiivisesti 12 suurelta järveltä. Järviltä tuotetaan päivittäin teemakartat sekä järven keskimääräinen pintalämpötila päivitetään aikasarjoihin. Tulokset julkaistaan SYKEN [www-sivuilla](http://www.ymparisto.fi).

GSELand-projektissa (2005–2007) tuotettiin sameusestimaatteja Lounais-Suomen alueelle. Estimaatteja tehtiin MODIS-instrumentilla yksittäisille päiville vuosilta 2006 ja 2007.





Kuva 6. A-klorofyllipitoisuus Suomenlahdella ja Pohjois-Itämerellä 23.4.2008. Tulkinta on tehty ENVISAT MERIS satelliittikuvasta. Valkoiset alueet ovat pilviä.

#### 4.4

### Kasvipeitteisyyden seuranta

Vuodesta 2006 alkaen GEO on tuottanut päivittäisten satelliittiaineistojen avulla aikasarjoja kasvillisuuden tilasta (kasvipeitteisyys) kasvukauden aikana (huhti-lokakuu). Tiedot on tuotettu erilaisille maanpeitetyypeille valuma-alueittain kasvukauden päätyttyä. Aikasarjoista on johdettu kasvukautta kuvaavia parametreja ravinnehuuhtoutumien mallinnusta varten.

Vuonna 2009 käynnistyvän Life+ SNOWCARBO- hankkeen osana yhdistetään lumen peittämän alan ja kasvillisuuden tilan seuranta yhtenäiseksi aikasarjaksi lumen sulamiskaudelta alkaen aina kasvukauden loppuun saakka. Aikasarjoista johdetaan fenologisia ilmiöitä ja luontoperäistä hiilitasapainoa kuvaavia piirteitä, joiden lopullisena tarkoituksena on olla yhtenä tietolähteenä hiilitasekartoituksessa. Tähän liittyy myös eri vuosien välisten eroavaisuuksien sekä trendien analysointi.

Ilmakuvia on käytetty ympäristöhallinnossa vesikasvikartoitusten apuna erityisesti monissa kunnostushankkeissa. Laaja-alaisempaa ja pitkäaikaisempaa seuranta kaukokartoitusmenetelmillä ei vesikasvillisuuden osalta ole tehty. LIFE Vuoksi -hankkeessa (2001–2004) arvioitiin ilmakuvauksella saadun tiedon käyttökelpoisuutta ja luotettavuutta VHS-seurannassa osana vesikasvillisuuden tilan seurannan menetelmien kehittämistä (Leka ym. 2003). Valta-Hulkkonen (2005), osin osana LIFE Vuoksi -hanketta, on tutkinut laajemmin ilmakuvien käyttömahdollisuuksia ja luotettavuutta erityyppisten ja rehevöitymistilaltaan erilaisten vesimuodostumien vesikasviseurannassa. Partanen (2007) on puolestaan selvittänyt suomalaisten suurjärvien ranta- ja vesikasvillisuuden pitkäaikaismuutoksia viimevuosikymmeninä ilmakuvien, karttojen ja vesikasviaineistojen pohjalta.

## Maankäytön ja maanpeitteen kartoitukset Suomessa ja Euroopassa

SYKE osallistui EU:n CORINE2000 hankkeeseen, jossa tuotettiin yhteiseurooppalaisen CORINE luokittelun mukainen tietokanta Suomen maankäytöstä ja -peitteestä. Aineisto valmistui vuonna 2004 ja vastaa tilannetta vuonna 2000 (+/- 1 vuosi). Kartoituksen tietotuotanto perustui kartta-, maasto- ja satelliittitietojen yhdistämiseen.

EU:n tavoitteena on päivittää eurooppalaiset maankäyttö- ja peiteaineistot noin 3-5 vuoden välein. CORINE2000 aineistojen päivitys on nyt käynnissä Euroopassa ja Suomen osalta päivitys valmistuu vuoden 2009 aikana, jolloin tuotetaan uusi versio Suomen maanpeitteestä vuoden 2006 tilanteesta ja maanpeitemuutokset välillä 2000–2006 (CORINE2006). Päivitys perustuu vuosien 2005–2006 aikana vastaanotettuihin satelliittikuviin ja kansallisiin paikkatietoaineistoihin (mm. Maastotietokanta, SLICES2005 ja Rakennus- ja huoneistorekisteri). Metsäntutkimuslaitos tuottaa tiedot metsistä Valtakunnan Metsien Inventoinnin (VMI-10) maastoaineistoihin ja satelliittikuviin perustuen. SYKE vastaa hankkeen toteutuksesta Suomessa. (kts <http://www.ymparisto.fi/syke/clc2000>)

FP7 GEOLAND2 hankkeessa tullaan kehittämään operatiivista eurooppalaista maanpeite-seurantaa, joka olisi jatkoa ja täydennystä tähänastisille CORINE hankkeille. Tavoitteena on tarkentaa eurooppalaisen tiedon alueellista tarkkuutta, parantaa tiedon ajantasaisuutta ja muutosseurantaa. Tämän lisäksi luodaan kokonaan uusi, otospohjainen seurantajärjestelmä (Area Frame Sampling), jossa maanpeitteen muutoksia kartoitetaan ja analysoidaan 1-2 vuoden välein mahdollisimman suurella tarkkuudella tarkan maastoerotuskyvyn (5-10 m) omaavien satelliittiaineistojen avulla. Hankkeessa kehitetään myös kasvillisuuden tilan seurantaa kasvukauden sisällä.

EU on käynnistänyt uusien, CORINE maanpeitetietoja täydentävien aineistojen tuotannon. Tiedot tuotetaan keskitetysti, tarjouskilpailun perusteella koko Euroopan alueelta:

- Rakennettujen alueiden raja- ja rakentamisen intensiivisyyden kuvaus (20 metrin hila). Valmistuu vuonna 2008.
- Kaupunkikartta yli 100 000 asukkaan kaupunkialueista (mmu 0,5 ha, noin 25 maanpeite luokkaa) maanpeitetietokanta vuoden 2009 loppuun mennessä (Suomesta Helsinki, Turku, Tampere, Oulu). Valmistuu vuonna 2009.
- Euroopan metsäkartat (luokat: metsä ja ei-metsä) vuosien 1990, 2000 ja 2006 tilanteessa (20-25 metrin hila). Valmistuu vuonna 2008.
- Maankäytön ja maanpeitteen seurannan maastohavaintoverkko (Area Frame Sampling, LUCAS). Valmistuu vuonna 2010.

Maanpeitetietoja käytetään ympäristöhallinnossa mm. alueiden käytön seurannassa, hydrologisessa mallinnuksessa, hajakuormituksen ja luonnon monimuotoisuuden mallinnuksessa, luonnonvarojen käytön seurannassa (mm. turvetuotanto, maa-aineksen otto), luontotyyppien kartoituksessa sekä taustatietona erityyppisissä selvityksissä ja analyysissä.

# 5 Mallit

5.1

## Mallien kirjo SYKEssä

Ympäristöhallinnon mallikirjo on viimeksi kartoitettu SYKE:n mallistrategialuonnoksen yhteenvedossa (25.9.2006 Sirkka Tattari), josta ohessa muutamia otteita.

Yhteenvedossa mallit on tyypitelty yhdeksään luokkaan:

1. Huuhtoutumamallit
2. Ilmamallit
3. Pohjavesimallit
4. Haitallisten aineiden mallit
5. Allas- ja jokimallit
6. Vesistömallijärjestelmä
7. Biodiversiteettimallit
8. Kaukokartoitusmallit
9. Tuotanto- ja kulutusmallit.

Merimallit oli sisällytetty allasmalleihin. Kaiken kaikkiaan SYKEssä on käytössä kymmenittäin erilaisia malleja, jotka soveltuvat eri käyttötarkoituksiin. Tarve- ja resurssikartoituksen perusteella nimettiin joukko, joita tulla käyttämään SYKE:n strategisesti tärkeillä toimialoilla.

*Huuhtoumamallien* (kts 5.1.2) osalta mallistrategiassa todettiin, että mallit ovat ainoa keino arvioida vaihtoehtoisten maankäytön tai vesiensuojelutoimenpiteiden sekä ilmastonmuutosskenaarioiden vaikutusta kuormitukseen. Huuhtoumamalleissa tarkastellaan usein pääravinteiden lähteitä, niiden muutunutta maaperässä, ja huuhtoutumisprosesseja sekä ainevirtoja valuma-alueen maaperästä vesistöihin. Valuma-alue- ja järvimallien ketjuttamista todettiin tarvittavan enemmän, ja mahdollisimman läpinäkyvästi, jotta tiedetään tarkemmin mikä vaikuttaa mihin. SYKE-malleiksi, joita itse kehitetään, ehdotettiin ICECREAM- ja VEPS-malleja. Lisäksi INCA-malleja on SYKEssä käytetty useissa kansainvälisissä ja kansallisissa hankkeissa ja niiden käytösaamista ylläpidetään.

*Ilmamallit* jaoteltiin pääasiallisen käyttötarkoituksensa mukaan:

1. Päästö – kulkeutumis – vaikutusmatriisit;
2. Ilmastomuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarvetta arvioivat järjestelmät
3. Hiilitaseiden tarkentamiseen soveltuvat mallit sekä muut ainetasemallit.

Ilmamalleja käytetään ilman epäpuhtauksien ja ilmastonmuutoksen vaikutusten ja sopeutumisen arviointiin. Tehtävään kuuluu mm. ilman epäpuhtauksien päästöjen, laskeumien ja pitoisuuksien alueellisten arvioiden esittäminen, hiilitaseiden laskenta, vaikutusperustaisen päästöjen vähentämistarpeen määrittäminen sekä vaihtoehtoisten ilmasto- ja päästöskenaarioiden vaikutusten tarkastelu. Ilmamallien käyttötarve

liittyy läheisesti ympäristöpäätöksen tekoon ja kansainvälisten raportointivelvoitteiden täyttämiseen. Näköpiirissä olevia kehittämistarpeita ovat mallien jatkojalostus käytettäväksi osana ekotehokkuuden arviointeja ja hiilitaseiden tarkentaminen sekä vaikutuspintojen identifiointi.

*Pohjaesimalleja* käytetään vesilaitosten vedenhankinnan suunnitteluun, riskien hallintaan sekä likaantumistapauksissa kunnostuksen suunnitteluun. 3D-mallinnuksen tarve kasvaa kaiken aikaa, sekä virtaus- ja kulkeutumismallien että geologisten rakennemallien osalta. Keinot tehdä herkkyyksianalyysiä vaihtelevat eri mallien ja niiden käyttöliittymien välillä. SYKEN malliperusteisen päättelyn työkaluista tutuksi tullee GLUE-ohjelmalle tai jollekin vastaavalle on tarvetta. Malleiksi, joiden käyttösaamista ylläpidetään, ehdotettiin MODFLOW-perhettä, FEFLOW:ta sekä PHREEQC:tä.

*Haitallisten aineiden* tutkimuskentän pääkiinnostuskohde on ns. PBT-aineet (Persistent, Bioaccumulative, Toxic). Näille on tyypillistä useat pienet hajalähteet, kaukokulkeutuminen, alhaiset pitoisuudet fyysisessä ympäristössä, mutta useita kertaluokkia korkeammat pitoisuudet elollisessa materiaalissa. Analytiikka on kallista moniin muihin mittauksiin verrattuna (esim. ravinteet). Mallien käyttö aineiden ympäristökohtalon ja vaikutusten arvioinnissa on välttämätöntä ja on lisääntymässä voimakkaasti myös SYKE:ssä. Malleja tarvitaan erityisesti päästöjen vähennystarpeiden ja päästörajoitusten tehokkuuden ja vaikutusten arviointiin sekä eri yhdisteiden aiheuttamien riskien vertailuun. SYKE:ssä on perinteisesti käytetty viranomaistoinnassa yksinkertaisia aineiden jakaantumismalleja uusien kemikaalien riskinarvioinnin yhteydessä (esim. EUSES). Näitä malleja on kehitetty mm. elinkaariarviointien tarpeisiin (esim. USES-LCA).

Fugasiteettimalleista pidemmälle sekä alueellisesti että ajallisesti (non steady-state) kehitettyä POPCYCLING-Baltic mallia on SYKE:ssä käytetty tyypillisten PBT-aineiden osalta (dioksiinit, PCB, PBDE) Itämeren alueella. Siihen on myös lisätty biologinen osa (POPCYCLING-Biotic) ja malli on käännetty Matlab ympäristöön ja tehty helppo käyttöliittymä. Parhaillaan kehitetään yhteistyössä JY:n kanssa bioenergeettista kertymämallia lohelle ja silakalle (dioksiinit ja PCB), joka paremmin pystyy ottamaan huomioon ravintoketju- ja bioenergeettiset tekijät, kuten kalojen aineenvaihdunnan ja kasvunopeuden. Huuhtoutumismalleja on lisäksi kehitetty ja sovellettu torjunta-aineiden huuhtoutumisen tutkimiseen sekä 1D- ja 2D-jokimalleja kiintoaineksen ja siihen sitoutuneiden epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkimiseen (Kymijoki).

*Jokimallien* käyttö painottuu vedenlaadun laskentaan (SYKE-1D), tulvasuojeluun, tulvakartoitukseen, patoturvallisuuteen (DYX, HEC-RAS, TELEMAC-2D), vesistösuunnittelutehtäviin, uomakunnostuksiin (DYX, HEC-RAS), jokijään torjuntaan (DYX perustana, mahdollisesti myös HEC-RAS) sekä vesistömallitukseen. Jokimalleilla on käyttöpotentiaalia myös vesistöjen taselaskennassa, vesipuitteidirektiivin ja tulvadirektiivin toimeenpanossa sekä habitaatti-laskennassa. Joissa kiinnostus liittyy lähinnä joen kuljettamaan ravinteiden määrään ja joen ekologiseen tilaan, missä ongelmana ovat lähinnä vedenkorkeus- ja virtausnopeusvaihtelut (lyhytaikaissäätö), sedimentin kulkeutuminen ja kerääntyminen, äkillisten päästöjen kulkeutuminen ja laimeneminen tai esim. happitilanteiden arvioiminen allassäännöstelyn seurauksena. Tähän riittää SYKE-1D-malli hyvin teknisten ominaisuuksien puolesta. Jokien koskikohdissa habitaattien tila arvioidaan yleensä 2D-mallin avulla. Vesistösuunnittelutehtävissä ja tulvariskien hallinnassa käytetään jatkuvasti virtausmalleja vedenkorkeuksien laskemiseksi uoman geometrian ja virtaamatietojen avulla.

*Allasmalleja* käytetään merialueiden, järvien ja jokien kulkeutumis- ja tilaennusteisiin, ravinnetaselaskelmiin, tulvatorjunnan ja öljyntorjunnan suunnitteluun, patoturvallisuuden arviointiin sekä kosteikoiden toiminnan mitoitukseen (3D-laskenta: OpHespo, YVA-SYKE-3D, HIROMB, COHERENS, 2d: SMS-RMA2, SMS-RMA4, TELEMAC-2D, 1D: MyLake, 0D: LakeState, vesistömallijärjestelmän järvimalli).

Altaissa ongelmat liittyvät lähinnä vedenlaatuun (jätevesipäästöjen laimeneminen, jäädytysvedet, rehevöityminen, sedimentin kulkeutuminen). Altaissa viipymät ovat pitkiä ja ekologisilla prosesseilla on suuri merkitys niiden tilan kehittymiseen. Tästä syystä myös ilmaston muutoksen myötä tulevien vaikutusten laskenta altaissa on tärkeää. Erikoistapauksessa virtausnopeudet ovat tärkeitä esim. kosteikkomallinnus, habitaattimallinnus joessa, veneilyväylät ja patojen vahingonvaaraselvitykset.

Altaiden ja jokien mallit sisältävät prosessikuvauksia (esim. huuhtoutuminen, sisäinen kuormitus, ekologiset prosessit, haitallisten aineiden kierto ja vaiheet), jotka vaativat yksityiskohtaista, usein vaikeasti saatavilla olevaa tietoa. Niillä haetaan lisätietämystä tai tarkennusta aikaisemmin käytettyihin yksinkertaisimpiin kaavoihin tai tehtyihin yleistyksiin, ja kuvattavana suurena voi olla huonommin tunnettu aine tai prosessi.

0D-mallit voivat olla käyttökelpoisia yleistarkasteluun tai riskiarviointeihin ja ovat omimmillaan vesipuitteidirektiivitarkasteluissa ja seurannan mallipohjaisessa optimoinnissa.

## 5.2

# Seurannan tueksi soveltuvien mallien esittely

### 5.2.1

## Vesistömallijärjestelmä

Vesistömalli kuvaa veden kiertokulkua sadannasta lumipeitteen, maaperän vesivarastojen ja vesistöjen kautta haihdunnaksi, valunnaksi ja virtaamaksi jokiin, järviin ja mereen. Vesistömallilla lasketaan aluesadanta, lumipeite, haihduntaa maa-alueelta ja järvistä, maanpinnan painannevarastot, maan pintakerroksen maankosteus ja siinä liikkuva vesi, pohjavesi, valunta, sekä järvien ja jokien vesivarastot.

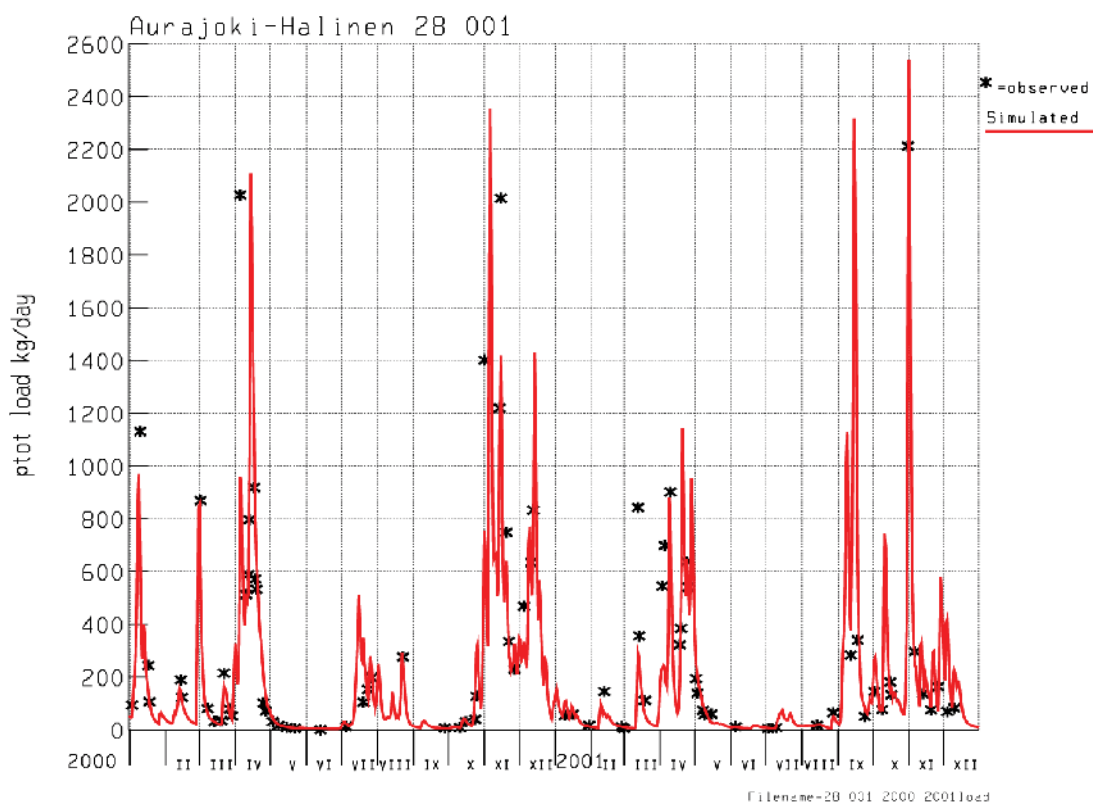
Päivittäiset sade- ja lämpötilahavainnot sekä potentiaalinen haihdunta ovat vesistömallin lähtötietoja. Säähavainnot, sääennusteet ja säätutkan sadetiedot lähetetään päivittäin Ilmatieteen laitokselta Vesistömallijärjestelmään. Vesistömallien laskenta korjataan tarvittaessa reaaliaikaisten vedenkorkeus- ja virtaamahavaintojen avulla. Vesistömallijärjestelmälaskenta kattaa koko Suomen ja rajavesistöt (Vehviläinen et al. 2005). Vesistölaskennan ja -ennusteiden avulla tuotetaan vesitilannetiedotteita, suunnitellaan järvien säännöstelyä, arvioidaan tulvariskiä, ennustetaan jäänlähdon ja jääpatojen ajankohtaa sekä varoitetaan tulvista ja lumikuormasta.

