

Uudet menetelmät ympäristön- tutkimuksessa ja seurannassa – pilottina Säkylän Pyhäjärvi

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

**Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Mikko Kiirikki,
Teija Kirkkala, Sampsa Koponen, Jari Koskiahho, Ninni Liukko, Olli Malve,
Timo Pyhälähti, Kai Rasmus ja Sirkka Tattari**



Uudet menetelmät ympäristön- tutkimuksessa ja seurannassa – pilottina Säkylän Pyhäjärvi

**Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Mikko Kiirikki,
Teija Kirkkala, Sampsa Koponen, Jari Koskiaho, Ninni Liukko, Olli Malve,
Timo Pyhälähti, Kai Rasmus ja Sirkka Tattari**

Raportin kirjoittajat:

Ahti Lepistö, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Jari Koskiaho, Olli Malve,
Timo Pyhälähti, Sirkka Tattari
Suomen ympäristökeskus SYKE, PL 140, 00251 Helsinki

Timo Huttula, Ninni Liukko, Kai Rasmus
Suomen ympäristökeskus SYKE, Technopolis, Jyväskylän toimipaikka,
Survontie 9, 40500 Jyväskylä

Mikko Kiirikki
Luode Consulting Oy, Olarinluoma 15, 02200 Espoo

Teija Kirkkala
Pyhäjärvi Instituutti, Ruukinpuisto, Sepäntie 127, 27500 Kauttua

Sampsa Koponen
Aalto-yliopisto Teknillinen korkeakoulu, Radiotieteen- ja tekniikan laitos,
PL 13000, 00076 AALTO

Lisätiedot:

Ahti Lepistö
erikoistutkija, SYKE
etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

Rantaviiva ja jokiuoma-aineisto tämän raportin kartoissa Maanmittauslaitokselta
(©Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10). Valuma-alueiden rajat –aineisto
SYKEstä (©SYKE).

**S Y K E**

SUOMEN YMPÄRISTÖ 9 | 2010
Suomen ympäristökeskus

Taitto: Seija Turunen
Kansikuvat: Euroopan avaruusjärjestö ESA, Kari Kallio, Ahti Lepistö
Sisäsivujen kuvat: Kuva 1: ©Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/10,
Euroopan avaruusjärjestö ESA, Ahti Lepistö
Kuva 3: Kari Kallio

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

ISBN 978-952-11-3752-5 (nid.)
ISBN 978-952-11-3753-2 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

ESIPUHE

Vesistöalueiden ja vesivarojen hoidon ja suojelun tutkimuksessa tulevat jatkossa vieläkin enemmän korostumaan kokonaisvaltaiset ratkaisut, joilla etsitään kestäviä ja taloudellisia ratkaisuja vesiensuojelu-ongelmiin. Ympäristöntutkimuksessa ja –seurannassa tarvitaan uusien menetelmien käyttöönottoa, mutta menetelmät vaativat kehitystyötä, testausta ja validointia.

Tekesin rahoittaman CatchLake -hankkeen (2006–2009) päätavoitteena oli uusien menetelmien testaaminen pilottialueen mittakaavassa. Alueena oli vesihuollon ja virkistyskäytön kannalta merkittävä Säkylän Pyhäjärvi valuma-alueineen. Hanke koostui kolmesta toisiaan täydentävästä osasta: mallinnuksesta, mittauksista valuma-alueella ja järvellä, sekä kaukokartoituksesta.

Hankkeen kehityskohteina olivat mm:

- kehittynyt metodologia integroida laajat aineistot ympäristöä kuvaaviin prosessimalleihin ja mallien tehokkaampi kytkentä toisiinsa
- ympäristömallinnuksen epävarmuustekijöiden väheneminen paremman syöttödatan ansiosta
- satelliittidatan laadun varmistaminen ja parempi hyödyntäminen ympäristötutkimuksessa ja –seurannassa
- uusimman vedenlaadun ja -määrän automaattisen (*in situ*) mittaustekniikan testaus ja kehittäminen

CatchLake2 -hankkeessa olivat mukana SYKE:n lisäksi TKK:n Radiotieteen ja –tekniikan laitos, Tekes, Pyhäjärvi-Instituutti, Pyhäjärven suojelurahasto, Lounais-Suomen ympäristökeskus ja Turun yliopiston biologian laitos. Yrityksistä mukana oli Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy, Ramboll Oy, Luode Consulting Oy, Numerola Oy, Kala- ja vesitutkimus Oy, Pöyry Environment Oy ja A-Lab Oy. Yhteistyötä mallien kehittämisessä ja kaukokartoituksessa tehtiin myös Readingin yliopiston AERC (Englanti), EOMAP:n (Saksa) ja NERIn (Tanska) kanssa.