Vesistömallijärjestelmän *www*-käyttöliittymästä löytyy 20 hydrologisen suureen (mm. virtaama) päivittäiset lasketut arvot kaikille vesistön kolmannen jakovaiheen osa-alueille ja yli 1 ha järville (yli 10 000 pistettä) viimeisen 40 vuoden ajalta. Virtaaman laskettuja arvoja käytetään erilaisissa raportoinneissa ja suunnittelussa, kun hydrologiset havainnot puuttuvat. Ennustekäytön lisäksi vesistömalleille on muitakin sovellutuskohteita: ilmastonmuutostutkimukset, säännöstelyn suunnittelu, puuttuvien vedenkorkeus- tai virtaamahavaintojen täydentäminen, virtaaman laskenta vesistön valitussa pisteessä, virtaaman jääreduktio, alueellisen lumen vesiarvon ja maankosteuden laskenta, pohjavesiennusteet havaintopisteissä. Fosforin, typen ja kiintoaineen kuormitusmalli ovat kehitteillä. Fosforikuormituslaskenta on jo käytössä koko Suomen osalta. Saaristomeren, Suomenlahden, Karvianjoen ja Iisalmen reitin reaaliaikaiset laskennan tulokset löytyvät järjestelmän *www*-sivuilta ([www.ymparisto.fi/vesistoennusteet](http://www.ymparisto.fi/vesistoennusteet)).

Vesistömallijärjestelmän *fosforikuormitusmallilla* (Huttunen et al. 2008) lasketaan kokonaisfosforin pitoisuudet. Jokien päivittäinen fosforikuorma lasketaan osavalueittain mallin simuloiman hajakuormituksen ja rekisterien pistekuormitusten perusteella. Järville lasketaan päivittäinen tuleva fosforikuorma, sedimentaatio ja

lähtevä kuorma. Joen fosforikuorman vuosi-, kuukausi-, viikko- ja vrk-arvot ovat tulostietoja kuten myös järvien ja osavaluma-alueiden fosforitase kuukausittain ja vuosittain. Valuma-alueen fosforin hajakuormitus on verrannollinen maan käyttöön, valuntaan, maanpinnan peitteisyyteen ja vuodenaikaan. Joen fosforikuljetus laskeetaan yksinkertaisella hydraulisella jokimallilla. Järven fosforitase määritetään mallissa sisäisen kuormituksen, tulevan ja lähtevän kuorman sekä sedimentaation perusteella. Valuma-alueen fosforikuormituslaskennassa ovat mukana peltojen, metsien ja soiden hajakuormitus sekä haja-asutuksen kuormitus ja pistekuormitus (kaatopaikat ym.). Kaksi viimeksi mainittua tietoa saadaan Vahti-järjestelmästä. Fosforikuormitusmallin kalibrointi on vaikeampaa kuin hydrologisen mallin kalibrointi, koska havainnot eivät ole päivittäisiä ja niiden määrä vaihtelee huomattavasti havaintopisteittäin. Tiheään havainnoidut valuma-alueet saavat enemmän painoa. Kalibrointimenetelmä määrittää kuormitusmallin parametrit havainnoitujen valuma-alueiden perusteella. Ongelmana on kuvata valuma-alueiden vaihtelevat ominaisuudet oikein, kun havainnot on epätasaisesti eri alueilta. VEPSin vuosittainen kuorma on otettu huomioon kalibroinnissa, jos VEPSin arvot ovat todettu luotettaviksi.

Kuormituslaskenta perustuu jatkuviin simuloituihin pitoisuuksiin ja hydrologisten jatkuvien havaintojen perustella tarkistettuun vuorokautiseen valuntaan. Näin kuormitusarviot ovat realistisempia kuin arviointimenetelmät, jotka käyttävät vain ravinteiden pitoisuuksien havaintoarvoja kuormituksen arviointiin.



Kuva 7. Esimerkki Aurajoen Vesistömallijärjestelmän vedenlaatumallin fosforikuormituslaskennasta vuodelta 2000.

## Huuhtoumamallit

VIHMA on maatalouskuormituksen asiantuntijajärjestelmä, jossa voidaan arvioida peltoviljelyn ja erilaisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta vuosittaiseen vesistökuormitukseen nyky- ja suunnittelutilassa (Puustinen 2008). Malli laskee pellon kiintoaineen, partikkelifosforin, liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattitypen kuormituksen kaltevuusluokittain ja viljelymenetelmittäin. Laskennat tehdään erikseen eri maalajeille. Lisäksi tärkeänä tekijänä kuormituksen muodostumisessa on pellon fosforiluku (P-luku). Mallin käyttötarve on erittäin suuri ja se on hyödyllinen työkalu esim. vesipuidedirektiivin edellyttämässä vesienhoidon suunnittelussa. Mallin käyttöliittymä on toteutettu MS Excel:ssä ja on vielä kehitysvaiheessa.

VIHMA-mallin syöttötietoina tarvitaan:

- Peltojen maalaji (Viljavuuspalvelu)
- Peltojen fosforiluvut (Viljavuuspalvelu)
- Peltojen käyttömuodot (TIKE-tietokanta)
- Peltojen kaltevuustiedot (SYKEN kolmannen jakovaiheen valuma-alue tiedot)
- Nykyiset suojavyöhykkeet ja kosteikot

Pullonkaulana ovat tällä hetkellä kuntakohtaiset fosforiluvut ja niiden tasapäistävä ja vääristävä informaatio sekä kaltevuustietojen karkea taso.

SWAT (SWAT-Soil and Water Assessment Tool) on Yhdysvalloissa kehitetty dynaaminen valuma-aluepohjainen malli (Arnold et al. 1998). Sillä simuloidaan vuorokauden aika-askeleella valuntaa sekä ravinteiden ja kiintoaineiden huuhtoutumista. Mallilla voidaan simuloida maa- ja metsätalouden kuormitusta valuma-alueittain. Mallia voidaan käyttää valuma-alueella tehtävien toimenpiteiden vaikutusten vertailuun. Malli on ns. fysikaalinen malli, toisin sanoen toiminta perustuu sää-, maaperä- ym. lähtötietoihin sekä fysikaalis-kemiallisiin prosesseihin. Mallin lähtötietoina käytetään kolmea karttapohjaista aineistoa: korkeusmallia, maaperä- ja maankäyttö-aineistoja. Näiden pohjalta muodostetaan alueen uoma- ja osavaluma-alueverkosto. Maa- ja metsätalouden osalta syöttötietoina voivat olla mm. kasvipeite, sadon kasvu ja avohakkuualueiden määrä. Mallin toimivuutta ja prosessikuvausten oikeellisuutta tarkastellaan alueella suoritettavien intensiivimittausten avulla. SWAT-malli vaatii runsaasti lähtötietoja ja on kohtalaisen parametrisoitu. Mallin käyttö vaatii erityistä asiantuntemusta. Malli on tällä hetkellä Suomen oloissa kehittäjävaiheessa.

INCA-N (INtegrated Nitrogen in CAtchments) on matemaattinen, prosessipohjainen typpimalli joka on alun perin kehitetty Englannissa (Wade et al., 2002). Mallilla simuloidaan eri ympäristömuutosten – ilmastonmuutos, maankäytön muutos, laskeuman muutos - vaikutusta typpikuormitukseen. Mallia on testattu laajalti sekä pienillä valuma-alueilla että isoilla jokivesistöalueilla. INCA-mallissa huomioidaan kaikki tärkeimmät typen lähteet ja simuloidaan eri kuormituslähteistä peräisin olevaa typpeä ja muutuntaprosesseja alueen maaperässä sekä vesiuomissa. Mallissa on käyttöliittymä sekä viisi osaa: maankäyttö, laskeuma, hydrologia, maaperäosa sekä jokiosa. SYKE:ssä on kehitetty mallin soveltuvuutta pohjoisiin oloihin, lisäämällä malliin lumiosio ja parantamalla maaperän lämpötilan laskentaa. INCA-N mallin sovelluksessa Yläneenjoen alueelle (CatchLake projekti) voitiin hyödyntää uusia online nitraattimittausten tuloksia. EU:n Euro-limpacs projektissa <http://www.euro-limpacs.ucl.ac.uk/> on viime vuosina kehitetty vastaavantyyppiset mallit kiintoaineen (INCA-Sed) ja hiilen mallinnukseen (INCA-C).

CATCHLOAD (Dynamical Catchment Load Model) on dynaaminen, tilastollinen valuma-alueen kokonaisravinteiden huuhtoutumismalli (Bilaltdin et al. 2008). CATCHLOAD käyttää syöttötietonaan Vesistömallin tuottamia virtaamia. Ravinnekkuormat lasketaan erikseen pelto- ja metsäalueelle. Mallissa korjataan pellolle ja metsälle kalibroituja lähtöravinnepitoisuuksia empiirisillä funktioilla. Myös osa

empiiristen funktioiden parametreista vaatii kalibroinnin. Haja-asutuksen kuormitus ja pistekuormitus lisätään erikseen mallinnettuun hajakuormitukseen. Mallin syöttötiedot koostuvat seuraavista aineistoista:

- Valuma-alueen virtaama (WSFS-vesistömalli tai havainnot)
- Valuma-alueen pinta-ala (GIS)
- Valuma-alueen maankäyttö (CORINE)
- Keskimääräinen valunta (Vesistömalli tai havainnot)
- Routa lasketaan lämpösumman avulla (Ilmatieteen laitos, lämpötila)
- Kaltevuus (SYKEN kolmannen jakovaiheen valuma-alueiden kaltevuus, paikakatietolaskelmat)
- Viljelykäytäntö, kasvipeitteisyys talvella (TIKE)
- Maalaji (Viljavuuspalvelu)

Mallin syöttötietojen saatavuus ei yleensä ole pullonkaulana mallin käytettävyydelle. Tilastollisena mallina, joka on tarkoitettu isohkoille valuma-alueille, mallin tarkkuustaso on karkeahko. Se soveltuu paremmin kokonaisfosforin kuin kokonaistypen simulointiin, koska typen prosessit ovat monimutkaisempia luonnossa. CATCHLOADin käyttö ei ole yleistynyt Suomessa, vaan on rajoittunut lähinnä Pirkanmaan ympäristökeskuksen noin kymmeneen hankkeeseen. Osasyynä on käyttöliittymän viimeistelemättömyys. Tällä hetkellä mallin kalibrointi ja käyttö tapahtuu SAS-ympäristössä. Positiivista CATCHLOADissa on mallin yksinkertaisuus. Syöttödatan saatavuus on melko helppoa eikä malli ole liian parametrisoitu.

Kalibrointia varten estimoidun ainevirtaaman luotettavuus parantaa luonnollisesti kalibroinnin tulosta ja mallin luotettavuutta. Parhaimmassa tapauksessa CATCHLOADin tuloksia voidaan käyttää seurannan apuna tai jopa seurannan asemesta, joka säästää kustannuksia. Tämä vaatii kuitenkin edustavan datan lähinnä mitattavan aineksen pitoisuudesta. Siksi mallin kalibrointiin tarkoitettun seurannan on oltava intensiivistä, ajallisesti tarkkaan suunniteltua ja mallinnettavan suureen koko skaalan kattavaa. Virtaamatiedot eivät ole niinkään ongelma.

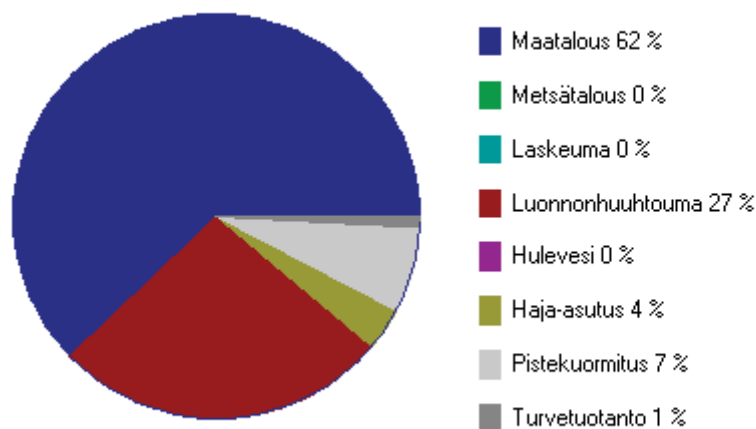
Dynaamista CATCHLOAD huuhtoumamallia on käytetty poikkeuksetta integroituna järvi- tai järviketjun dynaamiseen vedenlaatumallinnukseen (AQUASIM, CHAIN-LAKE, PROBE, DYRESM-CAEDYM). Malleja on käytetty erikseen, mutta kytkentä ei ole ollut ongelma.

VEPS on Suomen ympäristökeskuksessa vesistökuormituksen arviointia varten kehitetty järjestelmä. Sen ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 1999 ja nykyinen päivitetty versio vuonna julkaistiin vuonna 2004 (Tattari et al. 2004). Järjestelmän avulla voidaan arvioida kolmannen jakovaiheen vesistöalueilla eri kuormituslähteiden suuruutta. VEPS-järjestelmä arvioi pistekuormituksen, maatalouden, metsätalouden, luonnonhuuhtouman, laskeuman ja haja-asutuksen aiheuttaman kuormituksen. Uusina kuormittajina VEPS 2.0:een on lisätty hulevedet, loma-asutus sekä turvetuotanto. VEPS 2.0:ssa luonnonhuuhtouman, laskeuman, maatalouden (fosforin osalta) ja haja-asutuksen arvot on päivitetty. VEPS:llä voidaan arvioida kokonaistypen ja -fosforin kuormat vuositasona ( $\text{kg km}^{-2} \text{v}^{-1}$ ).

Erityisen tärkeää on muistaa, että VEPS-järjestelmä pystyy tuottamaan ainoastaan suuntaa-antavaa tietoa eri hajakuormituslähteiden suuruudesta. Maankäyttömuodot saadaan kolmannen jakovaiheen vesistöalueiden tarkkuudella, kun taas useimmat käytetyt laskentamenetelmät on arvioitu suurempien alueiden aineistojen (esim. metsätilastolliset toimenpiteet) perusteella. Laskennoissa käytetyt regressiokaavat, suorat mittaushavainnot sekä mallinnustulokset perustuvat suhteelliseen suppeaan aineistoon, joka on alueellistettu kattamaan kaikki kolmannen jakovaiheen vesistöalueet. VEPS ei huomioi ravinteiden sedimentoitumista vesistöihin. Tuloksiin on syytä suhtautua kriittisesti ja hyödyntää tulosten tulkinnassa paikallista asiantuntemusta, HERTTA-tietojärjestelmän vedenlaatutietoa ja karttapohjaista tausta-aineistoa alueen hydrologisista ja morfologisista tekijöistä. Vertailu muiden mallityökalujen antamiin tuloksiin on erittäin suotavaa.



VEPS-järjestelmä on tällä hetkellä erittäin käyttökelpoinen ja kehityskelpoinen työkalu joistain puutteistaan huolimatta.



Kuva 8. VEPSillä laskettu Eurajoen vesistöalueen kokonaistyyppikuormituksen jakautuminen kuormituslähteisiin.

### 5.2.3

#### Järvi- ja jokimallit

Avovesikautena 2D- ja 3D-virtauslaskenta järvissä perustuu pääasiassa tuulen aiheuttaman veden liikkeiden laskentaan. Läpivirtauksen aiheuttaman veden liike on tärkeää yleensä vain jokimaisissa reittivesissä sekä talvella jääkannen estäessä tuulen vaikutuksen. Virtaukset kuljettavat vedessä olevia aineita, millä on vaikutusta aineiden pitoisuusjakaumiin. Erityisen tärkeää virtausten tunteminen on esim. arvioitaessa jätevesien leviämistä purkualueen läheisyydessä. Jos seurannan tavoitteena on antaa yleiskuva vesistön tilasta, ei havaintopaikan vedenlaatu saisi olla kovin riippuvaista virtauksesta. Esimerkiksi ns. perusseurannan havaintopaikkojen tulisi sijaita sellaisella vesialueella, jossa mahdollinen vesistöön tuleva kuormitus on jo ehtinyt sekoittua hyvin vastaanottavaan vesimassaan. Sen sijaan ns. toiminnallisen seurannan pisteiden tulisi sijaita paikoissa, joissa kuormituksen vaikutukset ovat selvästi näkyvissä. Virtauslaskentaa tarvitaan havaintopaikkojen suunnittelussa.

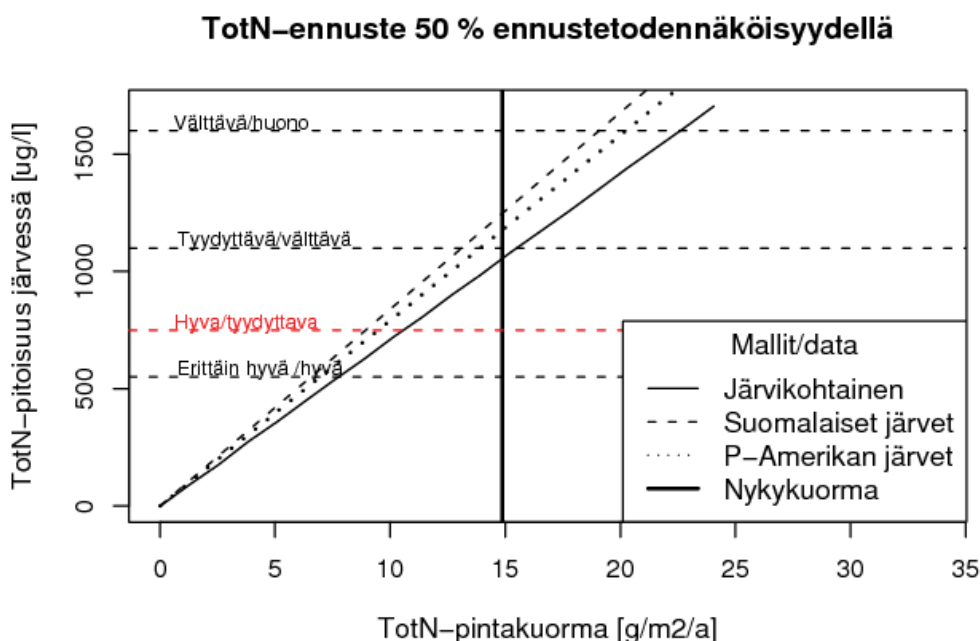
Kattavimmin eri vedenlaatuun vaikuttavia prosesseja pyritään ottamaan huomioon ns. 3D-mallinnuksessa. Kyseiset mallit ovat työläitä soveltaa ja ne vaativat paljon eri prosesseihin liittyvää yksityiskohtaista tietoa, vedenlaatudataa sekä tietoa kuormituksesta ja säästä simulointijakson aikana. Vaikka vedenlaatuun vaikuttavia prosesseja pyritään kuvaamaan matemaattisilla yhtälöillä mahdollisimman tarkasti, ovat yhtälöiden kertoimet yleensä likimääräisiä. Myös erityisesti vesistöön tulevan hajakuormituksen arviointi on käytännössä varsin karkeaa. Jo pelkästään nämä seikat tekevät tarkasta pitoisuusmallinnuksesta vaikean tehtävän. Tarkkaa ja luotettavaa mallinnusta tarvittaisiin, jos sillä haluttaisiin korvata perinteinen vesistöseuranta.

3D-malleilla saadaan kuitenkin yleensä varsin hyvä kuva eri tekijöiden vaikutuksesta pitoisuuteen ja pitoisuusvaihteluihin vaikkakaan mallilla ei eri syistä pystyittäisi kuvaamaan kaikkia havaittuja pitoisuusvaihteluita. 3D-malleilla ei voida korvata seurantaa, mutta ne soveltuvat hyvin esim. prosessitutkimuksen avuksi. Malleilla on perinteisesti ennustettu vesistövaikutuksia erilaisissa kuormitustilanteissa ja siinä ominaisuudessa ne ovat edelleen parhaimmillaan.

COHERENS mallin suuri kalibrointi- ja validointi-datan tarve edellyttää monen muuttujan intensiiviseurantaa.

LakeState- malli on yksinkertainen mekanistinen järven vedenlaatumalli, johon on liitetty tilastollinen ja Bayeslainen lähestymistapa mallin parametrien ja ennustetarkkuuden arvioimiseksi. Malli soveltuu geometrialtaan yksinkertaisen järven tavoitekuormituksen arvioimiseen tasapainotilassa. Mallille on tehty Internet-käyttöliittymä, joka toimii ympäristöhallinnon verkossa.

Mallin järvikohtaisia syöttötietoja ovat kokonaisravinteiden kuormitukset hajakuormitus mukaan lukien, ravinteiden järvipitoisuudet, a-klorofylli-pitoisuus, virtaama, keskisyvyys, pinta-ala sekä väriluku. Hajakuormituksen arviointi on erityisen epätarkkaa ja rajoittaa merkittävästi ennusteiden luotettavuutta.



Kuva 9. Esimerkki LakeState-mallin tuloksesta Hiidenveden syvänteelle. Typen tavoitekuorma eri mallien avulla laskettuna nähdään kuvaajasta Hyvä/Tyydyttävä-luokkarajan (punainen katkoviiva) kohdalta. Pystysuora viiva kuvaa järven nykyistä kuormitusta. Hiidenveden syvänteen typpikuormitusta pitäisi vähentää noin  $5 \text{ g}^{-1}\text{m}^{-2}\text{a}^{-1}$  (29 %), jotta järvessä päästäisiin hyvään tilaan typpipitoisuuden luokkarajojen perusteella.

#### 5.2.4

### Biodiversiteettimallit

Biodiversiteetin (BD) arvioimiseen liittyvien mallien tarve SYKE:ssä painottuu korrelatiivisiin malleihin. Dynaamisia malleja on sovellettu satunnaisesti, mutta enenevässä määrin mm. lajien leviämistarkasteluissa. EU:n, Suomen Akatemian, ja ministeriöiden (YM ja MMM) rahoittamissa hankkeissa mallinnustutkimus on tärkeässä roolissa. BD-mallien tarve on kasvussa, esim. seuraavilla aloilla:

- Biodiversiteettivaikutustutkimukset (esim. MYTVAS, LUMOTTU)
- Biodiversiteettimaanpeitemallit (EU, AlterNet, ALARM, SA, HY)
- Biodiversiteetti-ilmastomallit (EU, AlterNet, ALARM, HY)
- Spatiaalis-dynaamiset eliöiden leviämismallit (EU, AlterNet, ALARM, HY) sekä DPSIR-tyyppiset analyysit.

SYKEN LT-ohjelmassa (LTO) on hyvin vahva tilastollisten mallinnustyökalujen valikoima, joka soveltuisi hyvin seurannan mallipohjaiseen optimointiin. Tämä valikoima koostuu seuraavista osista:

- Lineaariset BD-regressiomallit
- Yleiset lineaariset regressiomallit (levinneisyys/runsausmallit)
- Yleiset additiiviset regressiomallit (levinneisyys/runsausmallit)
- Neuroverkkomallit (BD-ilmastomallit, BD-maanpeitemallit)
- Luokittelupuumallit (BD-ilmastomallit, BD-maanpeitemallit)
- Multiple adaptive regression splines (BD-ilmastomallit, BD-maanpeitemallit)
- Optimointialgoritmit (suojelualueverkoston optimointi)
- Spatiaalis-dynaaminen leviämismallit MIGRATE ja GIFM (perhoslajien ja tulokaslajien leviäminen)
- GRASP - generalized regression analysis and spatial prediction (spatiaaliset levinneisyys/runsausmallit)
- HyperNiche (BD-ilmastomallit, BD-maanpeitemallit)

#### 5.2.5

### Kaukokartoitusmallit

Kaukokartoitusmalleja käytetään satelliiteista tai lentokoneista tapahtuvien kaukokartoitushavaintojen tulkintaan. Mallit voivat perustua mittauksen teoreettiseen tarkasteluun, tilastollis-empiiriseen riippuvuuteen tai näiden yhdistelmään. Mallien tarve kasvaa, koska jatkossa tulee lisää tulkittavia muuttujia ja tarkkuusvaatimukset kasvavat. Toisaalta myös tietämys kaukokartoitusmittaukseen vaikuttavista tekijöistä kasvaa koko ajan ja ne voidaan ottaa vain mallien avulla huomioon. Kaukokartoituksen ja kohteen fysikaalisen ja biologisen mallinnuksen yhdistämisellä eli havaintodatan *assimilaatiolla*, voidaan tuottaa erittäin käyttökelpoisia, mallinnusta ja tilanteen tarkkaa arviointia tukevaa aineistoa. Menetelmässä saadaan samalla huomioiduksi havainnoissa ja malleissa oleva epätarkkuus. Tämä lienee jatkossa seurannan mallipohjaisen suunnittelun ohella toinen keskeinen laajemminkin hyödynnettävissä oleva mallien ja seurannan vuorovaikutus- ja käyttötapa. Lumipeitteen seurannassa assimilaatio-menetelmä on jo operatiivisessa tuotannossa SYKEssä, vedenlaadun osalta menetelmiä kehitetään. Mallipohjainen seurannan suunnittelu puolestaan on ainakin implisiittisesti käytössä esim. SYKEN bio-optisessa reflektanssimallissa käytettävien kertoimien ajallisen ja alueellisen vaihtelun selvittämisessä mittauksin laboratorioissa ja kentällä. Myös mallinnuksen kehittämiseksi sekä eri kaukokartoitusinstrumentteihin liittyvien mallien toiminnan ja operatiivisesti tuotettujen kaukokartoituspalveluiden laadun varmistamiseksi on kerättävä testiaineistoja. Niitä saadaan vakioituista mittauksista ympäristöseurannan tietokannoista ja erityisesti satelliittihavaintojen testaukseen tarkoitetuista mittausjärjestelyistä. SYKEen hankittu maastokäyttöinen spektrometrimittauslaitteisto on tässä keskeinen väline mittauksissa.

#### 5.2.6

### Tuotanto- ja kulutusjärjestelmien mallit

*Tuotanto- ja kulutusjärjestelmien* malliryhmän mallit eroavat luonteeltaan fysikaalisista ilma- ja vesimalleista. Ne ovat staattisia, vain yhtä tilannetta kuvaavia menetelmiä tai oikeammin prosesseja, joilla ei voida ennustaa tulevaa tai arvioida tarkasteltavaan tilanteeseen johtaneita historiallisia syitä. Niiden avulla voidaan arvioida laajoja kokonaisuuksia. Menetelmien avulla fyysisesti erillään sijaitsevien toimintojen ympäristön tilaa ja /tai raaka-aineiden kulutusta kuvaavat kuormitus- ja ominaisuustiedot ja /tai kustannukset voidaan systemaattisesti kytkeä ympäristö- ja kustannusvaikutuksiksi. Menetelmillä joko a) arvioidaan yhtä suunniteltua tai toteutunutta tilannetta tai b)

verrataan suunniteltua/toteutunutta tilannetta valittuun vertailutilanteeseen ja arvioidaan muutoksen suuntaa ja vaikutuksia näiden kahden vertailutilanteen välillä (Tattari ym. 2006).

### 5.3

## Tärkeimmät mallien kehittämiskohteet

### 5.3.1

#### Vesistömalli ravinnekuvauksineen

Vesistömallin ravinneosan kehittämistarve suuntautuu erityisesti fosforin ja typen sekä kiintoaineen valuma-alueelta tapahtuvan huuhtouman kuvaukseen sekä ravinteiden kulkeutumiseen ja pidättymiseen liittyvien joki- ja järvi-prosessien kuvaukseen. Fosforikuormitusmallin kehittämiseen sisältyy erilaisten valuma-alueella tai vesistöissä tehtävien toimenpiteiden vaikutusten mallintamisen kehittäminen. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi kosteikkojen rakentaminen, jyrkkien peltojen metsitys sekä säännöstelyn vaikutus kokonaiskuormitukseen. Jatkossa on tarkoitus kehittää mallia myös turvetuotannon ja metsäojituksen vaikutusten arviointiin ja edelleen turvetuotannon valutuskenttien ja laskeutusaltaiden vaikutusten mallintamisen arviointiin.

Vesistömallijärjestelmän kehittämisen yhtenä tavoitteena on Suomen Itämeren fosfori-, typpi- ja kiintoainekuormituksen reaaliaikainen laskenta ja kuormitusten muutosten arviointi ilmaston muuttuessa. Typpimallin jatkokehittämiseen panostetaan erityisesti vuoden 2009 aikana, jotta saadaan kehitettyä fosforikuormituslaskentaa vastaava malli. Samoin VIHMA-projektin peltolohkotason ravinnekuormitustietämyksen vieminen Vesistömallijärjestelmän valuma-alueen laskentaan on yksi vuoden 2009 tärkeitä tavoitteita. Kyseeseen tulee silloin kaltevuuden, maalajin, muokkausmenetelmän ja viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Työn tekemisen kannalta oleellisia tietoaineistoja ovat MMM:n TIKE-aineisto ja Viljavuuspalvelun peltojen P-lukua koskeva aineisto. Myös hoitokalastuksen vaikutusta järvien ravinnetason laskemiseksi on kaavailtu mallinnettavaksi toimenpidevaihtoehtona.

### 5.3.2

#### Huuhtoutumamallit

Huuhtoumamallien ja vesistömallijärjestelmän malleilla voidaan arvioida valuma-alueella tehtävien toimenpiteiden vaikutuksia riittävällä tarkkuudella, kun alueen maankäyttötiedot ja veden laadun ja hydrologian havainnointi on riittävän tiheätä. Riittävän tiheällä vedenlaadun (P, N ja kiintoainekonsentraatio) ja virtaaman seuranta-aineistolla sekä riittävillä maankäyttötiedoilla (peltojen viljelylajike, kaltevuus, fosforiluku, metsätyypit suotyypit) saadaan kalibroituja mallia, jonka laskentatarkkuus riittää arvioiden tekoon. Työn tekemistä varten ensi arvoisen tärkeä olisi saada käyttöön Peltojen P(fosfori)-luku Viljavuuspalvelun Oy:n kautta määritetyiltä kohdealueilta. Tällä hetkellä tieto on saatavissa ainoastaan kuntatasolla.

Toinen huuhtoumamallien suuri ongelma on tietojen hajanaisuus suoritetuista metsätaloustoimenpiteistä. Tietoja on kyseltävä metsäkeskuksista, metsähallitukselta ja metsäyhtiöiltä erikseen. Kaikkien tahojen käytettävissä olevan rekisterin luominen olisi tärkeää.

### 5.3.3

## LakeState

Tilastollisen LakeState-tavoitekuormitusmallin kehittämisessä aineiston saatavuus on oleellista. Tätä tarkoitusta palvelisi erinomaisesti tässä raportissa esitetty ympäristö observatorioiden verkko. Verkko ei yksin riitä vaan järvissä tapahtuvan ravinteiden pidättymisen parametrisointia varten tarvitaan ravinnetase- ja järven ravinnepitoisuustiedot valtakunnallisesta kattavasta järvijoukosta. Niiden tulisi edustaa erilaisia pinta- ja hydraulisia kuormia. Tässä järvihavaintoverkossa voitaisiin näytteenottoa vaihtaa määrä välein järvestä toiseen aineiston alueellisen edustavuuden parantamiseksi.

### 5.3.4

## VEPS

Suomen ympäristökeskuksessa on kehitetty vesistökuormituksen arviointiin VEPS-järjestelmä (1. versio vuonna 1999 ja nykyinen, päivitetty 2. versio vuonna 2004), jonka avulla voidaan arvioida 3. jakovaiheen vesistöalueilla eri kuormituslähteiden suuruutta. VEPS-järjestelmä arvioi pistekuormituksen, maatalouden, metsätalouden, luonnonhuuhtouman, laskeuman ja haja-asutuksen aiheuttaman kuormituksen. Uusina kuormittajina VEPS 2.0:een on lisätty hulevedet, loma-asutus sekä turvetuotanto. VEPS 2.0:ssa luonnonhuuhtouman, laskeuman, maatalouden (fosforin osalta) ja haja-asutuksen arvot on päivitetty. VEPS:llä voidaan arvioida kokonaistypen ja -fosforin kuormat vuositasolla ( $\text{kg km}^{-2} \text{a}^{-1}$ ).

Erytisen tärkeää on muistaa, että VEPS-järjestelmä pystyy tuottamaan ainoastaan suuntaa-antavaa tietoa eri hajakuormituslähteiden suuruudesta. Maankäyttömuodot saadaan 3. jakovaiheen vesistöalueiden tarkkuudella, kun taas useimmat käytetyt laskentamenetelmät on arvioitu suurempien alueiden aineistojen (esim. metsätilastolliset toimenpiteet) perusteella. Laskennoissa käytetyt regressiokaavat (esim. luonnonhuuhtouma), suorat mittaushavainnot (esim. laskeuma) sekä mallinnustulokset (esim. maatalous) perustuvat suhteelliseen suppeaan aineistoon, joka on alueellistettu kattamaan kaikki 3. jakovaiheen vesistöalueet. VEPS on staattinen malli, joten pistekuormitusta ja laskeumaa lukuun ottamatta kuormituksen ajallista vaihtelua ja riippuvuutta erilaisista hydrologisista vuosista ei huomioida. VEPS ei huomioi myöskään ravinteiden sedimentoitumista vesistöihin. Tuloksiin on syytä suhtautua kriittisesti ja hyödyntää tulosten tulkinnassa paikallista asiantuntemusta, HERTTA-tietojärjestelmän vedenlaatutietoa ja karttapohjaista tausta-aineistoa alueen hydrologisista ja morfologisista tekijöistä. Vertailu muiden mallityökalujen antamiin tuloksiin on erittäin suotavaa.

VEPS-järjestelmä on tällä hetkellä erittäin käyttökelpoinen ja kehityskelpoinen työkalu joistain puutteistaan huolimatta. VEPSin päivitys- ja kehitystyö olisi aloitettava viipymättä. Seuraavassa on esitetty muutamia kehityskohteita.

VEPS ei huomioi ravinteiden sedimentoitumista vesistöihin vaan tuottaa valuma-alueen potentiaalisen kuormituksen. Tätäkin ominaisuutta jossain tilanteissa tarvitaan, mutta vaihtoehtona olisi kehitettävä yksinkertainen esim. järviprosenttiin perustuva vähennysfunktio (esim. CATCHLOAD), jonka avulla olisi suoraan mahdollista arvioida todellisen kuormituksen suuruutta.

Edelleen on painotettava, että jos käytettävissä on luotettavaa mittaustietoa valuma-alueiden kuormituksesta alueen purkupisteestä, niin tätä tietoa kannattaa ensisijaisesti käyttää. Ongelmana on jakaa kokonaiskuormitus eri lähteisiin. VEPSissä kuormituksen osittaminen eri kuormittajien välillä perustuu osittain mallinnukseen, osittain suhteellisen harvoihin kenttämittauksiin Tästä johtuen kuormituksen osittaminen eri lähteisiin sisältää väistämättä suurta epävarmuutta. VEPSissä on

mahdollista syöttää malliin omia ominaiskuormituslukuja jos ne ovat tiedossa. esim. turvetuotanto, metsätalous tai maatalous.

Nyt kun (syksy 2008) TIKE-aineistot ovat paikkatietona käytössä, olisi mahdollista parantaa maatalouden kuormituksen arviointia esim. viljelykäytäntöjen avulla. Myös VIHMA:n (TIKEN tiedot) vesiensuojelutoimenpiteiden käyttö olisi laskennassa mahdollista.

Peltojen kaltevuustiedot on mahdollista saada tarkemmin (TIKE ja ArcMap) esim. 50m x 50m-ruuduille. Tämä sopii myös VIHMAN kaltevuustietoihin (voidaan jakaa suoraan VIHMAN kaltevuusluokkiin). 3-jakovaiheen peltojen kaltevuustiedoista ei ole juurikaan hyötyä.

Viljavuuspalvelun P-lukujen kuntakohtaisten tietojen sijasta olisi saatava ehdottomasti tutkimuskäyttöön edes jossain tarkemmassa mittakaavassa tarkemmat P-luvut. Kuntakohtaiset tiedot ovat tasapäistävät ja vääristävät informaatiota.

VEPS on kustannustehokkuudeltaan erittäin suositeltava ja helppokäyttöinen huuhtoutumismalli. Laaja-alaisuutensa vuoksi sen käyttö säästää paljon aikaa, työtä ja siten kustannuksia. Sen käyttö on suositeltavaa ainakin seurannan apuna. Nykyisen version tuloksiin on tosin suhtauduttava kriittisesti ja hyödynnettävä tulosten tulkinnassa paikallista asiantuntemusta.

5.4

## Mallien hyödyntäminen seurannoissa

Mallintamista voidaan käyttää apuna seurantaohjelmien suunnittelussa ja optimoinnissa. Tällä hetkellä niitä käytetään pääasiassa havaintojen teoreettiseen tulkintaan ja ympäristöpoliittisten vaikutusennusteiden tekemiseen. Tulevaisuuden suuri haaste onkin seurantaohjelmien kustannustehokas mallipohjainen optimointi, jolla seuranta kohdennetaan suurten ympäristöpoliittisten ongelmien, kuten ilmaston muutos, ympäristön kemikalisoituminen, luonnon monimuotoisuuden väheneminen ja rehevöityminen, ratkaisemiseen. Vasta, kun seuranta tuottaa edustavaa, tarkkaa ja luotettavaa tietoa vaikutusennusteiden tekemiseen ja tieto on nopeasti hyödynnettävissä, voidaan ympäristöpolitiikan kokonaiskustannustehokkuutta huomattavasti parantaa.

Kokonaiskustannustehokkuudella tarkoitetaan seurannan, tutkimuksen ja ympäristön hoidon yhteenlaskettuja kustannuksia ja hyötyjä. Jos esimerkiksi ympäristön seurantaresursseja pienentämällä huononnetaan vaikutusennusteiden tarkkuutta ja kasvatetaan hoitotoimien yli- tai alimitoituksen riskiä, voi ympäristöpolitiikan kokonaiskustannustehokkuus heikentyä dramaattisesti.

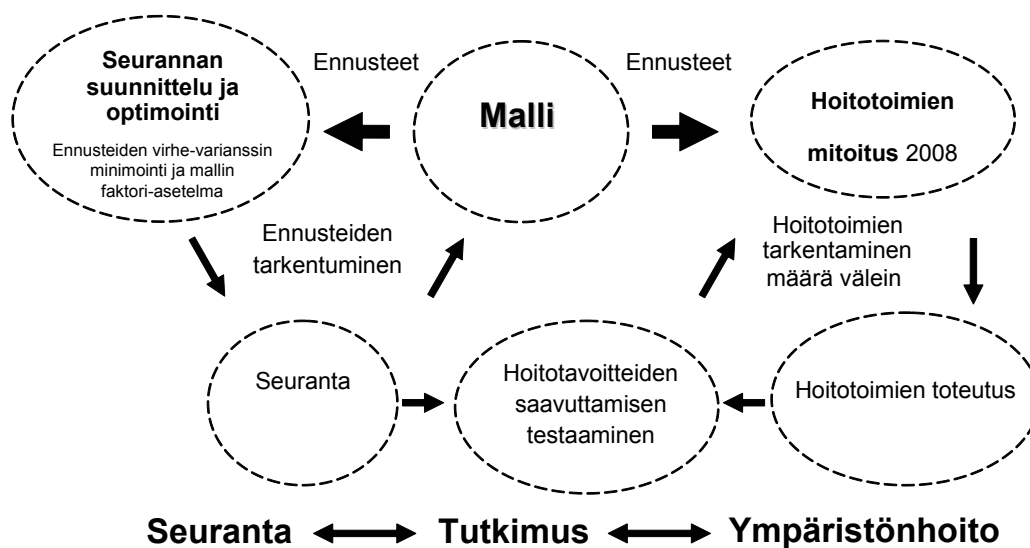
Kun mallintamista tarkastellaan seurannan apuvälineenä, tulee erityisesti huomioida se, kuinka mallintamisen avulla tehostetaan seurannan tuottaman tiedon määrää ja laatua sen avainalueilla, joita ovat mm.