Kiitos kuuluu kaikkien näiden tahojen edustajille, hankkeen tutkijaryhmälle, sekä tämän raportin arvioijille. Lisäksi kiitos yhteistyöstä seuraaville henkilöille: Marjo Tarvainen ja Anne-Mari Ventelä (Pyhäjärvi-Instituutti), Jouko Sarvala (Turun yliopisto), Helmi Kotilainen ja Harri Helminen (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Kimmo Koivisto ja Pyhäjärven järvipelastajat, Antti Lindfors (Luode Consulting Oy), Anne Mäkyne (Ramboll Oy), Randall Etheridge (North Carolina State University), Heikki Toivonen (SYKE), Seppo Rekolainen (SYKE), sekä Tuomo Suortti ja Pia Salokoski (Tekes).

Ahti Lepistö ja Timo Huttula (toim.)

SYKE

Helsinki ja Jyväskylä, huhtikuu 2010

SISÄLLYS

Esipuhe

1 Johdanto	7
1.1 In-situ mittaukset – automaattiasemat	7
1.2 Kaukokartoitus	7
1.3 Mallinnus	8
1.4 Hanke ja sen pilottialue	8
2 Mitä uutta nykytekniikalla saadaan selville valuma-alue - järvikokonaisuudesta?	10
2.1 Mittaukset	10
2.1.1 Valuma-aluemittaukset	10
2.1.2 Järvimittaukset	14
2.2 Kaukokartoitus	18
2.2.1 Kaukokartoituksella tietoa alueellisesta veden laadusta	18
2.2.2 Satelliittikuvien tulkintamenetelmät ja vertailu maasto- mittauksiin	18
2.2.3 Tiedonhallinnan kehittäminen	20
2.2.4 Satelliittikuvien aikasarjat uuden ympäristönseurannan työkaluna	23
2.3 Valuma-alue- ja järvimallien ketjuttaminen	24
2.3.1 Mallinnuksen tavoitteet	24
2.3.2 Valuma-aluemallit SWAT, INCA-N ja VeMaLa sekä Coherens- järvimalli	25
2.3.3 SWAT -mallin kalibrointi ja käyttökokemuksia	26
2.3.4 INCA-N -mallin kalibrointi ja tulosten käyttö	27
2.3.5 Valuma-aluemallien tulosmuuttujista järvimallin syöttötiedoiksi	28
2.3.6 Coherens-järvimallin sovellus Pyhäjärvelle	28
3 Mihin uutta tietoa voidaan käyttää?	32
3.1 Mitä uutta tietoa saadaan mitä vanhoilla menetelmillä ei saatu?	32
3.1.1 Aiempaa tarkempi tieto kuormituksesta ja käyttökokemukset mittaustekniikasta	32
3.1.2 Ravinnevirtojen mallintaminen valuma-alue -järvikokonaisuudessa	32
3.1.3 Järvimittauslautan tuloksilla tarkempaa tietoa järven toiminnasta	33
3.1.4 Satelliittidatan tehokkaampi hyödyntäminen ympäristö- tutkimuksessa	33
3.2 Mihin suuntaan menetelmiä pitää kehittää?	34
3.2.1 Mittaukset	34
3.2.2 Kaukokartoitus	34
3.2.3 Mallinnus	35
3.3 Hyöty tutkimukselle, mutta entä ympäristönseurannalle ja vesiensuojelulle?	35
3.3.1 Tarkemmat ravinnekuormitusarvot	35
3.3.2 Skenaariot	35
3.3.3 Mittauslautan ja satelliittikuva-aikasarjojen käyttö ympäristönseurannassa	36
3.4 Pystytäänkö vanhoja käytäntöjä korvaamaan?	37