- Ympäristöpolitiikan ohjaus: hoitotoimenpiteiden ja sopeutumiskeinojen suunnittelu, mitoitus ja päätöksenteko
- Haitta-aineiden vaikutusennusteet
- Ilmastonmuutosennusteet
- Itämeren ainekuormitus
- Vesipuidedirektiivin mukainen ekologisen tilan luokittelu
- Erityisesti tulee huomioida seurannan menetelmälliset kehittämistavoitteet, joita ovat mm.
- Seuranta-aineiston edustavuus
- Tiedon luotettavuus ja laatu
- Tiedon hyödyntämisen nopeus ja vaikuttavuus
- Kustannussäästö

Esimerkiksi Itämeren kuormituksen ja ekologisen luokittelun kannalta seuranta-aineisto on riittävän edustava silloin, kun havaintopisteet ja ajankohdat on satunnaisesti oikein, ja kun niitä on niin paljon, että estimaattien tilastollinen merkitsevyys on riittävä. Näiden varmistamiseen on olemassa vakiintuneet tilastolliset menetelmät. Sen sijaan, vaikutus- ja muutosennusteiden ts. ympäristöpolitiikan ohjauksen kannalta, havainnointi tulisi ajoittaa ja sijoittaa kohtiin, joista saadaan paras mahdollinen tieto malliennusteiden tarkentamiseksi (tiedon luotettavuus ja laatu). Tällaisessa seurannan suunnittelussa malli on työkalu, jolla seurantaohjelman informaatioarvo optimoidaan ympäristöpolitiikan asettamien tavoitteiden kannalta (Seurannan Kustannustehokas Mallipohjainen Optimointi). Optimointi edellyttää kuitenkin, että seurannalle, tutkimukselle ja ympäristön hoidolle asetetaan yhtenäiset, kaikkien tunnustamat poliittiset tavoitteet esim. vesipuitedirektiivin toimeenpano. Tämän jälkeen on mahdollista optimoida seurantaohjelman ja em. sektoreiden kokonaiskustannustehokkuus. Seurantoja ei tällaisessa vuorovaikutuskentässä voida malleilla kokonaisuudessaan korvata. Sen sijaan niiden avulla voidaan optimoida seurantaohjelmia, tulkita havaintoja, ennustaa ympäristövaikutuksia ja ohjata ympäristöpolitiikkaa kustannustehokkaasti (Kuva 10).

Tiedon hyödyntämisen nopeutta ja vaikuttavuutta voidaan malleilla oleellisesti parantaa. Malleilla voidaan ennustaa muutoksen tai vaikutuksen suuruus sekä havainnollistaa niitä monilla eri tavoilla. Internet-selainpohjaiset mallisovellukset parantavat lisäksi tiedon jakelua. Assimilaatiotekniikat, joilla reaaliaikaisia kaukokartoitusaineistoja ja seurantatietoja yhdistetään malleihin, tarjoavat laajoja mahdollisuuksia tiedon hyödyntämisen nopeuttamiseen ja vaikuttavuuden lisäämiseen.

Kustannussäästöjä voidaan saada aikaan mallipohjaisilla optimointi tekniikoilla, joiden avulla kustannusyksikköä kohden saatava informaatio voidaan maksimoida.



Kuva 10. Mallintamisella on keskeinen, ympäristöpolitiikkaa ohjaava rooli: malliennusteiden avulla mitoitetaan hoitotoimenpiteitä ja optimoidaan seurantaohjelmia.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että mitä monimutkaisempi on malli, sitä suurempi on tietotarve. Monimutkaisuudella tarkoitetaan mallin kattavuutta ja resoluutiota tilassa ja ajassa sekä niistä johtuvaa reunaehto- ja alkuarvotietojen suurta määrää. Mallintamisvälineet pitäisi valita niin, että niiden tietotarve vastaa olemassa olevia seurantaresursseja. Toisaalta, kuten edellä todettiin, ympäristöpolitiikan suunnalta kohdistuu seurannan ja tutkimuksen suuntaan odotuksia vaikutusennusteiden tarkkuuteen ja mallien monimutkaisuuteen.



## 6 Molekyylibiologiset menetelmät

Molekyylibiologia tarkastelee solujen toimintaa molekyylitasolla, käytännössä useimmiten silloin tarkastellaan DNA:n rakennetta sekä proteiineja ja entsyymejä. Molekyylibiologiassa on merkittävä rooli erityisesti lääketieteessä uusien lääkkeiden ja erilaisten hoitomenetelmien kehittämisessä ja sen merkitys kasvaa edelleen.

Molekyylibiologian menetelmillä tarkoitetaan etenkin nukleinihappoihin perustuvia menetelmiä vaikka esim. monoklonaaliset merkkiaineet ja entsyymit tarjoavat monia mahdollisuuksia. Keskeisiä molekyylibiologian menetelmiä ovat PCR-menetelmään perustuvat geenifragmenttien monistamiset ja geenikoettimien käyttö.

Polymeraasiketjureaktiolla eli PCR-menetelmällä monistetaan haluttu geenialue valitsemalla sopivat alukkeet, joiden välinen geenialue monistetaan. Alukkeiden valinta ratkaisee monistettavan geenialueen ja sen, miten kattavasti eri organismit saadaan esiin. Sopivia alukkeita käyttämällä voidaan osoittaa tietyn organismin esiintyminen ympäristönäytteessä tai varmistaa tunnistus esim. viljelyllä esiin saadusta organismista. Tämä on tarkoituksenmukaista esim. osoitettaessa haitallisten mikrobien tai indikaattorilajien esiintymistä. Selvitettäessä mikrobiyhteisörakennetta monistettu geenialue voidaan tutkia erilaisilla sormenjälkitekniikoilla tai sekvensoimalla.

Geenikoettimet eli geenitunnistimet ovat, esim. fluoresoivasti tai radioaktiivisesti merkittyjä, emäsjärjestykseltään tunnettu RNA- tai DNA-jaksoja, joiden avulla nukleinihappoja voidaan osoittaa ja tunnistaa. Geenikoettimia on käytetty esim. varmistamaan viljelyssä esiin saadun organismin tunnistus (pesäkehybridisaatio) ja in situ -hybridisaatioissa, jossa valittuja mikrobisoluja on osoitettu ja lukumäärää mitattu suoraan vesinäytteestä.

PCR-menetelmät ovat herkkiä ympäristönäytteessä esiintyville erilaisille inhibiittoreille ja PCR-menetelmien periaatteessa suuri herkkyys kärsii tästä. DNA:n eristys- ja puhdistusmenetelmien kehittyminen saattaa parantaa tilannetta. Sekä PCR-alukkeiden valintaa että geenikoettimien suunnittelua ympäristönäytteille vaikeuttaa sen, että spesifisyyttä ja kattavuutta on usein vaikea varmistaa. Olosuhteissa, joissa on vähän mikrobitoimintaa, esim. desinfioidussa vedessä, desinfektiossa kuolleiden solujen nukleinihapot voivat säilyä varsin pitkään eikä nukleinihapon esiintyminen vielä vahvista esim. tautiriskiä. Toisaalta molekyylibiologian menetelmät antavat mahdollisuuden selvittää eri lajien esiintymistä ja yhteisörakennetta siten, ettei viljelymenetelmän valinnan aiheuttama selektio vaikuta esiin saataviin lajeihin.

Sekvensointi on kokemassa vallankumouksen, jonka seurauksena kapasiteetti ja taloudelliset edellytykset sekvensointiin paranevat. Tämä tuo keskeisen molekyylibiologian menetelmän myös ympäristön tutkimuksen ulottuville enenevässä määrin.

Vesistöjen seurantoihin soveltuvia mikrobiologisia käyttösovelluksia ryhmä näkee olevan levätoksiinien osoittamisessa vesistöissä sekä geeniteknologian käyttämisessä plankton laskennoissa.

Syanobakteeri- ja levätoksiinien osoittaminen entsyymaattisin, immunologisin ja nukleiinihappoihin perustuvien menetelmien avulla on edistynyt viime vuosina. Menetelmät ovat jo niin valmiita, että niitä voitaisiin ottaa käyttöön seurannassa ja valvonnassa.

Kasviplanktonin laskennassa molekyylibiologisia menetelmiä voitaisiin käyttää esim. mikroarray-tekniikkaa käyttäen. Mikroskoopissa tunnistetuista ja kuvatuista soluista monistettaisiin tietty geenijakso, joka sitten sekvensoitaisiin. Tätä sekvenssitietoa voitaisiin käyttää koettimien valmistamista mikrosirua varten.

Mikrosiru-tekniikan sijaan voitaisiin käyttää myös PCR-pohjaista fragmenttianalytiikkaa, joka perustuu eroihin 18S rRNA geenin sekvenssipituuksissa. Fragmenttianalytiikkaa tarjoaisi mahdollisuuden kasviplanktonin profilointiin, josta voitaisiin aluksi kehittää ainakin ylemmän luokittelutason seurantamenetelmä. Myöhemmin menetelmää voitaisiin kehittää edelleen tarkempia lajistomäärityksiä varten.

Molekyylibiologian menetelmiä kasviplanktonin määrittämisessä on tarkastellut FT Marja Tirola Jyväskylän yliopistossa. Menetelmät vaatisivat vielä runsaasti tutkimusta ennen kuin käytössä olisi seurantaan suoraan soveltuva menetelmä.

## 7 Hahmontunnistusmenetelmät eliöryhmien määrittämisessä

Hahmontunnistus perustuu erilaisten ilmiöiden koneelliseen tunnistamiseen. Hahmontunnistusta käytetään mm. ihmisen kasvopiirteiden tunnistamiseen, puheen muuttamiseen tekstiksi ja yleensä erilaisissa tietotekniikan ja robotiikan sovelluksissa. Biologisia hahmontunnistusmenetelmiä on jo pitkään käytetty mm. tuholaiistorjunnassa tuholaiisten identifioimiseksi ja torjuntatoimien suuntaamiseksi.

Vesien tilan seurannassa käytettävien biologisten suureiden tutkimus edellyttää paljon työtä ja laajaa asiantuntemusta vaativia menetelmiä. Tämän vuoksi työlään mikroskopointitunnistamisen rinnalle ja sijalle ollaan kehittämässä eliöiden piirteisiin ja ominaisuuksiin perustuvia koneellisia menetelmiä. Menetelmäkehitys edellyttää kuitenkin paljon perustutkimusta eri lajien ominaisuuksien ja piirteiden kuvantamiseksi ja kuvista johdettavien algoritmien kehittämiseksi sekä kuvien luokittelumenetelmien kehittämiseksi. Tätä työtä ollaan parhaillaan tekemässä pohjaeläinten tunnistamiseksi SYKEN Jyväskylän yksikössä (FT Kristian Meissner). Parhaillaan ollaan valmistelemassa laajaa yhteistyöhanketta: *CARE for Benthos*, jossa SYKEN lisäksi ovat mukana Jyväskylän yliopisto, Tilastotieteen laitos, Tietotekniikan laitos ja useita ulkomaisia yliopistoja.

Jyväskylän yliopistossa on myös tutkittu kuvantavien sytometrien käyttöä kasviplanktonin määrittämisessä. Menetelmässä näyte kavennetaan sytometrissa kapeaksi juosteeksi, jonka jälkeen näytteen fluoresenssista voidaan arvioida klorofyllin määrää ja eri planktonryhmien osuutta. Kun sytometriaan yhdistetään läpivirtausvalokuvaus voidaan määrittää solujen erilaisia sytometrisia ominaisuuksia ja vertaamalla näitä kirjasto-ohjelmiin voidaan tunnistaa lajistoa. Tutkimuksesta vastaa Jyväskylän yliopistossa FT Kalevi Salonen.

Hahmontunnistus ja muut kuvantamiseen perustuvat menetelmät ovat lupaavia menetelmiä korvaamaan mikroskopointityötä, mutta menetelmien kehittämiseen tulee vielä panostaa runsaasti.

Geeniteknologian mahdollisuudet tulevat tulevaisuudessa lisääntymään myös ympäristön seurannassa teknisen kehityksen myötä.

## 8 Seurannan uudistamisen mahdollisuudet lähitulevaisuudessa

### 8.1

#### **Automaattiasemien lisääminen**

Lisäämällä automaattisten seuranta-asemien määrää voidaan sekä oleellisesti tarkentaa seurantaa että tehostaa huomattavasti muiden uusien menetelmien kehitystyötä. Automaattiasemien tuottama jatkuva ja tiheästi mitattu, reaaliaikainen data on korvaamatonta erityisesti mallien, mutta myös kaukokartoitusmenetelmien kehitystyössä.

Sekä anturit että tiedonsiirto ovat suuresti kehittyneet ja halventuneet viime vuosina. Tämä tietotekniikalle yleisestikin tyypillinen kehitys tulee todennäköisesti jatkumaan. Kustannukset datayksikköä kohti laskevat jatkuvasti. Automatisointia tulisikin jatkaa nykyistä tehokkaammin.

Automatisoinnissa on käytettävä hyväksi olemassa olevaa havaintoverkkoa siellä, missä se on mahdollista. Esimerkiksi SYKEN Hydrologian yksiköllä on hyvin laaja, suurelta osin automatisoitu hydrologisen seurannan verkko, jossa havaitaan esimerkiksi pinnankorkeutta ja veden lämpötilaa järvissä ja joissa. Osassa näitä paikkoja on sähköliittymä valmiina ja tällaisiin havaintopisteisiin olisi logistisesti järkevää kytkeä myös vedenlaatuantureita, näytteenottimia ja muita automaattisia havaintolaitteita. Käyttämällä samoja sähköliittymiä, teitä, havaintolaittekoppeja ja huoltohenkilöstöä saataisiin kustannustehokkaasti paljon lisätietoa näiltä paikoilta.

Samankaltaisia seurantapaikkoja on jonkin verran myös muilla tutkimuslaitoksilla ja korkeakouluilla. Toiminnan yhdistäminen ja järjeittäminen tuottaisi sekä lisää dataa että säästöjä kaikille osapuolille. Lisäksi mittaamalla samasta paikasta montaa eri muuttujaa saadaan useimmiten datapaketti, joka on paljon arvokkaampi kuin osiensa summa.

### 8.1.1

#### **Pienten valuma-alueiden verkko**

Suomessa tehdyt, vuonna 1929 alkaneet pienten valuma-alueiden havainnoinnit ovat todennäköisesti perusteellisimmat maailmassa eikä vastaavaa, yhtä laajaa ja pitkään jatkunutta havainnointia ole missään muussa maassa. Nykyään alueita on eri puolilla Suomea yhteensä 37. Ne edustavat erilaisia maankäyttömuotoja ja maastotyypppejä ja ovat kooltaan 0,07-120 km<sup>2</sup>. Alueilla on mitattu pinnankorkeuden lisäksi sadantaa, lumen syvyyttä ja vesi-arvoa, roudan syvyyttä sekä ilman lämpötilaa. 14 alueella on myös seurattu veden laatua säännöllisellä näytteenotolla. Alueilta saatua tietoa on käytetty mm. seuraaviin tarkoituksiin:

- mitoituspusterit (mm. yli- ja alivalumat, vesihuolto- ja tulvamitoitukset)
- hydrologisten prosessien tutkiminen

- valuma-alueen ominaisuuksien ja muutosten vaikutukset hydrologisiin ja vedenlaatumuuttujiin, mm. eroosioon, sekä alapuolisten vesistöjen tilaan
- ilmastonmuutoksen vaikutus valuma-alueen hydrologisiin ja vedenlaatumuuttujiin
- hydrologisten mallien kalibrointi ja ennusteiden osuvuuden verifiointi tosiajassa
- ravinnekuormitusmallien kalibrointi ja ennusteiden osuvuuden verifiointi tosiajassa
- vesitilanteen seuranta ja siitä tiedottaminen
- maankosteus, routa ym. erillisinä ja yhdessä muiden havaintojen kanssa (mallien kalibroinnissa jne.)

Pienten valuma-alueiden hydrometeorologisia havaintolaitteita ollaan parhaillaan automatisoimassa. Alueilla on testattu monen valmistajan laitteita ja näiden kokemusten perusteella automatisointia ollaan jatkamassa. Nyt syksyllä 2008 noin puolet mittapadoista on automatisoitu.

Muutamalla valuma-alueella seurataan veden laatua automaattiantureilla. Eriytyisesti Savijoen mittapadolla on testattu ja vertailtu laatuantureita ja saatu arvokkaita kokemuksia antureiden toiminnasta ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista. Myös näiden kokemusten perusteella näyttää siltä, automaattiasemien hankinta on yksi hyödyllisimmistä ja kustannustehokkaimmista tavoista tehostaa seurantaa ja samalla oleellisesti kehittää myös muita menetelmiä (mallit ja kaukokartoitus). Automatisoiduilta alueilta saatavan datan määrä on kasvanut huikeasti ja se on miltei reaaliajassa käytössä.

Työryhmä pitää tärkeänä ja rahallisesti perusteltuna, että pienten valuma-alueiden hydrologisten, meteorologisten sekä laatusuureiden automatisointia jatketaan edelleen. Eriytyisesti vedenlaadun automaattiantureiden testaamiseen olisi suunnattava varoja.

#### 8.1.2

### Hydrologinen seuranta

SYKEN hydrologisesta seurannasta vastaa Hydrologian yksikkö. Seurantaan kuuluu sadannan, vesistöjen pinnankorkeuden, pintavesien lämpötilan, haihdunnan, lumen ja roudan, pohjavesien sekä maankosteuden seuranta.

Perinteinen hydrologinen seuranta on hyvin työvoimavaltaista ja tämän vuoksi automatisointi tuottaa usein selviäkkin säästöjä. Lisäksi tiedot ovat nopeammin käytettävissä. Automatisointia tulee kaikilla hydrologisen seurannan osa-alueilla jatkaa edelleen.

Pohjavesiseurannassa tiedonkeruuta on kehitettävä. Pohjavesiputket ovat usein usean putken ryhmissä ja näiden tietojen kerääminen keskitetysti on haasteellisempaa, kuin yhden pisteen mittauksissa, esim. pintavesissä. Radiolinkkien tai WLANin avulla toimivia laitteistokokonaisuuksia olisi saatava koekäyttöön. Nopeasti muutuvien vesitilanteiden hallinnoimiseksi olisi erityisen tärkeää kehittää nopeasti tapahtuvaa tiedonkeruuta ja tiedonsiirtoa GPRS:llä.

Pohjavesien laadun seuranta on myös viime aikoina noussut tärkeäksi. Seurannan ja mallien kehitystyön kannalta olisi tärkeää kehittää samanaikaisia mittauksia pohjavesiputkesta, lähteistä ja läheisistä avouomista. Näistä pisteistä tehtävät usean muuttujan samanaikaiset mittaukset (esim. pH, sähkönjohtavuus, happi, nitraattityppi, ammoniumtyppi, kloridi) auttaisivat selkeästi sekä prosessitutkimusta, laatusurantaan että mallien kehitystä.

Myös maankosteuseurannan tärkeys on viime vuosina tullut selkeästi esiin monella ympäristötutkimuksen sektorilla. Maankosteustietoja käytetään lähtötieto-

ina muun muassa vesistömallissa (SYKE), sääennusteissa sekä metsäpaloindeksin laskemisessa (IL), kasvituholaisten esiintymisennusteissa (MTT) sekä monenlaisissa prosessi- ja ravinnekuormitusmalleissa. Automaattisia maankosteusasemia (erityisesti usean lähekkäisen maankosteusaseman verkkoja) pitäisi merkittävästi lisätä ja suurimman hyödyn saamiseksi samoissa mittauspisteissä pitäisi tarkan GPS-paikkatiedon lisäksi mitata myös maan ja ilman lämpötilaa, pohjaveden lämpötilaa ja korkeutta, sadantaa sekä pohja- ja pintaveden laatua.

Työryhmä esittää, että hydrologisen seurannan eri osa-alueiden automatisointia jatketaan edelleen. Erityisesti pohjavesi- ja maankosteusseurannan kehittämiseen ja automatisointiin olisi suunnattava nykyistä selvästi enemmän resursseja.

### 8.1.3

#### Automaattiset vesistöjen tutkimuslautat ja jokiasemat

Kustannustehokkuuden nostamiseksi automaattisten mittalaitteiden käyttöä tulisi voimakkaasti lisätä, jotta havainnot saataisiin sellaisistakin paikoista ja hetkistä, joiden manuaalista havainnointia rajoittavat monet logistiset ja organisatoriset reunaehdot.

Automaattiset kiinteät asemat vesistöjen syvänteillä antavat mahdollisuuden mitata monipuolisesti vesistössä ja sen pinnalla tapahtuvia muutoksia. Ilmatieteenlaitoksella on jo pitkään ollut käytössään laajahko järvisäämittausasemien verkko (Näsijärvi, Päijänne Asikkalanselkä, Päijänne Judinsalonselkä, Saimaa Haukivesi, Saimaa Pyhäselkä ja Saimaa Puumala) Nämä asemat ovat auttaneet sekä järvisääilmiöiden seurannassa ja tutkimuksessa että sääennusteiden laatimisessa.

Automaattisten kiinteiden vedenlaatuasemien määrä on maailmalla kasvussa. Laajin automaattisten järviasemien verkko on Pohjois-Amerikassa. Siellä useat organisaatiot ylläpitävät niitä ja tiedot julkaistaan ajantasaisina mm. WaterOnTheWeb ja GLEON-verkoston kautta.

Suomessa pitkäaikaisin kokemus automaattisista ympärivuotisista järviasemista on Jyväskylän yliopistolla. Jyväsjärven asema on ollut toiminnassa vuodesta 2002 lähtien. Asema on toiminut monipuolisena mittausasemana sekä erilaisten mittalaitteiden testausympäristönä. Mitattavien muuttujien joukko on vaihdellut melko paljon. Perusjoukkona ovat olleet: säämuuttujat, veden lämpötila ja happipitoisuus. Niiden lisäksi on ajoittain mitattu sameuden ja a-klorofyllin arvoja. Testauksia on tehty mm. keinomakumittalaitteilla. Lahden Vesijärvellä on ollut mittaustalutta avovesikaudesta 2006 lähtien ja kesällä 2008 siellä otettiin käyttöön kaksi lisäasemaa. Uusin mittaustalutta otettiin käyttöön Säkylän Pyhäjärvellä elokuussa 2008 (CatchLake2-hanke <http://www.ymparisto.fi/syke/catchlake>).

Asemien kautta saadaan erittäin monipuolista mittaustietoa ja sen julkaiseminen ajantasaisena Internetin kautta on osoittautunut hyväksi ratkaisuksi, josta esim. JY on saanut paljon positiivista palautetta. Asemien perustamiskustannukset ovat melko suuret (30000-50000 €) ja niiden käyttö vaatii hyvin hoidettua huoltoa.

Suomessa ei ole tällä hetkellä yhtään toimivaa järvihaihdunnan mittaustaluttakaan eikä myöskään vesien virtauksien jatkuvatoimista asemaa. Näiden muuttujien jatkuva mittaus olisi kuitenkin sekä seurannan että tutkimuksen kannalta keskeistä. Vesivaralaskelmissa ja hydrologisissa malleissa käytettävät haihduntakaavat ovat melko vanhoja ja uudet mittalaitteet (mm. eddy kovarianssi- menetelmiin perustuvat) antavat mahdollisuuden oleellisesti tarkentaa haihduntatietoa. Samoin ulappavesien pintalämpötilojen mittauksessa infrapuna-anturit antaisivat oleellisen tärkeää tietoa sekä kaukokartoitustuotteiden kalibrointiin että operatiivisia malleja varten.

Työryhmä ehdottaa, että SYKE perustaisi kaksi automaattista järviasemaa. Toinen niistä tulisi Etelä-Suomeen Päijänteelle ja toinen Pohjois-Suomeen joko Inarille tai Kilpisjärvelle.

Asemat mittaisivat jatkuvasti ja reaaliaikaisesti seuraavia muuttujia

- järvisää
- järvihaihdunta
- vedenlämpötila ja happitoisuus useilla syvyyksillä
- veden virtaukset ainakin kolmella syvyydellä

Asemien perustaminen tulisi tehdä yhteistyössä eri organisaatioiden kanssa. Seurantasynergiaa tulisi etsiä ainakin Ilmatieteen laitoksen ja RKTL:n kanssa. Jyväskylän yliopisto on ilmoittanut olevansa kiinnostunut asemasta Päijänteen Ristiselällä, joka on Suomen sisävesien syvin paikka. Tämä asema voitaisiin perustaa vuoden 2010 aikana. Pohjoisen asema perustettaisiin vuoden 2011 aikana.

Meriin laskevien jokien kuormitusseuranta voidaan parantaa automaattisilla näyttteenottimilla sekä reaaliaikaisella sameuden seurannalla. Asemien näyttteenotossa tulisi soveltaa hydrologisten kausien aikaista satunnaistamista mittaustulosten virheiden minimoimiseksi. Työryhmä ehdottaa, että tätä menettelyä aletaan soveltaa keskeisten meriin laskevien jokien osalta. Näitä jokia ovat

- Kymijoki
- Aurajoki
- Kokemäenjoki
- Kemijoki

Menettely merkitsee 4-5 automaattisen näyttteenottimen hankinta (à 3000–5000 €) sekä niihin liittyvien sameus- ja vedenkorkeusasemien hankinta (à 4000 €). Näytteenoton satunnaistamisesta on SYKEssä valmistumassa julkaisu (Malve 2009), jonka pohjalta näyttteenotto-ohjeet voidaan tehdä. Asemien kustannusbudjetointi tulisi tehdä vuonna 2009 ja asemat otettaisiin vaiheittain käyttöön vuosien 2010–2012 aikana.

8.2

## **Automaattilaitteet liikkuvassa käytössä**

Uusia sähköisiä ja optisia mittalaitteita tulisi käyttää valtakunnallisissa seurannoissa aikaisempaa monipuolisemmin. Laitteiden hinta-laatusuhde paranee jatkuvasti ja myös muuttujamäärä on lisääntynyt.

Työryhmä ehdottaa, että järvisyvänteiden lämpötilaluotaukset sekä merialueiden happi-, lämpötila- ja suolaisuusluotaukset toteutetaan jatkossa CTD-luotaimilla. Luotainta käyttämällä havaintopaikkakohtainen mittausaika lyhenee sekä mittaus-tietoa saadaan merkittävästi useammalta syvyydeltä kuin puhtaasti manuaalisella mittauksella. Myös alueellinen mittaus-tieto paranee, kun laitteilla voidaan luodata samalla kenttäkäynnillä aiempaa useampia paikkoja. Tällä on merkitystä erityisesti merialueiden happipitoisuusluotauksissa.

Merialueiden happi-, lämpötila- ja suolaisuusluotauksia varten työryhmä suosittelee hankittavaksi kaksi happiantureilla varustettua CTD:tä. Niitä käytetään LOS:n ja UUS:n alueilla. Näiden laitteiden hankinta tapahtuisi jo vuonna 2010 ja ne otettaisiin operatiiviseen käyttöön vuoden 2011 aikana.

CTD-luotauksilla saadaan aiempaa tarkempia tuloksia järvien sekoittumisesta ja kerrostuneisuudesta. Tämä tieto on ilmaston muuttuessa erityisen tärkeää. Havaintopaikkoja tulisi karsia ja keskittyä oleellisimpien järvisyvänteiden luotaukseen ottaen huomioon ympäristöobservatoriokohteet (Päijänne, Pielinen, Lappajärvi ja Inari).

Järvisyvänteiden lämpötilaluotauksia varten tulisi hankkia 3 luotainta, joita käytetään useamman kuin yhden aluekeskuksen alueella. Laitteet voitaisiin hankkia seuraaviin aluekeskuksiin.

- KSU (Päijänne)
- PKA (Pielinen)KAI (Pesiöjärvi)
- LAP (Inari)

Laitteiden hankinta tapahtuisi vuosina 2010–2012.

Vedenlaadun määrittämiseksi kentällä optisilla laitteilla on meneillään tai suunnitteilla useita hankkeita mm. Alankomaissa ja Suomessa. Näillä helppokäyttöisillä laitteilla pystyttäisiin mittaamaan veden kiintoaineen, humuksen ja a-klorofyllin pitoisuus suoraan veneestä. Työryhmä ehdottaa, että SYKE hankkii omaan käyttöön edellä mainitun kaltaisia antureita, joita voidaan käyttää mm. leväkukintojen seurantaan. SYKE tekee sulan veden aikana jatkuvasti vesistöjen syvyyskartoituksia kaikuluotainlaitteistolla veneestä. Automaattiantureilla tehtävien laatumittausten yhdistämistä syvyyskartoituksiin tulisi selvittää tarkemmin.

Vuonna 2008 sekä SYKEen että LOS:iin on hankittu liikuteltava nitraatti/sameusanturi. Anturi on helppokäyttöinen ja sen avulla voi yhden työpäivän aikana tehdä laajankin kartoituksen valuma-alueen vesien tilasta. Koska fosforin ja sameuden välille voidaan laskea yhteys, anturilla voi nitraatin ja kiintoaineen lisäksi tehdä myös fosforikuormitusarvioita. Anturin voi myös jättää maastoon, jolloin virtalähteenä toimii akku ja puhdistus tehdään automaattisesti paineilmapullon avulla. Anturit on havaittu luotettaviksi ja käyttökelpoisiksi. Työryhmä ehdottaa, että liikuteltavien vedenlaatuantureiden hankintaan ja käyttöön tulisi suunnata nykyistä enemmän varoja.

### 8.3

## Ympäristöobservatorioiden verkko

Työryhmä ehdottaa, että SYKE ottaa käyttöön ympäristöobservatorioiden verkon. Verkon tulee kattaa erilaisia vesistöjä maan eri osissa. Se pohjautuu paljolti jo aktiivisen seurannan ja tutkimustoiminnan piirissä oleviin vesistöihin. Sen tulee sisältää sekä järviä että jokia, mutta myös kokonaisia valuma-alueita ja jonkun rannikkoseudun.

Verkon toteutuksessa tulee ottaa huomioon eri laitosten olemassa olevat yhteistyöverkot kuten LT(S)ER. SYKEN tulisi keskittää observatorioiden alueille omaa mittaustoimintaansa (automaattiasemat, tiheät näytteenotot ja erilaiset erikoismittaukset) ja yhteistyökumppaneiden kanssa pitäisi hakea mittaustoiminnan synergioita. Kohdealueet toimisivat myös sekä mallien että kaukokartoitusmenetelmien kehittämisen kohteina. Alueille voidaan myös suunnata tutkimushankkeita ulkopuolisella rahoituksella. Näillä pilottialueilla testattuja työkaluja voidaan sitten käyttää muilla alueilla Suomessa.

Observatorioiden havaintoaineistoja käytetään erityisesti seuraavien tutkimusteemojen tutkimiseen

1. Ilmastonmuutos ja vesistökuormitus
2. Maatalouden ja metsätalouden muutosten aiheuttama kuormitus
3. Prosessitutkimus (aineiden huuhtoutumis- ja kulkeutumisprosessit)
4. Mallien kehitys
5. Kaukokartoitusaineistojen tulkinta-argoritmien kehitys ja validointi
6. Laite- ja anturitestaus
7. Altainen ja uomien ravinnepidätys
8. Vesistöjen rehevöityminen ja sen torjunta
9. VPD- luokittelun kehittäminen

Työryhmä ehdottaa harkittavaksi alla olevaa kohdealueiden listaa ympäristöobservatorioverkon pohjaksi (Taulukko 4).



Taulukko 4. Mahdollisia ympäristöobservatorioita Suomessa.

Kohde-Alue	Observatorio-tyyppi	VPD-luokitus	Vahvuudet	Tutkimusteemat
Vihtijoen vesistö-alue	Valuma-alue	Hiidenvesi (Rr), MMM-seur Averia (Rr), VHS	Rannikkoalue, MAASÄÄ- hanke, MTT, SYKE ja IL- yhteistyö, MTT:n Vakolan tutkimusasema, Testbed- alueeseen, hydrologinen seuranta laajaa	2), 3), 4), 6) ja 7)
Eurajoen vesistö-alue	Valuma-alue	Eurajoki, Pyhäjärvi (SVh) intens Köy- liönjärvi (Mh) MMM- seur	Rannikkoalue, pitkät aikasar- jat, useita hankkeita, useiden laitosten yhteistyötä, useita seurantaohjelmia, fys.-kem. seuranta laajaa	2), 3), 4) 6) ja 7)
Kuohatti-järvi	Järvi		Metsätalouden kuormitta- ma, tutkimusta kuormituk- sen vähennyskeinoista	2) ja 7)
Valkea-Kotinen	Järvi	Iso-Valkeinen (MRh) referenssi, intens, kattava biol	YYS-kohde,LT(S)SER	2), 6), 7) ja 9)
Lappa-järvi	Järvi	Lappajärvi (Sh) in- tens	Sekä maa- että metsätalou- den kuormitusta, hydrologi- nen seuranta	1), 5),7), 8)
Hietajärvi	Valuma-alue	Hietajärvi (Vh) refe- rens, intens, kattava biol	Itäsuomalainen järvi, PKAn aiemmat tutkimukset , Iso- Hietajärvelle tulossa lämpö- tilaketju v. 2009,YYS-kohde	2), 7) ja 9)
Simojoki	Valuma-alue		Luonnontilainen, erityistie- toa maankäytön muutoksista, mallisovelluksia, pitkät havaintosarjat, mukana EU- hankkeissa	1), 2), 3), 4), 5), 7), 9)
Pallas-järvi	Järvi	Pallasjärvi	SYKEN ja IL:n yhteinen tutkimuskohde, LT(S)SER, YYS-kohde	1), 4), 6), 9)

## 8.4

## Kaukokartoitus

Operatiivisen kaukokartoituksen kehitys ja ylläpito on SYKEssä ollut huomattavalta osin projektirahoituksen varassa. Viime vuosina 2006–2008 operatiivinen toiminta on perustunut pääosin Euroopan Avaruusjärjestön (ESA) GMES hankkeiden varaan, jotka hankkeet ovat katkolla vuoden 2008 lopussa. Mikäli kaukokartoitusta halutaan hyödyntää ja kehittää pitkäjänteisesti ympäristön seurannassa, operatiivisen toiminnan rahoitus olisi saatava kestäväälle pohjalle.

Kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen ja ylläpito vaatii tiivistä ja saumatonta kansallista yhteistyötä. Ympäristöhallinnossa nykyisin käytössä olevat sovellukset on kehitetty yhteistyössä mm. Ilmatieteen laitoksen, Teknillisen Korkeakoulun, VTT:n ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Yhteistyötä tulisi edelleen kehittää mm. satelliittikuvien vastaanoton, esiprosessoinnin ja arkistoinnin osalta.

Kansallisen yhteistyön merkitys korostuu nyt, kun EU on rakentamassa eurooppalaista tietotuotantoa ja palveluverkostoa ympäristön seurannassa kaukokartoituksen, mallinnuksen ja maastohavaintojen avulla. On huolehdittava siitä, että kansallista seurantatietoa voidaan käyttää osana eurooppalaista seurantaa joko suoraan tai mahdollisimman vähin muutoksin. Suomalaisen tulisi olla mukana tarjoamassa EU:n ja ESA:n (Euroopan avaruusjärjestö) määrittelemiä seurantapalveluita (esim. marine and land core and downstream services), jotta tiedot olisivat käyttökelpoisia myös kansallisesti eikä syntyisi päällekkäistä tiedonkeruuta.

## Veden kaukokartoitus

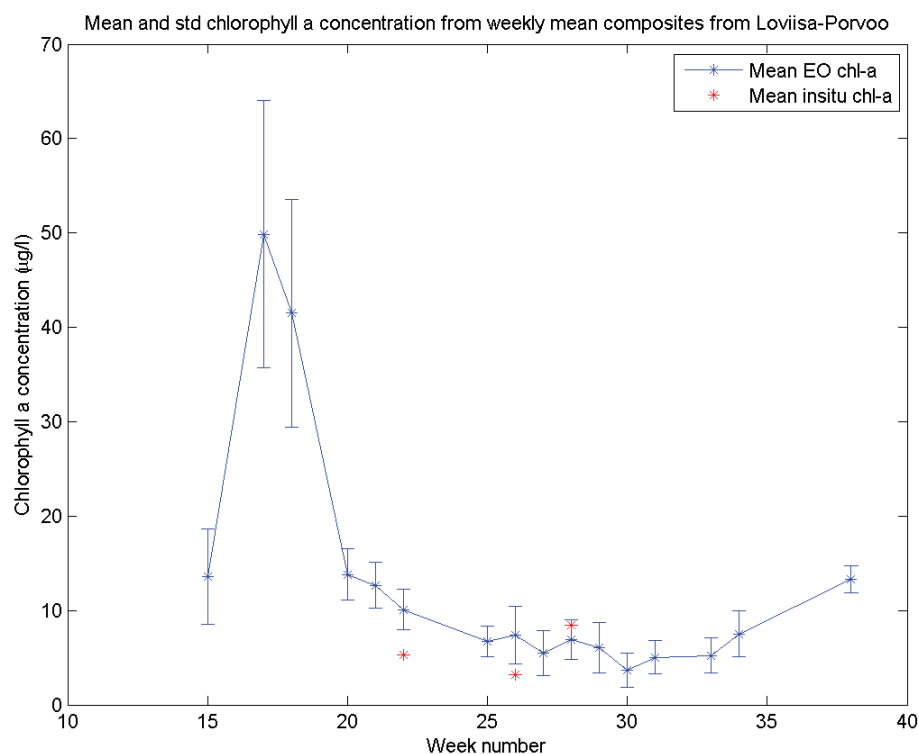
Tällä hetkellä tehdään merialueille useita kaukokartoitustuotteita, joita voitaisiin hyödyntää seurannan osana nykyistä enemmän. Yksi syy tuotteiden vajaakäyttöön on se, että loppukäyttäjillä ei ole aikaa perehtyä niiden käyttöönottoon. Kaukokartoitustuotteet ovat myös luonteeltaan erilaisia (huonompi absoluuttinen tarkkuus, hyvä alueellinen kattavuus) verrattuna perinteisiin seurantatietoihin. Käyttöönottokynnyksen alentamiseksi tulisi loppukäyttäjää opastaa ja tukea kaukokartoitustuotteiden käyttöönotossa. Samalla tulisivat tehokkaasti huomioiduksi myös loppukäyttäjien tarpeet. Lisäksi tulisi perustuotteista kehittää jatkotuotteita, jotka olisivat suoraan käyttökelpoisia loppukäyttäjille. Tällaisia ovat mm. vesimuodostumakohtaiset indeksit VPD:n tarpeisiin. Järvien kaukokartoitustuotteet eivät ole yhtä valmiita kuin merialueilla. Uutta järvien a-klorofyllituotetta testataan vuonna 2009, jonka jälkeen tehdään päätös sen käyttökelpoisuudesta.

### 8.4.1.1 Loppukäyttäjien perehdyttäminen vesikaukokartoitustuotteiden käyttöön

Loppukäyttäjien tarpeita selvitettiin laajasti SYKEN strategisessa hankkeessa 'Vedenlaadun seurannan tehostamismahdollisuudet kaukokartoitus- ja GIS-teknologian avulla: käyttäjien tarvekartoitus' toteutetussa kyselyssä (Anttila et al. 2005). Tulosten mukaan a-klorofylli ja näkösyvyys ovat eniten loppukäyttäjää kiinnostavia kaukokartoituksella arvioitavia muuttujia. Viime aikoina on loppukäyttäjien kokemuksia SYKEN nykyisistä tuotteista saatu GMES hankkeissa (MarCoast ja GSELand). Lisäksi 'Vedenlaadun kaukokartoitustuotteiden käyttöönotto rannikkoalueiden seurannassa' -työryhmässä on yhdessä loppukäyttäjien kanssa ideoitu jatkotuotteita, joita loppukäyttäjien olisi helppo ottaa käyttöön.

Vuorovaikutusta loppukäyttäjien kanssa lisätään aloittamalla tarkempi ja syvällisempi koulutus kaukokartoitustuotteiden käyttöön vuonna 2009. Perustuotteiden hyödynnettävyyttä merellä parannetaan tekemällä niistä mm. vesimuodostumakohtaisia jatkotuotteita, kuten leväkukintaindeksijä ja a-klorofyllin aikasarjoja. Näiden tuotteiden etuna on se, että niillä saadaan suoraan koko vesimuodostumaa kuvaavat tunnusluvut (mediaani, keskiarvo, minimi ja maksimi), joita on mahdotonta saada selville vakioseurantaan kuuluvien asemien tuloksista. Myös asemakohtaisia aikasarjoja tehdään täydentämään rutiiniseurannan tuloksia. Näiden perusteella analysoidaan yhdessä loppukäyttäjien kanssa, onko kaukokartoitustuotteiden arviointitarkkuus ja -tiheys riittävä rutiiniseurannan vähentämiseksi. Samalla saadaan selville loppukäyttäjien näkemykset kaukokartoituksen jatkokehittämisestä, hyödyistä ja kustannussäästöistä. Loppukäyttäjille tulisi myös varata rahoitusta tämänkaltaiseen toimintaan. Tällä varmistetaan se, että loppukäyttäjillä on riittävästi aikaa perehtyä uuteen menetelmään ja sen käyttöönottoon.