4 Yhteenveto ja johtopäätökset	38
Liite I CatchLake2 -hankkeen tieteelliset artikkelit (julkaistut ja käsikirjoitukset), raportointi ja muu tiedotus	42
Kuvailulehti	44
Presentationsblad	45
Documentation page	46

1 Johdanto

Ahti Lepistö, Timo Huttula

Ympäristömittausten ja -seurantojen markkinoiden uskotaan kasvavan merkittävästi tulevaisuudessa. Lainsäädännön kautta tulevat vaatimukset ja kuluttajien lisääntyvä kiinnostus elinympäristöön kohtaan lisäävät kysyntää, minkä uskotaan johtavan uusiin innovaatioihin ja alan palvelusektorin kasvuun. Tämä tarkoittaa mm. uusien mittaustureiden käyttöönottoa sekä ajantasaisen tiedonsiirron ja kaukokartoituksen kehittämistä. Yhtenä tavoitteena ympäristötutkimuksessa nykyään on entistä laajempien ekosysteemien toiminnan ymmärtäminen ja hallinta. Toisaalta ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät leudot talvet aiheuttavat haasteita sekä hajakuormituksen vähentämistavoitteille että ympäristön monitoroinnille. Tässä työssä kehitetyt mittaustekniikat ja mallit tarjoavat täysin uusia mahdollisuuksia, yhteistyössä julkisen sektorin ja alan yritysten välillä.

1.1

In-situ mittaukset – automaattiasemat

Ympäristömittausten ja -seurantojen tuloksia käytetään mm. arvioitaessa ja raportoitaessa ympäristön tilan muutoksia, valvottaessa ympäristölupien noudattamista sekä informoitaessa tiedotusvälineitä ja kansalaisia. Perinteinen pistehavainnointi eli manuaalinäytteenotto on sinänsä tarkkaa, mutta rajoittuu paikalliselle alueelle ja tiedon päivittäminen vaatii aina uuden mittauskäynnin, lisäksi ongelmana on tyypillisesti riittämätön näytteenottotiheys. Mittauksia tai näytteenottoa voidaan huomattavasti tihentää joko in situ -mittaustureilla (joki- tai järviasemat tai mittaukset liikkuvasta veneestä) tai keräten automaattinäytteenottimella näytteitä, jotka analysoidaan jälkepäin laboratoriossa.

Ympäristömittaukset tuottavat tietoa ympäristön tilasta, sen muuttumisesta ja siellä vallitsevista eri yhdisteiden pitoisuustasoista. Mittausten antamien tietojen perusteella voidaan hahmottaa i) ympäristön tila ja siinä tapahtuneet muutokset, ii) parhaillaan tapahtuvat muutokset, tai iii) ennustaa tulevia muutoksia ympäristön tilassa. Mittaustieto pitää aina pystyä sitomaan olemassa olevaan ympäristöön (Ruuskanen ja Niska 2001).

1.2

Kaukokartoitus

Kaukokartoituksen etuna on mahdollisuus tuottaa kustannustehokkaasti teemakarttoja laajojen alueiden pintaveden laadusta (mm sameus, leväbiomassa, humusyhdisteet) ja laadun vaihtelusta myös eri osissa kohdejärviä, mutta havaintojen tulkinta seurattavien suureiden luotettaviksi aikasarjoiksi vaatii huomattavasti työtä ja erityisasiantuntemusta. Etuna on suuret käytettävissä olevat kuvamäärät, joista voidaan

useimmiten valita hyvälaatuiset kuvat pilvettömiltä päiviltä. On kuitenkin muistettava että järvien vedenlaadun osalta muuttujien määrä on rajallinen, sekä toisaalta se että kartoitus koskee vain pintavesikerrosta. Perinteisten menetelmien etuna on koko vesipatsaasta saatava tieto ja laaja analyysivalikoima, mutta ongelmana alueellisesti huono kattavuus ja korkeat kustannukset. Kannattaakin tarkemmin pohtia miten kaukokartoitustulkinat ja perinteiset vedenlaatusurannat parhaiten tukevat toisiaan.