Työryhmä ehdottaa, että SYKE perustaa 'Loppukäyttäjien perehdyttäminen kaukokartoituksen vesituotteiden käyttöön' -hankkeen vuonna 2009.



Kuva 11. Loviisa-Porvoo vesimuodostuman a-klorofylli-aikasarja vuonna 2008.  
 \* = satelliittikuvan avulla laskettu alueellinen viikkokeskiarvo (+- standardipoikkeama). \* = vesimuodostumassa olevan seuranta-aseman in situ -havainto.

#### 8.4.1.2 Järvien vedenlaatu

Järvillä saadaan testikäyttöön a-klorofylli- ja kiintoainekartat Etelä-Suomesta vuoden 2008 lopulla. Nämä arviot perustuvat MERIS Lake Water Algorithms -hankkeessa Suomen oloihin kehitettyihin tulkinta-algoritmeihin (Koponen et al. 2008). MERIS instrumentilla päästään 300 m resoluutioon, joten a-klorofylli arviot saadaan riittävän suuren ulappa-alueen (yleensä noin 1 km halkaisijaltaan) omaavilta järviltä. Testituotteiden perusteella päätetään ovatko nämä sellaisenaan käyttökelpoisia seurannan apuvälineenä.

Työryhmä ehdottaa, että SYKE tekee testituotteiden käyttökelpoisuuden arvioinnin alkuvuonna 2009. Jos tuotteet osoittautuvat käyttökelpoisiksi, niitä tuotetaan kesän jälkeen koosteena vuosittain.

#### 8.4.1.3 Tarkan resoluution kuvien hyödyntäminen rannikkovesillä

A-klorofylliä saadaan lähivuosina tulkittua 300–1000 m resoluution kuvilta, joten sitä ei voida seurata sisäsaaristossa eikä kaikilla välisaariston alueilla. Karkean resoluution kuvien tulkinnan ulkopuolelle jäävien alueiden seurantaan soveltuvat 20–60 m resoluution kuvat; esimerkiksi LANDSAT (30 m resoluutio) kuvat tulevat lähiaikoina kaikkien saataville ilmaiseksi. Tarkan resoluution kuvat soveltuvat rannikkovesissä sameuden ja näkösyvyyden arviointiin ja niitä voidaan hyödyntää mm. jokivesien leviämisen seurannassa. Analysoimalla usean vuoden kuvat saadaan selville jokivesien tyypilliset vaikutusalueet ja näkösyvyysvyöhykkeet.

Työryhmä ehdottaa, SYKE hankkii tarkan resoluution satelliittikuvat koko 2000-luvun ajalta ja prosessoi ne loppukäyttäjille käyttökelpoisiksi tuotteiksi. Toteutus vuosien 2010–2011 aikana.

#### 8.4.1.4 Meristrategiadirektiivin edellyttämiin seurantoihin valmistautuminen

Meristrategiadirektiivi (MSD, 2008/56/EY) edellyttää alustavaa arviota vesien ympäristön senhetkisestä tilasta sekä ympäristötavoitteiden ja niihin liittyvien indikaattorien asettamista heinäkuuhun 2012 mennessä. Seurantaohjelma on laadittava ja pantava täytäntöön heinäkuuhun 2014 mennessä. MSD-alue ulottuu talousvyöhykkeen ulkoreunalle asti. Kaukokartoituksella saadaan kattavasti ja kustannustehokkaasti tietoa MSD:n vuoksi lisäseuranta edellyttäviltä alueita. MSD:ssä mainituista, seuranta edellyttävistä muuttujista saadaan kaukokartoituksella selville mm. sinilevä- ja kevätkukinnan laajuus ja voimakkuus sekä kumpuaminen.

Työryhmä ehdottaa että kaukokartoituksen mahdollisuudet otetaan huomioon MSD:n valmistelutyöryhmissä ja kaukokartoitusryhmä valmistelee sopivia tuotteita MSD:n valmistelutyöryhmän arvioitavaksi

#### 8.4.1.5 Laitehankinnat

Tulkintamenetelmien parantaminen ja satelliittiaineistojen laajempi käyttö ympäristöseurannassa edellyttävät veden ja maan pinnalta mitattuja reflektanssitietoja. Reflektanssin määrittämiseen tarvitaan jatkuvatoimisia radianssi/irradianssimittareita, jotka voidaan asentaa maastoon. Vesillä spektrometrit voidaan asentaa olemassa oleville vedenlaadun mittauslaitteille. Mittareiden arvioitu hankintahinta on 30 000 euroa.

Valvontalentokoneessa on useita kaukokartoitusinstrumentteja pääasiassa öljyn havainnointiin. Lisäämällä spektrometri näihin laitteisiin saadaan arvioitua vedenlaatua lennetyltä linjalta. Lentokonespektrometrimittausten avulla voidaan myös tarkentaa satelliittikuvien tulkintaa.

Työryhmä ehdottaa, että kolme spektrometriä hankitaan vuosien 2010–2011 aikana. Lentokonespektrometrin hankintaa arvioidaan valvontalentokoneen laitteiden uudistamisen yhteydessä.

### 8.4.2

#### Lumen kaukokartoitus

Lumikarttojen tarkkuuden tutkiminen/parantaminen sekä uusien satelliittien tuotetaman datan käyttöönotto vaativat jatkuvaa tutkimusta, jotta seurantatuloksille voidaan taata jatkuvuus ja korkea laatu jatkokäyttöä ajatellen. Tärkein lumitietojen käyttökohde on SYKEN Vesistömalli, johon tiedot syötetään automaattisesti. Lumipeitteen kaukokartoitus on perustunut optisten satelliittikuvien käyttöön. Näillä kuvilla pilvisuus estää kohteen näkymisen. Tällöin pitkinä pilvisinä kausina oleelliset muutokset lumen sulannassa saattavat jäädä havaitsematta. Siksi mikroaaltotutkakuvien käyttöä on aiheellista laajentaa nykyisestä. Tähän mennessä on hankittu viisi Pohjois-Suomen peittämää kuvaa vuodessa, mutta katkeamattoman tiedon turvaaminen edellyttäisi 8-9 kuvaa kevättä kohti. Näin esimerkiksi tulvahuiput voitaisiin paremmin havaita pilvisyydestä riippumatta. Mikroaaltokaukokartoitukseen on GEOssa hyvät valmiudet, jotka perustuvat yhteistyöhön TKK:n ja Ilmatieteen laitoksen kanssa.

Työryhmä ehdottaa, että SYKE laajentaa mikroaaltotutkakuvien käyttöä lumen sulamisen seurannassa. Aineistojen hankintaan varataan resurssit (n. 10 000 € vuodessa).

### 8.4.3

#### Maanpeitteen kaukokartoitus

Eurooppalainen CORINE2006-hanke päättyy 2009 aikana. Hankkeen lähtöaineistojen (mm. satelliittikuvat) ja eurooppalaisen tiedon ohessa jo tuotettujen maanpeitetietokantojen avulla on mahdollista jalostaa tarkempaa tietoa maankäytön ja maanpeitteen muutoksista myös kansalliseen/ympäristöhallinnon käyttöön.

Työryhmä ehdottaa, että vuonna 2009 aloitetaan hanke, jossa mm. CORINE2006 aineistojen avulla tuotetaan maanpeitemuutostietokanta kansalliseen käyttöön. Hankkeen vaatimat resurssit määritetään eurooppalaisen tiedon tuotannossa saatujen kokemusten ja loppukäyttäjien tietotarpeiden perusteella.

#### 8.4.4

### Maastohavainnoinnin, mallinnuksen ja kaukokartoituksen yhteiskäytön edistäminen seurannassa

Joensuun yliopiston Mekrijärven tutkimusaseman Euregio Karelia naapurisuusohjelmasta (Interreg III A Karjala) rahoitetussa HOTSPOT-kehittämishankkeessa selvitetiin arvokkaiden elinympäristöjen tunnistamista korkearesoluutioisilta satelliittikuvilta. Hankkeen edetessä painopistettä siirrettiin satelliittikuvilta miehittämättömän lentokoneen (Cropcam, UAV-tekniikka) ja siihen yhdistetyn digikameran (paikkatietoympäristössä) käyttöön. Menetelmän tarkempi kuvaus on esitetty osoitteessa: [http://www.joensuu.fi/mekri/valikko/index\\_3.html](http://www.joensuu.fi/mekri/valikko/index_3.html).

Hankkeessa oli käytettävissä seuraavia, resoluutiotasoltaan erilaisia kaukokartoituskuvia:

MERIS, MODIS:	resoluutio 150–250 m
Landsat, ASTER, IRS:	resoluutio 6–15–30 m
QuickBird, IKONOS:	resoluutio 0,6–2 m
Aerial images:	resoluutio 10–25 cm

Satelliitti- ja ilmakuvamateriaalien tulkinnessa käytettiin apuna tarkkoja kenttätutkimuksia kuvattavilta alueilta (koeruuduilta määritettiin lajilleen mm. putkilokasvit, sammalet ja jäkälät).

Kenttäaineistoa oli kuvatulkinna apuna Suomen puoleisilta alueilta Pohjois-Karjalasta Lieksasta (Teerisuo – Lososuo ja Ruunaa) ja Ilomantsista (Palokangas ja Mekrijärven tutkimusaseman ympäristö) sekä Venäjän Karjalan tasavallan puolelta Suojärven piiristä (Tolvajärvi, Kuolismaa ja Hiisjärvi) ja Mujejärven piiristä (Tuulijärven alue ja Karhukolmion alue).

Luonnonsuojelullisesti arvokkaiden elinympäristöjen tunnistamista ja kartoitusta kaukokartoitusmenetelmillä testattiin siten, että Landsat ETM kuvia verrattiin 15 m<sup>2</sup>:n maastossa oleviin koealoihin ja QuickBird ja UAV -kuvia yhden neliömetrin koealoihin.

Hankkeen loppuraportointi on vielä kesken, mutta alustavat tulokset osoittavat, että UAV-menetelmä tarjoaa aikaisempia menetelmiä tarkemman, helpommin käytettävän ja kustannuksiltaan halvemman menetelmän kartoitettaessa luonnonsuojelullisesti arvokkaita metsiä ja muita elinympäristöjä. Eri vuosien paikkatietoon kiinnitettyjä aineistoja samalta alueelta voidaan verrata esim. biodiversiteetin seurannassa muutosten arvioimiseksi.

Jatkossa UAV-menetelmää on mahdollista kehittää/kohdentaa erityyppisten elinympäristöjen tunnistamiseen. Seurannan ohella se tarjoaa mahdollisuuksia ympäristöhallinnossa luonnonsuojelun ohella myös mm. maankäytön muutosten tunnistamiseen ja valvontatyöhön.

## Mallien käyttö

### Järvien GIS-pohjainen leväkukintamalli

Järvien levätilanteen viikkoennuste (kukinnan todennäköisyys) eri järvityypeille ja maantieteellisille vyöhykkeille voidaan tehdä GIS-pohjaisella, tilastollisella mallilla, joka perustuu tätä varten kerättävään reaaliaikaiseen tietokantaan levien kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Sellaisia ovat valuma-alueen maankäyttö ja maaperä, ravinnekuormitus, veden lämpötila, valunta, vedenlaatu, leväbiomassa, tuuli, ilmanlämpötila ja pilvisuus. Olemassa olevat havainnot mallin tilastolliseen sovittamiseen saadaan ympäristöhallinnon tietokannoista, satelliittikuvista, vesistömallijärjestelmästä, automaattisista mittausasemista ja sääennusteista. Ennustetilanteessa uudet havainnot syötetään järjestelmään käyttäen tilastomatemattisia assimilaatiotekniikoita. Puuttuvia havaintoja voidaan ekstrapoloida mm. aikasarjamallituksesta tutuilla menetelmillä. Nettiin tulostetaan esim. viikoittain kartta kukinnan todennäköisyyksistä alueittain ja järvityypeittäin

Ennusteiden tekemisessä hyödynnetään ympäristöhallinnossa olemassa olevia malleja kuten VEPS, VIHTA, LakeState, Catchload ja vesistömallijärjestelmä, kaukokartoitusmalleja, matemaattisia assimilaatiotekniikoita reaaliaikaisen tiedon syöttämiseksi ennustejärjestelmään sekä Bayes-tilastomatemattisia menetelmiä ennusteiden päivittämiseen.

Hankkeen eteenpäinviemiseksi perustetaan vuonna 2009 uusi projekti. Siinä otetaan huomioon synergiaedut olemassa olevien tutkimus- ja kehityshankkeiden kanssa.

## 9 Pilottihanke- ja menetelmien kehittämishanke-ehdotuksia

Tässä luvussa esitetään sellaisia hankkeita, jotka tarvitsevat lisäresursseja. Näillä tarkoitetaan työtehtävien merkittäviä uudelleen järjestelyjä ja/tai ulkopuolista rahoitusta.

9.1

### **Kaukokartoitusmenetelmät kokonaisuutena ympäristöhallinnon seurantojen kehittämisessä**

Tässä raportissa on esitelty useita erilaisia jo käytössä, kehitteillä tai suunnitteilla olevia kaukokartoitushankkeita tai -menetelmiä. Jatkossa kaukokartoitusmenetelmien roolia kokonaisuutena tulisikin tarkastella laajemmin ympäristöhallinnossa: mikä osa ympäristön tilan seurannasta voitaisiin toteuttaa erilaisten kaukokartoitusmenetelmien (+paikkatieto ja kuvatulkinta) avulla, mikä vaatii kentällä tehtävää asiantuntija- tai näytteenottotyötä. Tähän tarkasteluun liittyy olennaisesti kysymys siitä, mihin kysymyksiin seurantatiedolla halutaan vastauksia, kuinka yksityiskohtaista tietoa tarvitaan seurannan eri sektoreilla (pintavedet merialue, maankäyttö, biodiversiteetti, luonnonvarat, rakennettu ympäristö jne.) ja seurannan eri tasoilla (EU, valtakunnallinen, alueellinen, yksittäiset kohteet).

Työryhmä ehdottaa, että ympäristöhallinto selvittää, miltä osin seurannan eri sektoreilla on mahdollista luoda järjestelmä, jossa kokonaisvaltaisesti hyödynnetään kaukokartoitusmenetelmiä (satelliittikuvat eri resoluutiotasoilla) laajojen alueiden seurannassa, miltä osin tarvitaan tarkempia kaukokartoitusmenetelmiä (ilmakuvaus lentokoneesta tai UAV-tekniikkaa hyödyntäen) ja mikä osa seurantatyöstä edellyttää perinteistä asiantuntijatyötä kentällä (intensiivikohteet). Viimeksi mainittu osa-alue toimisi samalla kahden edellisen seurannan ”kalibrointiaineistona”. Käytännössä tämä tarkoittaisi myös arviointityötä siitä, miten eri sektoriseurannassa samantyyppisten kohteiden osalta seuranta toteutetaan: pieni osa intensiivisessä seurannassa ja pääosaa seurataan ”kevyemmin” kaukokartoitusmenetelmillä.

9.2

### **Huuhtouma- ja järvimallien kytkeminen**

Yksi keskeinen mallisovelluksen toimivuuteen ja tarkkuuteen vaikuttava tekijä on lähtötietojen ja simulointiajanjakson aikaisten tietojen oikeellisuus. Erityisen tärkeä ja usein kaikkein vaikeimmin määritettävä tieto on vesistöön tuleva hajakuormitus. Koko valtakunnan alueelle sovelletun vesistömallijärjestelmän avulla voidaan jo nyt arvioida varsin tarkasti vesistöön tulevan veden määrä. Tämä tieto yhdistettynä tulevan veden pitoisuustietoon antaisi arvion vesistöön tulevasta kuormituksesta. Tuon pitoisuuden arvioinnissa voisi käyttää apuna tässä raportissa esitettyjä huuh-

toumamalleja. Tähän huuhtouma-vesistömalliketjuun kytkettäisiin vielä yksinkertainen järvimalli (LakeState), jonka avulla laskettaisiin järven vedenlaatua. Jos tällaisen kokonaisuuden avulla onnistuttaisiin ennustamaan hyvin järven vedenlaatua, voitaisiin sitä käyttää apuna vesienhoitotyössä arvioitaessa valuma-alueella tehtyjen kuormitusvähennystoimenpiteiden vaikutuksia alapuoliseen vesistöön.

Työryhmä ehdottaa, että huuhtouma- ja järvimallien kytkemistä tutkitaan erillisessä TOn tutkimushankkeessa.

### 9.3

## **Seurannan mallipohjaiset ja tilastolliset suunnittelumenetelmät (SeMaTiSu)**

Työryhmä ehdottaa, että SYKE perustaa laajan yhteishankkeen, jossa tutkitaan monipuolisesti mallien ja tilastollisten suunnittelumenetelmien käyttöä ympäristöseurantojen tehostamisessa. Tässä hankkeessa

- Lisätään ympäristön hoidon ja käytön suunnittelussa ja päätöksenteossa tarvittavan seurantatiedon tietosisältöä ja seurannan kustannustehokkuutta sekä tarkennetaan vaikutusennusteita ja tehostetaan hoitotoimia.
- Parannetaan seurannan, tutkimuksen ja hoitotoimen vuorovaikutusta ja tiedonkulkua sekä ympäristöpolitiikan kokonaiskustannustehokkuutta.
- Havaintopisteiden ja -ajankohtien sekä niiden lukumäärän valitaan mallipohjaisten optimaalisuus-kriteereiden ja faktori-asetelman perusteella.
- Tarkennetaan malliennusteita, hoitotoimenpiteitä ja seurantaohjelmia adaptiivisesti käyttäen tilastomatemattisia laskentamenetelmiä.
- Julkaistaan tulokset ja jaetaan menetelmät loppukäyttäjille internet-pohjaisten web-sovellusten avulla.
- Valitaan muutama sovellusalue ympäristönhoidon ja tutkimuksen eri alueilta synergiaedut ympäristöobservatorioiden tai olemassa olevien seuranta- ja hoito-ohjelmien kanssa huomioiden.
- Pyydetään seuranta-, tutkimus- ja hoito-organisaatioiden edustajat keskustelufoorumiin, joka kartoittaa keskeiset tietotarpeet ja tarkkuuskriteerit sekä vaikeimmat pullonkaulat ja asettaa konkreettiset tulostavoitteet.
- Valitaan mallit ja tilastolliset menetelmät seurantaohjelmien optimointiin, vaikutusennusteiden tekemiseen, hoidon suunnitteluun.
- Mitoitetaan ja toteutetaan seurantaohjelmat käyttäen edellä mainittuja menetelmiä ja kriteereitä ja tehdään vaikutusennusteet, hoitosuunnitelmat.
- Verrataan seurantaohjelmien ja hoitohankkeiden kustannuksia ja arvioidaan niiden kokonaistehokkuuden kehitys, kun on saatu uutta seurantatietoa.
- Arvioidaan saadaanko seurantaohjelman jatkamisella lisätietoa, jonka avulla seuranta- ja hoitohankkeiden kokonaistehokkuus vielä paranisi vai ovatko olosuhteet muuttuneet niin paljon että uusi seurantakierros on muutenkin tarpeen.
- Projektiin pyritään rekrytoimaan sektoritutkimuslaitosten seuranta-, tutkimus- ja hoitotoiminnasta vastaavat sekä kansallisia ja kansainvälisiä tutkimuslaitoksia ja yliopistoja.



## Hajakuormitus- ja järvitaseiden havaintoverkot (Hajku)

Hajakuormituksen arviointi on erityisen epätarkkaa ja rajoittaa merkittävästi järviennusteiden luotettavuutta. Tämän vuoksi tulisi edellä esitettyjen ympäristöobservatorioiden kohdealueita hyödyntää niin, että niillä kerätyn aineiston perusteella voidaan estimoida ominaiskuormitusluvut erilaisille maankäyttömuodoille. Lisäksi ravinteiden järvipidättymisen ennustamiseen tarvitaan ravinne- ja vesitasetiedot valtakunnallisesta kattavasta järvijoukosta, erilaisen pintakuorman ja hydraulisen kuorman omaavista järvistä, jotka muodostaisivat oman järvitaseiden (ravinne- ja vesitase) havaintoverkkonsa. Kummassakin havaintoverkossa voitaisiin määrää väleihin vaihtaa havaintopaikkoja uusiin valuma-alueisiin ja järviin aineiston alueellisen edustavuuden parantamiseksi.