1.3

Mallinnus

Matemaattiset mallit tuottavat tietoa ympäristönsuojelun ja ympäristöpoliittisen päätöksenteon tueksi. Mallit auttavat ymmärtämään ekosysteemien toimintamekanismeja ja niillä voidaan testata tieteellisiä hypoteeseja. Malleilla voidaan arvioida vaihtoehtoisia kehityskulkuja, sitä miten voidaan tehokkaimmin ja taloudellisesti vähentää ympäristön kuormitusta. Malleilla pystytään tutkimaan sitä miten laajalaiset ympäristömuutokset – ilmaston, maankäytön ja laskeuman muuttuminen – vaikuttavat yhdessä ravinteiden kiertoon ja vesistöjen kuormitukseen.

Mallien hyödynnettävyys riippuu paitsi niissä kuvattujen prosessien oikeellisuudesta, myös mallien käytössä olevista syöttötiedoista. Mallien syöttötiedon laadun pitää olla riittävän hyvä ja yhteensopiva mallin perusolettamusten kanssa. Mallinnuksessa ongelmina on mm. i) vain osa mallien lähtötiedoista voidaan mitata suoraan, ii) havaintoasemien mittaustuloksista on skaalattava alueelliseen mittakaavaan ja iii) sekä mallien rakenteissa, prosessikuvauksissa että mallien parametreissa on epävarmuutta, joka usein on puutteellisesti tunnettua. Mallinnuksella on merkittävää lisäpotentiaalia, kun pidetään mielessä yllä olevat rajoitukset, ja parannetaan edelleen mallinnuskäytäntöjä, laskennan toteuttamista, ja tulosten luotettavuutta.

1.4

Hanke ja sen pilottialue

Tekesin rahoittaman CatchLake -hankkeen (2006–2009) (ykkösvaihe vuosina 2006–2007) pilottialueena oli vesihuollon ja virkistyskäytön kannalta merkittävä Säskylän Pyhäjärvi valuma-alueineen (Ventelä ym. 2007, Lepistö ym. 2008) (Kuva 1). Pyhäjärven ravinnepitoisuuksien ja biologisten tekijöiden muutoksista on olemassa poikkeuksellisen hyvät tiedot pitkältä ajalta (esim. Mattila ym. 2001). Pyhäjärven valuma-alueella ja itse järvessä on toteutettu lukuisia vesiensuojelutoimia, joilla kuormitusta on saatu vähenemään (Tarvainen ja Ventelä 2007). Vesiensuojelun vauhdittamiseksi tarvitaan kuitenkin entistä reaaliaikaisempaa täsmätietoa ja ennusteita.

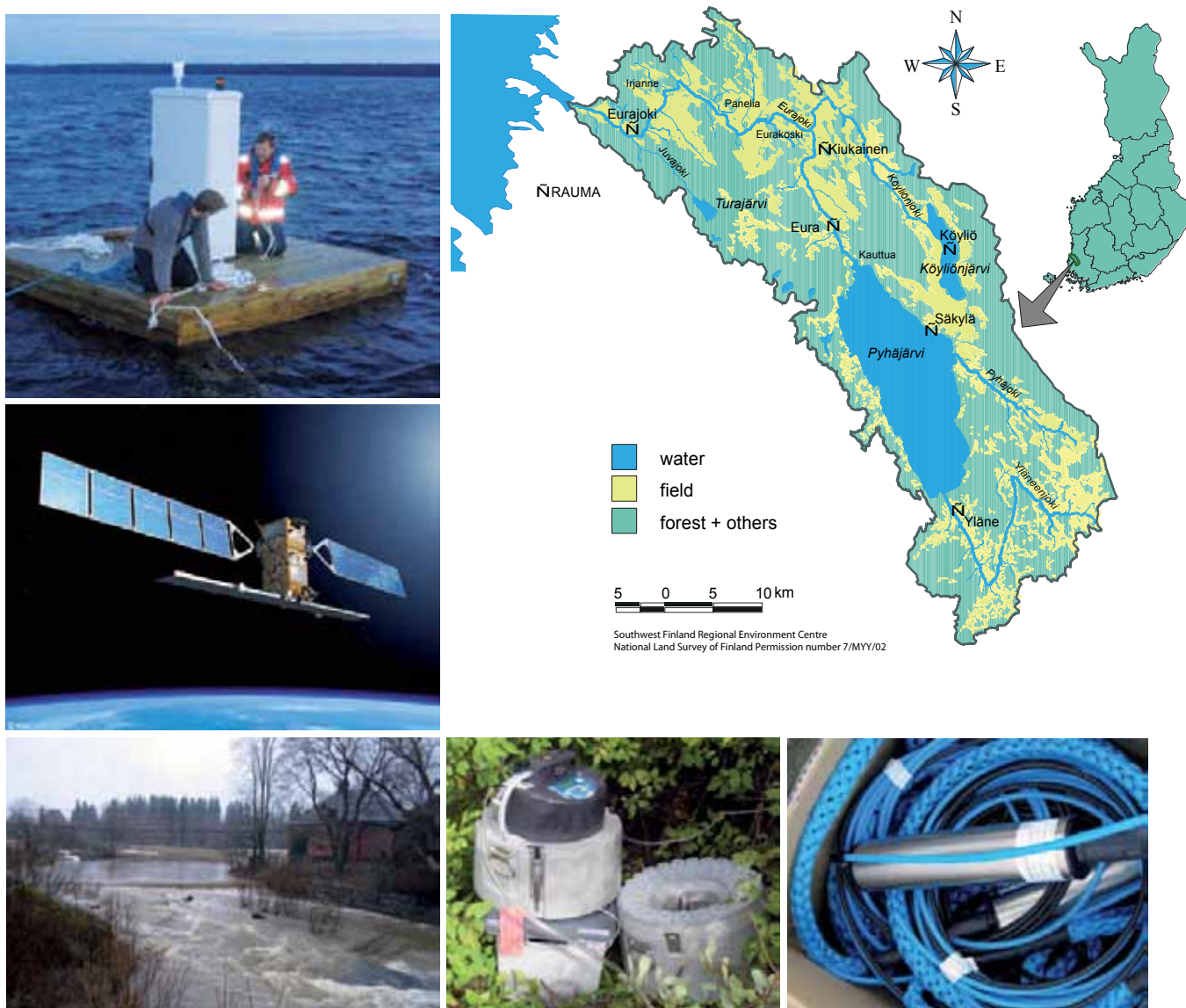
Hankkeen kehityskohteina olivat mm:

- kehittynyt metodologia integroida laajat aineistot ympäristöä kuvaaviin prosessimalleihin ja mallien tehokkaampi kytkentä toisiinsa
- ympäristömallinnuksen epävarmuustekijöiden väheneminen paremman syöttödatan ansiosta
- satelliittidatan laadun varmistaminen ja parempi hyödyntäminen ympäristötutkimuksessa ja –surannassa
- uusimman vedenlaadun ja -määrän automaattisen (*in situ*) mittaustekniikan testaus ja kehittäminen

Hanke koostui kolmesta osasta: mallinnuksesta, mittauksista valuma-alueella ja järvellä, sekä kaukokartoituksesta. Nämä eri osa-alueet (1.1–1.3) täydentävät toisiaan, ja yhtenä hankkeen lähtökohtana oli näiden osa-alueiden käyttö yhdessä paremman kokonaiskuvan saamiseksi. Ravinne- ja kiintoainekuormitus Yläneenjoen valuma-

alueella mallinnettiin integroiduilla SWAT- ja INCA-N- malleilla. Mallisovellusten vertailuaineistoksi mitattiin vedenlaadun vaihtelua jokiuomista automaattisilla mittausasemilla. Pyhäjärvellä toteutettiin vuosina 2006–2009 kaikkiaan 10 mittauskampanjaa, joissa kartoitettiin vedenlaadun alueellista vaihtelua läpivirtauslaitteistolla liikkuvasta veneestä. Järven alueellinen vedenlaatu tuotettiin myös tulkitsemalla satelliittikuvien aikasarjoja. Hankkeessa kehitettiin prosessipohjaista järvimallinnusta hyödyntäen sekä kaukokartoitusteknologiaa että intensiivimittauksia. Työtä tuki sekä valuma-alueelle tehtyjen mallisovellusten tarkennus, mallien ketjutuksen kehitystyö, että mittauskampanjat valuma-alueella. Järvestä vuosien 2006–2009 mittauskampanjoissa kerätty alueellinen vedenlaatuaineisto on merkittävä, ja sen jatkokäyttö 3D-järvimallinnuksen vertailuaineistona oli innovatiivinen avaus uudelle T&K alueelle.