Työryhmä ehdottaa, että hajakuormituksen ja järvitaseiden seuranta varten perustetaan oma hankkeensa.

## Lumipeitteen vesiarvon kuvauksen parantaminen vesistömallissa

Lumipeitteen vesiarvo on hydrologisen seurannan kannalta tärkein lumimuuttuja. Tällä hetkellä sen arvoja mitataan ainoastaan lumilinjamittauksin kerran kuussa. Vesistömallin odotetaan hyötyvän merkittävästi vesiarvon kaukokartoituksesta, varsinkin kun käytettävä satelliitti-instrumentti tuottaa tiedon pilvisyydestä riippumatta päivittäin. Näin voidaan kartoittaa maksimivesiarvo ennen sulamisen alkua. Sen oikeellisuus vaikuttaa mallinnuksen laatuun koko sulamiskauden ajan. GEOssa on vuonna 2008 otettu koekäyttöön menetelmä vesiarvon kartoittamiseksi satelliittimikroaaltoradiometrikuvilta. Näitä kuvia voi hakea ilmaiseksi NASAn palvelimelta kahden päivän viiveellä. Saman päivän kuviakin on mahdollista saada, mutta niiden prosessoimiseksi ei GEOssa vielä ole menetelmää. Tämä on kuitenkin mahdollista toteuttaa.

Työryhmä ehdottaa, että kaukokartoitukseen perustuvaa lumen vesiarvon laskentamenetelmää tutkitaan SYKEssä lisää ja kehitetään sen käyttöönottoa Vesistömallissa.

## Maanpeitteen kaukokartoitus

Maankäyttö- ja maanpeitetietoa tuotetaan Suomessa useissa eri organisaatioissa. Aineistojen tuotantoon liittyvä yhteistyö on usein projektiluontoista (esim. SLICES ja CORINE -projektit) ja tällöin aineistojen yhteensopivuutta ja käytettävyyttä ei ole mahdollista varmistaa. SLICES-projektin osana oli tarkoitus tuottaa maankäyttötiedon lisäksi tiedot Suomen maanpeitteestä, maankäytön rajoituksista ja maaperästä. Jälkimmäisiä tietokantoja ei ole toteutettu niiden ilmeisestä tarpeesta huolimatta. Toteuttaminen vaatii eri sektoriviranomaisten (GTK, Metla, VRK, Mavi, SYKE ja MML) yhteistyössä toteutettavaa pysyvää ohjelmaa, jossa otetaan huomioon myös EU:n tietotarpeet (mm. EEA, EUROSTAT). Tavoitteena tulee olla myös aineiston ajantasaisuuden ja muutosseurannan parantaminen.

EU:n tavoitteena on saada maanpeitteen muutokset analysoitua ja käyttöön noin 1 vuoden sisällä satelliittikuvien vastaanotosta, mikä aiheuttaa suuren haasteen myös

kansallisille ohjelmille ja yhteistyölle. Vaihtoehtona on se, että Eurooppaan rakennetaan uusi, EU:n rahoittama tiedonkeruu kansallisten ohjelmien lisäksi. Tällöin tietosisältö määräytyy pääasiassa komission tarpeista lähtien ja uusien aineistojen käyttökelpoisuus kansallisissa sovelluksissa on epävarmaa.

Työryhmä ehdottaa, että SLICES hanketta jatketaan ja samalla laajennetaan se kansalliseksi yhteistyöohjelmaksi. Siinä tuotetaan ja kerätään yhteen ajantasaista tietoa maankäytön lisäksi Suomen maanpeitteestä, rajoitusalueista ja maaperästä. Tiedonkeruu synkronoidaan yhteen eurooppalaisten ohjelmien kanssa.

9.7

## **Terrestrisen biodiversiteetin ja suojelualueiden ekologisen tilan seurantamenetelmien kehittämishanke**

Tarve biologisen seurannan lisäämiseen on merkittävä. Muuttuvan ilmaston vaikutusten arviointi, Euroopan Unionin luonto- ja lintudirektiivin edellyttämät seurannat, sekä biodiversiteetin lisäämiseksi tehdyt kunnostustoimenpiteet suojelualueilla (tai niiden ulkopuolella) edellyttävät biologista seuranta.

Kaukokartoitusmenetelmillä voidaan tuottaa biodiversiteetin seurannassa tietoa laajoilta alueilta nopeasti. Yhdenmukaisilla menetelmillä tuotetun seurantatiedon vertailtavuus paranee ja arvioita biodiversiteetin tilasta voidaan tehdä laajoilta aluekokonaisuuksilta. Kaukokartoitus ei korvaa kokonaan maastobiologien kenttätöitä, mutta sillä voidaan vähentää maastotöitä ja kohdentaa niitä tarkemmin. Esim. ojitettujen soiden ennallistamisen vaikutusten seurannassa samantyyppisiä kohteita voitaisiin niputtaa alueittain seurannassa. Osa kohteista olisi edelleen intensiiviseurannassa ja osa kaukokartoituksen piirissä olevassa kevyemmässä seurannassa.

Kaukokartoitusmenetelmien kehittäminen osana biodiversiteetin seurantaan liittyy keskeisesti myös luonnonvarojen kestävään käyttöön, yhteiskunnan kannalta tärkeiden ekosysteemipalvelujen säilyttämiseen.

HOTSPOT - hankkeessa (Joensuun yliopisto/Mekrijärven tutkimusasema, PKA ja SYKE-Joensuu) kehitetty menetelmä, jossa hyödynnetään UAV-tekniikkaa (ks. tarkemmin luku xx.) kartoitustutkimuksissa ja ympäristön tilan seurannassa tarjoaa hyvän pohjan biodiversiteetin seurantojen kehittämiseen kaukokartoitusmenetelmillä. Satelliittikuvia tarkempi resoluutio, kuvauksen kytkeminen paikkatietoon ja kuvatulkinnan kehittäminen mahdollistaisi kustannustehokkaan seuranta-aineiston tuottamisen ja tulosten nopean saatavuuden viranomaisten ja kansalaisten käyttöön.

Kehittämishankkeessa voisi olla mukana mm. seuraavia biodiversiteetin seurannan kannalta keskeisiä aihekokonaisuuksia:

- Arvokkaiden pienialaisten terrestristen biotooppien (erityisesti metsäluonto) tila ja muutosten seuranta (palvelee myös luonnonvarojen käytön suunnittelua ja valvontaa, mm. metsälakikohteet).
- Rantaluonto, tila ja muutokset (palvelee myös maankäytön suunnittelua ja valvontaa)
- Suoluonnon tila (muutokset, soiden mosaikkimaisuus ja rakenteelliset tekijät) ja siihen vaikuttavien tekijöiden (esim. suojelualan ulkopuolisten hydrologisten muutosten) vaikutusten seuranta sekä ennallistettujen soiden (tällä hetkellä noin 15 000 ha) palautumisprosessien seuranta
- Perinnebiotooppien tilan seuranta alueille, joissa on laajoja perinnebiotooppikonaisuuksia (palvelee myös kulttuurihistoriallisesti arvokkaiden maisema-alueiden, esim. valtakunnallisesti arvokkaiden maisema-alueiden tilan seuranta)
- Mahdollisuudet käyttää UAV-tekniikkaa yksittäisten eliölajien seurannassa (esim. selkävesilinnusto)

## Vesikasvien ekologisen tilan seurantamenetelmien kehittämishanke

HOTSPOT-hankkeessa (Joensuun yliopisto/Mekrijärven tutkimusasema, PKA ja SYKE-Joensuu) kehitetty menetelmä (UAV-tekniikka) on antanut hyviä tuloksia biodiversiteetin kartoituksessa. Miehittämättömällä pienlentokoneella, johon on kiinnitetty digikamera (paikkatietoympäristössä), lennetään matalalla kartoitettavien kohteiden yllä. Parhaimmillaan lentokorkeudesta riippuen erotuskyky voi olla 1 cm<sup>2</sup>.

UAV-tekniikasta on mahdollista kehittää nykyisiä VHS:n vesikasviseurantoja täydentävä, alueellisesti kattavaa informaatiota tuottava seurantamenetelmä ja pitkässä juoksussa myös taloudellisia säästöjä tuova menetelmä. Menetelmä soveltuu erityisesti ilmaversoisten ja kulluslehtisten kasviyhteisöjen tilan seurantaan, kirkasvetisissä järvissä mahdollisesti myös matalien rantojen uposlehtisten ja pohjaruusukekasvien tilan seurantaan. Menetelmä ei korvaa nykyistä päävyöhykelinja-seurantaa, koska kaikkia lajeja ei UAV-tekniikalla saada inventoitua. Menetelmät voitaisiin yhdistetä siten, että esim. kertaalleen päävyöhykelinjamenetelmällä inventoitua vesimuodostumaa seurataan jatkossa UAV-menetelmällä. Päävyöhykelinjamenetelmä toistetaan vain, jos kevyemmässä UAV-seurannassa havaitaan sellaisia muutoksia, jotka edellyttävät tarkkaa informaatiota kaikista vesikasviyhteisön elomuodoista.

UAV:n tekniikan rinnalla hankkeessa tulisi selvittää, ainakin kirkasvetisillä järvillä (mm. monet Natura 2000 -ohjelman järvet) vedenalaisten digitaalisten videokameroiden (varustettuna GPS:llä ja syvyysanturilla) käyttöä kvantitatiivisen seuranta-aineiston tuottamiseksi. Yhdistämällä UAV-tekniikan ja vedenalaisten kartoitusmenetelmien käyttö, voitaisiin esim. suurien kirkasvetisten järvien vesikasviseurantaa tehdä nykyistä taloudellisemmin.

Menetelmän/menetelmien käyttöönotto edellyttää kuitenkin niiden testaamista erityyppisillä vesimuodostumilla ja tarkempaa arviota saavutettavasta informaation tasosta.

## Molekyylibiologiaa sisältävät hankkeet

Syanobakteeri- ja levätoksiinien osoittaminen entsyymaattisin, immunologisin ja nukleiinihappoihin perustuvien menetelmien avulla on edistynyt viime vuosina. Menetelmät ovat jo niin valmiita, että niitä voitaisiin ottaa käyttöön seurannassa ja valvonnassa. Tarvitaan pilottihanke levätoksiinimenetelmien valinnasta ja käytöstä uima- ja juomaveden raakavesien seurannassa.

Molekyylibiologian menetelmiä kasviplanktonin määrittämisessä on tarkastellut FT Marja Tirola Jyväskylän yliopistossa. Menetelmät vaatisivat vielä runsaasti tutkimusta ennen kuin käytössä olisi seurantaan suoraan soveltuva menetelmä.

## Hahmontunnistusmenetelmät eliöryhmien määrittämisessä

Työläiden mikroskopointitunnistamisen rinnalle ja sijalle tarvitaan eliöiden piirteisiin ja ominaisuuksiin perustuvia koneellisia menetelmiä. Tätä työtä ollaan parhaillaan tekemässä pohjaeläinten tunnistamiseksi SYKEn Jyväskylän yksikössä (FT Kristian Meissner). On tärkeää, että laaja yhteistyöhanke: *CARE for Benthos*, jossa Suomen

ympäristökeskuksen lisäksi ovat mukana Jyväskylän yliopisto, Tilastotieteen laitos, Tietotekniikan laitos ja useita ulkomaisia yliopistoja, saa merkittävän rahoituksen.

9.11

## **Logistiikan optimointi ja toiminnan simulointi seurannan kehittämisessä**

Työryhmä ehdottaa, että uusien menetelmien kustannussäästöjen arvioimiseksi ja soveltamiseksi perustetaan laaja logistiikan ja toiminnan optimoinnin hanke. Siinä tutkitaan perinteisiin manuaalisiin menetelmiin perustuvan seurannan kaikkien vaiheiden logistiikka ja erityisesti laboratorionäytteiden logistiikka. Automatiikan hyödyntäminen niiden rinnalla tuo haasteita ja sen sovittaminen kenttätoimintaan vaatii selvitystä. Tutkimuksessa voidaan myös selvittää ja suunnitella aluehallinnon uudistamisen vaikutukset ympäristöseurannan logistiikkaan. Tutkimuksen voisi toteuttaa Jyväskylän yliopisto, jolla on alan paras asiantuntemus Suomessa.

# 10 Vaihtoehtoja seurannan hallinnolliseksi järjestämiseksi niin, että uudet menetelmät tulevat käyttöön

Seuranta on nykyisellään hajautunut useaan eri osaan ympäristöhallinnossa. Hydrologian yksikössä hoidetaan suurin osa hydrologisesta seurannasta. Tutkimusosastolla tehdään lisäksi pienten valuma-alueiden seuranta. Vedenlaatua seurataan virallisen seurantaohjelman lisäksi sekä SYKEN että aluekeskusten omissa projekteissa. Toiminnan koordinointi on välillä vaikeaa ja hankinnoissa on päällekkäisyyksiä. Lisäksi laitteita hankitaan projektirahoituksella eikä niiden pidemmän aikavälin käyttöä välttämättä etukäteen tarpeeksi mietitä. Tästä aiheutuu turhia kustannuksia. Seurannan uudistamistyö uusien menetelmien käyttöönoton osalta vaatii sekä rahallisia että inhimillisiä resursseja SYKEN sisällä. Lisäksi toimintaympäristön muutokset (tutkimuslaitosten syventyvä yhteistyö, kansainväliset vaatimukset, jne.) lisäävät tarvetta nopeaan ja systemaattiseen seurantojen uudelleen arviointiin ja reagointiin tarpeen niin vaatiessa. Työryhmä katsoo, että SYKEN vastuulla olevien seurantojen tehokasta järjestämistä varten on jatkossa syytä pohtia ainakin seuraavia neljää vaihtoehtoa.

## **Seurantayksikkö**

SYKEen perustetaan uusi toiminnallinen yksikkö, johon kootaan kaikki seurannat (hydrologia, vedenlaatu, haitalliset aineet) sekä osin myös tietohallintoa (ympäristötietokannat). Yksikön henkilöstä keskittyy kokonaan seurantaan. Laitteistomäärittelyt, kilpailutukset, laitehankinnat, tiedonsiirto, tietokantoihin vienti ja tietohallinto hoidetaan keskitetysti. Yksikkö hakee ja saa tarvittavat resurssit uusien menetelmien ja laitteiden soveltamiseksi ja hankkimiseksi. Yksikkö toimii tiiviissä yhteistyössä SYKEN ja aluehallinnon seurannoista vastaavien henkilöiden kanssa. Uusia hankintoja pohdittaessa pystytään paremmin hyödyntämään olemassa olevaa laitekantaa.

## **Seurantaryhmä**

Eri seurannat pysyvät pääosin nykyisissä toiminnallisissa yksiköissä SYKEN sisällä. Niiden välistä koordinaatioita parannetaan perustamalla pääjohtajan nimeämä seuranta-asiantuntijoista koostuva 5-10 hengen ryhmä eli seurantaryhmä. Se sisältää kaikkien seurantojen vastuutahot. Ryhmä tekee esitykset osastoille tarvittavista resursseista uusien menetelmien ja laitteiden soveltamiseksi ja hankkimiseksi. Ryhmässä on koordinaattori, joka (oman päätyönsä) ohella vastaa seurantojen kehittämisestä. Organisaatio ei juuri muutu, mutta seurantojen koordinointi paranee, päällekkäisyydet vähenevät ja sitä kautta syntyy myös säästöjä.

## **Seurantakoordinaattori**

Eri seurannat pysyvät pääosin nykyisissä toiminnallisissa yksiköissä SYKEN sisällä. Pääjohtajan nimeämän päätoimisen koordinaattorin vastuulla on, miten seurantojen välistä koordinaatioita ja synergioita parannetaan eri tavoin. Hän tekee esitykset osastoille tarvittavista resursseista uusien menetelmien ja laitteiden soveltamiseksi ja

hankkimiseksi. Seurantakoordinaattori toimii yhdyshenkilönä SYKEN, aluehallinnon ja muiden organisaatioiden välillä.

#### **SEUR\_UM2 eli nykyisen ryhmän toiminnan jatkaminen**

Nykyinen työryhmä jatkaa uusien menetelmien käyttöönottoa seuraavana ja kehitettävänä ryhmänä. Se tekee esitykset osastoille tarvittavista resursseista uusien menetelmien ja laitteiden soveltamiseksi ja hankkimiseksi. Toimintaan tarvittavat resurssit saadaan toiminnallisten yksikköjen sisältä. Tämä vaihtoehto tuottanee selkeästi edellä olevia vaihtoehtoja heikomman tuloksen, mikäli ryhmältä odotetaan todellista vastuuta seurannan uudistamistyön toteuttamiseksi.

# 11 Yhteenveto

SYKE asettama projektiryhmä selvitti Ympäristön seurannan automatisointia ja uusia menetelmiä (erityisesti kaukokartoitus ja mallinnus). Ryhmä kokoontui 7 kertaa ja kuunteli yhteensä 11 alustusta aihepiireihin liittyen. Lisäksi ryhmä piti työpajan syyskuussa 2008 Tampereen Teiskossa.

Raportissa käsitellään monipuolisesti automaattimittausten, kaukokartoituksen ja mallien sovelluksien nykytilaa ja mahdollisuuksia ympäristön seurantoihin liittyen.

Työryhmä esittää kahdenlaisia hankkeita ja järjestelyjä. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat sellaiset hankkeet, jota voidaan hoitaa SYKEN sisäisillä resurssijärjestelyillä ja YM:n budjettivarojen kohdentamisilla. Tällaisia hankkeita työryhmä ehdottaa yhteensä 20 kpl. Toiseen luokkaan kuluvat sellaiset hankkeet, joita varten tarvitaan merkittävää ulkopuolista rahoitusta tai yhteistyötä muiden laitosten kanssa. Tällaisia ehdotuksia työryhmä esittää yhteensä 11 kpl.

Lisäksi työryhmä käsitteli neljää vaihtoehtoista tapaa organisoida SYKEN vastuulla olevat seurannat niin, että myös uusien menetelmien soveltaminen käytäntöön tulee tehokkaasti hoidettua.

Työryhmä ehdottaa, että pitkällä tähtäimellä (2008–2020) vesistöjen (laatu-)seurantojen painopistettä siirrettäisiin nykyisistä perinteisistä menetelmistä automatisoinnin kautta kuormitusmalleihin seuraavan kehityskaaren mukaisesti:

1. Perinteinen menetelmä
  - nykytilanne
  - aivan liian harva näytteenottiheys useimpiin tarpeisiin
  - työvoimavaltaista
2. Automaattianturit + tiheä näytteenotto
  - hankitaan automaattiasemia ja -antureita
  - kalibroidaan anturit kohdevesistöä varten tihennetyllä näytteenotolla
3. Harva näytteenotto + automaattianturit + mallien kalibrointi ja käyttöönotto
  - kalibroidut automaattianturit tuottavat jatkuvaa tietoa
  - harvalla näytteenotolla pidetään antureiden kalibrointia yllä
  - kehitetään malleja pilottialueilla käyttämällä automaattiasemien tuottamaa tiheää, jatkuvaa, reaaliaikaista, kalibroitua dataa
4. Harva näytteenotto + mallit testikäytössä + intensiivijaksoja tarvittaessa antureilla
  - testataan ja kehitetään malleja edelleen pilottialueilla
  - laajennetaan mallien käyttöalueita tekemällä intensiivimittauksia automaattiantureilla
  - antureita kalibroidaan edelleen harvalla näytteenotolla
5. Mallien laajamittainen ja nykyistä paljon tarkempi käyttö
  - laajennetaan mallien käyttöaluetta koko maan kattavaksi

- käytetään hyväksi kattavia maankäyttötietoja, kaukokartoitustietoa sekä valmisteilla olevaa koko maan laserkeilattua korkeusmallia
- malleja kehitetään edelleen intensiivikampanjoilla
- perinteistä manuaalista seurantaan jatketaan minimitasolla

Yllämainitulla tavalla perinteistä, työvoimavaltaista seurantaan voidaan vähentää ja saatavan tiedon määrä kasvaa oleellisesti.



## LIITE I. Automaattiasemien käyttö ympäristön seurannassa

## Automaattiasemien käyttö ympäristön seurannassa

Tervetuloa täyttämään SYKEN kyselyä, joka koskee automaattisia ympäristön seurannassa käytettäviä mittausasemia.

Kysely liittyy SYKEN valtakunnallisen seurannan uudistamiseen. Tulokset julkaistaan työryhmän raportissa vuoden 2008 aikana ja kyselyn tuloksia käytetään seurannan kehittämisessä.

Kyselyn yhteyshenkilönä on Timo Huttula (timo.huttula@ymparisto.fi).

Suuret kiitokset jo etukäteen vastauksistasi!

### 1) Vastaajan tiedot

Sukunimi

Etunimi

Asema tai tehtävä

Laitos tai yritys

### 2) Mitä edustat?

### 3) Asemilla mitataan seuraavia muuttujia

	Alle viidellä asemalla	5-10 asemalla	11-15 asemalla	16-20 asemalla	21-50 asemalla	51-80 asemalla	81-120 asemalla	yli 120 asemalla
Säämuuttujat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### 4) Kerro mitä tarkoitat 'muulla' edellisessä kysymyksessä? Huomaa, myös jatkokysymyksissä sama kohta!!

### 5) Asemakohtaiset perustamiskustannukset ovat

	Alle 3 k€	3-5 k€	6-10k€	11-15 k€	16-20 k€	yli 20 k€
Säämuuttujat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**6) Asemakohtaiset vuotuiset ylläpitokustannukset (palkat ja matkat sekä varaosat)**

	Alle 0,5 k€	0,6-1 k€	1,1-2 k€	2-3 k€	3-5 k€	yli 5 k€
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli -a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**7) Asemakohtainen vuotuinen työpanos on noin**

	Alle 3 työpäivää	3-5 tpv	6-10 tpv	11-15 tpv	Yli 15 tpv
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli -a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seuraavassa kysymme laadunvarmistusjärjestelmästäne

**8) Asematyyppikohtainen laadunvarmistus (Voit valita useita vaihtoehtoja)**

	Ei mitään	Hälytys tekstiviestein suoraan asemalta	Laadunvalvonta grafiikan avulla	Ohjelmalliset algoritmit ja niihin liittyvät hälytykset
Säämuuttajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vesistön virtaama	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maankosteus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden pH	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden sameus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden klorofylli -a pitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**9) Asematyyppikohtaiset kalibrointi- ja vertailunäytteet otetaan**

	Ei koskaan	Harvemmin kuin kerran vuodessa	1-3 krt/v	4-6 krt/v	7-12 krt/v	13-18 krt/v	18-25 krt/v	Yli 25 krt/v
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**10) Arvioi automaattiasemien hyödyllisyyttä (tiedon määrä, laatu, jne...) suhteessa tilanteeseen ennen asemaa**

	Ei mitään hyötyä	Jonkin verran hyötyä	Paljon hyötyä	Erittäin paljon hyötyä
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**11) Oma organisaatiomme hankkii jaksolla 2009-2012 automaattisia ympäristönseuranta-asemia seuraavaasti**

	Ei yhtään	1 kpl vuosittain	2-3 kpl vuosittain	4-5 kpl vuosittain	6-8 kpl vuosittain	yli 8 kpl vuosittain	En osaa sanoa
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**12) Uskon, että jaksolla 2009-2012 koko Suomeen hankitaan erilaisia automaattisia ympäristönseuranta-asemia yhteensä seuraavasti**

	Ei yhtään	alle 10 kpl vuosittain	11-20 kpl vuosittain	21-30 kpl vuosittain	31-40 kpl vuosittain	yli 40 kpl vuosittain	En osaa sanoa
Säämuuttajat	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vesistön virtaama	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maankosteus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden sameus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Käytön laajeneminen

**13) Vuosien 2009-2012 aikana automaattisten ympäristönseuranta-asemien käyttäjäkunta laajenee seuraavissa organisaatioiden tai toimijoiden piirissä**

Voit valita useita tahoja!!

	SYKE	MTT	RKTL	METLA	GTK	Yksityiset vesientutkimuslaitokset ja konsultit	Kaivosyhtiöt	Voimayhtiöt	Kalanviljelylaitokset	Maatalousyrittäjät	Metsätalousyritykset
Säämuuttajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vesistön virtaama	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maankosteus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden pH	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden sameus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Käytön laajeneminen

**14) Automaattiasemien käyttäjäkunta laajenee lähinnä seuraavista syistä**

Voit valita useita syitä!!

	Anturitekniikka paranee	Parantaa ympäristön seurantaa	Kansalaiset ovat kiinnostuneet ajantasaisesta tiedosta	Kansainväliset sopimukset velvoittavat (esim. EU:n piirissä)	Kustannussäästöt	Muu syy (selvitä myöhemmin)
Säämuuttajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintavedenkorkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vesistön virtaama	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pohjaveden korkeus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haihdunta haihdunta-astiasta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maankosteus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pintaveden lämpötila	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden pH	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden sameus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden nitraattipitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veden klorofylli-a pitoisuus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**15) Jos vastasit edellisessä kohtaan 'Muu syy', niin kerro, tässä mitä tarkoittit.**

16) Tähän voit liittää vapaan tarkennuksen tai kommentin kyselyyn liittyen.

Haluan lähettää vastaukset

Lähetä

Palauta alkuperäiset

## LIITE 2. Luettelo seurannan lyhyen tähtäimen kehittämisehdotuksista ja -hankkeista

Hanke	Kuvattu raportin luvussa	Vastuutaho	Aikataulu	Budjetti / euroa
Pienten valuma-alueiden hydrologisen- ja laatusurannan automatisoinnin jatkaminen	8.1.1.	SYKE / VTO	2009-2010	50000
Vesistöjen pinnankorkeuden automatisoinnin jatkaminen	8.1.2.	SYKE / HYD	2009-	
Pohjaveden korkeuden ja laadun seurannan automatisointi	8.1.2.	SYKE / HYD	2009-	
Automaattisen maankosteusseurannan kehittäminen	8.1.2.	SYKE / HYD	2009-	
Automaattisten näytteenottimien hankinta mereen laskeviin jokiin	8.1.3.	SYKE / VTO	2009-2012	35000
Liikuteltavien sameus/nitraattiantureiden lisääminen	8.2.	SYKE, aluekeskukset	2009-	10000 / kpl
Optisten antureiden hankkiminen liikkuviin aluksiin	8.2.	SYKE	2009-	
Ympäristöobservatorioiden verkko	8.3.	SYKE, IL, MET-LA, RKTL, MTT, yliopistot ja korkeakoulut	2009-	
Loppukäyttäjien kouluttaminen vesikaukokartoitustuotteiden käyttöön	8.4.1.1.	SYKE	2009-	
Kaukokartoituksen testituotteiden käyttökelpoisuuden arviointi	8.4.1.2.	SYKE	2009	
Vuosittaiset vesimuodostumakohtaiset kaukokartoitustuotteet VPD:n käyttöön	8.4.1.	SYKE	2009-	
Meristrategiadirektiivin edellyttämiin seurantoihin valmistautuminen	8.4.1.4.	SYKE	2009-2014	
Mikroaalto- ja infrapuna-kuvien käyttö lumen sulamisen seurannassa	8.4.2.	SYKE	2009-	10000 / v
HOTSPOT – Arvokkaiden elinympäristöjen tunnistaminen korkearesoluutioisilta satelliittikuvilta	8.4.4.1	JoY, PKA, SYKE	2009	
Järvien GIS-pohjainen leväkukintamalli	8.5.1.	SYKE	2009-	
Terrestrisen biodiversiteetin ja suojelualueiden ekologisen tilan seurantamenetelmien kehittämishanke	9.7.	SYKE, JoY, PKA	2009-	
Vesikasvien ekologisen tilan seurantamenetelmien kehittämishanke	9.8.	JoY, SYKE, PKA	2009-2011	15000-20000 / v
Kaksi automaattista järviasemaa	8.1.3.	SYKE, IL, RKTL, JY	2010-2011	70000
Kaksi happiantureilla varustettua CTD-luotainta merialueille	8.2.	SYKE, UUS, LOS	2010-2011	24000
Tarkan resoluution kuvien hyödyntäminen rannikkovesillä	8.4.1.3.	SYKE	2010-2011	
Spektrometrien hankinta valvontalentoalustalle	8.4.1.5	SYKE	2010-2011	30000
Neljä CTD-luotainta järvisyvänteille	8.2.	SYKE, KSU, PKA, LSU, LAP	2010-2012	48000

LIITE3. Luettelo seurannan pitkän tähtäimen kehittämisehdotuksista ja -hankkeista.

Hanke	Kuvattu raportin luvussa	Vastuutaho
Kaukokartoitusmenetelmät kokonaisuutena ympäristöhallinnon seurantojen kehittämisessä	9.1.	SYKE
Huuhtouma- ja järvimallien kytkeminen	9.2.	SYKE
Seurannan mallipohjaiset ja tilastolliset suunnittelumenetelmät (SeMaTiSu)	9.3.	SYKE
Hajakuormitus- ja järvitaseiden havaintoverkot (Hajku)	9.4.	SYKE
Lumipeitteen vesi-arvon kuvauksen parantaminen vesistömallissa	9.5.	SYKE
Maanpeitteen kaukokartoitus	9.6.	SYKE
Molekyylibiologian menetelmät kasviplanktonin määrittämisessä	9.9.	JY
Levätoksiinimenetelmien valinta ja käyttö uima- ja juomaveden raakavesien seurannassa	9.9.	SYKE
Hahmontunnistusmenetelmät eliöryhmien määrittämisessä	9.10.	SYKE, JY, Tilastotieteen laitos, Tietotekniikan laitos, ulkomaisia yliopistoja
Logistiikan optimointi ja toiminnan simulointi seurannan kehittämisessä	9.11.	JY, SYKE, aluekeskukset, muut tutkimuslaitokset

## LÄHTEET

- Anttila, S., Pyhälähti, T., Vepsäläinen, J. and Kallio, K. 2005. 'Vedenlaadun seurannan tehostamismahdollisuudet kaukokartoitus- ja GIS-tekniikan avulla: käyttäjien tarvekartoitus'. SYKEN sisäinen raportti. 19 pp. <http://www.miljo.fi/print.asp?contentid=169359&lan=fi&clan=fi>.
- Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. American Water Resour. Assoc.* 34(1): 73-89.
- Bilaletdin, Ä., Kaipainen, H. and Frisk, T. 2008. Dynamic nutrient modeling of a large river basin in Finland. Ninth international conference on water pollution: modeling, monitoring and management. *Water Pollution IX. WIT Transactions on Ecology and Environment*, Vol 111. pp 53-61.
- Direktiivi 2008/56/EY yhteisön meriympäristöpolitiikan puitteista (meristrategiadirektiivi). 16. p.
- Juntura, E., Aarnio, E., Kerätär, K., Nenonen, O., Väisänen, T., Savolainen, M., Hellsten, S., Virtanen, M., Koponen, J., Inkala, A., Ylinen, H. 1997. Jatkuvatoiminen mittausjärjestelmä veden laadun ja aine-taseiden seurantaan. VTT tiedotteita 1848.
- Koponen, S., Ruiz-Verdu, A., Heege, T., Heblinski, J., Sorensen, K., Kallio, K., Pyhälähti, T., Doerffer, D., Brockmann, C. & Peters, M. 2008. Development of MERIS Lake Water Algorithms. Validation Report. ESA ESRIN Contract No. 20436/06/I-LG. 65 p.
- Koskiaho, J., Lepistö, A., Tattari, S., Huttula, T., Kiirikki, M. & Kirkkala, T. Rivers and nutrient loading. 2008. In: Lepistö, A. & Huttula T (eds). *New measurement technology, modelling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area – CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15. pp 13-25. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280200&lan=fi>
- Lepistö, A., Huttula, T., Bärlund, I., Granlund, K., Härmä, P., Kallio, K., Kiirikki, M., Kirkkala, T., Koponen, S., Koskiaho, J., Kotamäki, N., Lindfors, A., Malve, O., Pyhälähti, T., Tattari, S & Törmä, M. 2008. *New measurement technology, modelling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area – CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15 | 2008, 73 p. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280200&lan=fi>
- Leka, J., Valta-Hulkkonen, Kanninen, A., Partanen, S., Hellsten, S., Ustinov, A., Ilvonen, R. ja Airaksinen, O., 2003. Vesimakrofyytit järvien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa. Maastomenetelmien ja ilmakuvatulokinnan käyttökelpoisuuden arviointi Life Vuoksi-projektissa. Alueelliset ympäristöjulkaisut 312.96s.
- Linjama, J., Koskiaho, J., Puustinen M. & Tattari, S., 2009. Implementation of small catchments for monitoring of hydrology and agricultural water pollution based on continuously measured sensors. *Agricultural and Food Science* (In preparation).
- Malm J., 2007. Alueellinen ympäristönseuranta. Ympäristönseurannan ja raportoinnin tuottavuushanke, selvitysmiehen raportti. 31 s. SYKE
- Malve, O. 2007. Water quality prediction for river basin management. Doctoral dissertation. Helsinki University of Technology. Espoo, Finland. TTK-DISS-2292. ISBN 978-951-22-8749-9. URL: <http://lib.tkk.fi/Diss/2007/isbn9789512287505/>
- Malve, O., Laine, M., Haario, H., Kirkkala, T. and Sarvala, J. 2006. Bayesian modelling of algae mass occurrences using adaptive MCMC methods with a lake water quality model. *Environmental Modelling and Software*, 22(7), pp. 966-977. DOI:10.1016/j.envsoft.2006.06.016.
- Malve, O. and Qian, S. 2006. Estimating nutrients and chlorophyll a relationships in Finnish Lakes. *Environmental Science & Technology*, 40(24), pp. 7848-7853. DOI: 10.1021/es061359b.
- Niemi, J. (toim.). 2006. Ympäristön seuranta Suomessa 2006-2008. *Suomen ympäristö* 24/2006. 151 s.
- Partanen, S., 2007. Recent spatiotemporal changes and main determinants of aquatic macrophyte vegetation in large lakes in Finland. *Acta Universitatis Ouluensis A* 495.
- Puustinen, M. (et.al.) 2008. VIHMA-model for planning and management of runoff waters from arable land (manuscript)
- Tattari S., Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 3/2004, s. 26-30.
- Tattari, S., Lepistö, A., Bärlund, I., Granlund, K., Siimes, K., Koskiaho, J., Puustinen, M., Rankinen, K. SYKEN mallistrategia. Sisäinen raportti. 2006
- Valta-Hulkkonen, 2005. Remote sensing as a tool in aquatic macrophyte mapping. *Nordia Geographical Publications*. Volume 24:1
- Wade, A.J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessels, W.W., Raat, K.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2002. A nitrogen model for European ecosystems: INCA, new model structure and equations *Hydrology and Earth System Sciences* 6: 559-582.



## KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			<i>Julkaisuaika</i> Kesäkuu 2009
<i>Tekijä(t)</i>	Timo Huttula, Emir Bilaletdin, Pekka Härmä, Kari Kallio, Jarmo Linjama, Kari Lehtinen, Hannu Luotonen, Olli Malve, Bertel Vehviläinen ja Leena Villa			
<i>Julkaisun nimi</i>	<b>Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet</b>			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2009			
<i>Julkaisun teema</i>				
<i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i>	Julkaisu on saatavana ainoastaan internetissä: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>SYKE asettama projektiryhmä selvitti Ympäristön seurannan automatisointia ja uusia menetelmiä (erityisesti kaukokartoitus ja mallinnus). Ryhmän raportissa käsitellään monipuolisesti automaattimittausten, kaukokartoituksen ja mallien sovelluksien nykytilaa ja mahdollisuuksia ympäristön seurantoihin liittyen. Työryhmä esitti kahdenlaisia hankkeita ja järjestelyjä. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat sellaiset hankkeet, jota voidaan hoitaa SYKEN sisäisillä resurssijärjestelyillä ja YM:n budjettivarojen kohdentamisilla. Tällaisia hankkeita työryhmä ehdotti yhteensä 20 kpl. Toiseen luokkaan kuluvat sellaiset hankkeet, joita varten tarvitaan merkittävää ulkopuolista rahoitusta tai yhteistyötä muiden laitosten kanssa. Tällaisia ehdotuksia työryhmä esitti yhteensä 11 kpl.</p>			
<i>Asiasanat</i>	seuranta, mittaus menetelmät, automatisointi, kaukokartoitus, mallit, tuottavuus, raportointi			
<i>Rahoittaja/ toimeksiantaja</i>	Ympäristöministeriö			
		ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF)		ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
	<i>Sivuja</i> 73	<i>Kieli</i> Suomi	<i>Luottamuksellisuus</i> julkinen	<i>Hinta (sis.alv 8 %)</i> -
<i>Julkaisun myynti/ jakaja</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE), asiakaspalvelu PL 140,00251 Helsinki Puh. 020 690 183, faksi (09) 5490 2190 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140,00251 Helsinki Puh. 020 610 123 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.ymparisto.fi/syke">www.ymparisto.fi/syke</a>			
<i>Painopaikka ja -aika</i>				

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum
Författare	Timo Huttula, Emir Bilaletdin, Pekka Härmä, Kari Kallio, Jarmo Linjama, Kari Lehtinen, Hannu Luotonen, Olli Malve, Bertel Vehviläinen och Leena Villa			
Publikationens titel	<b>Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet</b> (Hur miljöövervakningsmetoderna kan utvecklas - Automatisering och andra nya möjligheter)			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljöcentrals rapporter 13/2009			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på Internet <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a> (på finska).			
Sammandrag	<p>En projektgrupp tillsatt av Finlands miljöcentral SYKE utredde automatiseringen av miljöövervakningen och nya metoder, speciellt fjärranalys och modellering. I gruppens rapport behandlas automatmätningarnas, fjärranalysens och modellernas tillämpning idag mångsidigt och därtill deras potential i anslutning till miljöövervakningar. Arbetsgruppen presenterade projekt och arrangemang av två slag. Till den första klassen hör sådana projekt som kan skötas internt med SYKEs resurser och med styrda budgetmedel från miljöministeriet. Arbetsgruppen föreslog 20 dylika projekt. Till den andra klassen hör projekt för vilka man behöver avsevärd utomstående finansiering eller samarbete med andra institutioner. Dylika förslag gavs 11 st.</p>			
Nyckelord	uppföljning, mätningmittaus, metoder, automation, fjärranalys, modeller, produktivitet, rapportering			
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet			
		ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF)		ISSN 1796-1726 (on-line)
	Sidantal 73	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) -
Beställningar/ distribution	Finlands miljöcentral (SYKE), kundservice PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.miljo.fi/syke">www.miljo.fi/syke</a>			
Tryckeri/tryckningsort och -år				

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i>
<i>Author(s)</i>	Timo Huttula, Emir Bilaletdin, Pekka Härmä, Kari Kallio, Jarmo Linjama, Kari Lehtinen, Hannu Luotonen, Olli Malve, Bertel Vehviläinen and Leena Villa			
<i>Title of publication</i>	<b>Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet</b> (Development of methods for monitoring the environment - Automation and other new possibilities)			
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Finnish Environment Institute 13/2009			
<i>Theme of publication</i>				
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available only on the internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
<i>Abstract</i>	<p>A working group appointed by The Finnish Environment Institute (SYKE) studied automation and new methods in environmental monitoring, especially remote sensing and modelling. In its report the group clarifies comprehensively the present state of automatic measurements, remote sensing, and model applications, as well as the possibilities in environmental monitoring. The working group presented projects and arrangements of two kinds. To the first class belong projects which can be managed by internal arrangement of resources in SYKE and by targeted budget resources from the Ministry of the Environment. The working group suggested 20 projects of this kind. To the second class belong projects for which substantial external financing is needed, or which require cooperation with other institutes; 11 projects of this kind were suggested.</p>			
<i>Keywords</i>	monitoring, measurement, methods, automation, remote sensing, models, productivity, reports			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment			
		ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF)		ISSN 1796-1726 (on-line)
	<i>No. of pages</i> 73	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> -
<i>For sale at/ distributor</i>	Finnish Environment Institute (SYKE), Customer service P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.environment.fi/syke">www.environment.fi/syke</a>			
<i>Printing place and year</i>				



ISBN 978-952-11-3490-6 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkoj.)