Raportin toisessa luvussa tarkastellaan mittaustekniikan, kaukokartoituksen ja mallinnuksen tuottamaa uutta tietoa ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa. Kolmannessa luvussa pohditaan sitä mihin uutta tietoa voidaan käyttää.



Kuva 1. Säkylän Pyhäjärvi valuma-alueineen. Kuvassa myös mittauslautta järven syvänteellä, mittauskalustoa, ja Yläneenjoki kevätulvatilanteessa.

2 Mitä uutta nykytekniikalla saadaan selville valuma-alue-järvikokonaisuudesta?

2.1

Mittaukset

Kari Kallio, Jari Koskiahho, Ahti Lepistö, Mikko Kiirikki, Sirkka Tattari

2.1.1

Valuma-aluemittaukset

2.1.1.1 Kuormitusarviot eri menetelmillä

Pintavesien laatua on perinteisesti seurattu ottamalla vesinäytteitä tietyiltä havaintopaikoilta ajallisesti vaihtelevalla tiheydellä (esim. Niemi 2006). Virtahavaintopaikoilla tehtävien seurantojen tarkoituksena on paitsi seurata havaintopaikan vedenlaatua sinällään, myös määrittää havaintokohdan kautta kulkeva ainevirtaama eli valuma-alueelta järveen tai merialueelle kohdistuva kuormitus. Kuormitusarvio on aina sitä luotettavampi mitä tiheämmin kuormituksen osatekijät, veden virtaama ja sen ainepitoisuus on havaittu. Tärkeimmillä havaintopaikoilla virtaama perustuu yleensä jatkuviin vedenkorkeushavaintoihin, jolloin tulokset voidaan esittää varsin tiheinä, useimmiten vuorokausittaisina, aikasarjoina. Sen sijaan vedenlaadun aikasarjoissa havaintotiheys on pääsääntöisesti huomattavasti harvempi, esim. 1–2 näytettä kuukaudessa.

Eräs mahdollisuus parantaa kuormitusarvioiden tarkkuutta rajallisten resursien puitteissa on virtaamapainotteinen näytteenotto, ts. havaintovälin tihentäminen korkean virtaaman jaksoilla ja vastaavasti harventaminen alivirtaamakausien aikana. Virtaamapainotteisille näytteenotto-strategioille on kuitenkin ilmaantunut vakava haaste leudontuneiden talvien muodossa. Perinteinen hydrologinen vuosiregiimi, jossa lumen sulamisesta aiheutuva kevättulvajakso on kohtuullisen helposti ennustettavissa, on näytteenoton ennakoinnin kannalta huomattavasti parempi kuin nykytilanne, jossa tulvajaksoja voi esiintyä myös keskellä talvea.

Vedenlaadun seurantaan varten on viime vuosina tullut tarjolle uuteen tekniikkaan ja toisenlaiseen lähestymistapaan perustuvia mittalaitteita (Hart ja Martinez 2006). Jatkuvasti tiettyjä vedenlaadun muuttujia mittaavat anturit yhdessä langattoman tiedonsiirron kanssa pystyvät tuottamaan hyvin tiheitä aikasarjoja lähes reaaliajassa ja siten parhaimmillaan nostavat kuormitusarvioiden luotettavuuden aivan uudelle tasolle. Luotettavimmat kuormitusarviot auttavat vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkaassa kohdentamisessa ja ovat tervetullutta aineistoa valuma-aluemallien (Granlund 2008, Tattari ym. 2009) kalibrointiin ja prosessikuvausten kehittämiseen. Tässä hankkeessa testattiin sameutta ja nitraattityppeä mittaavia antureita Säskylän Pyhäjärven 233 km²:n suuruisella Yläneenjoen

valuma-alueella, jonka pinta-alasta noin 30 % on maatalouskäytössä. Pyhäjärvi on muutaman viime vuosikymmenen aikana kärsinyt rehevöitymiskehityksen myötä ilmenneistä sinileväkukinnoista. Rehevöitymisen merkittävimmästä taustatekijästä eli järveen kohdistuvasta ravinnekuormituksesta suurin osa (55 % fosforikuormituksesta) tulee juuri Yläneenjoen valuma-alueelta (Ventelä ym. 2007).

2.1.1.2 Automaattimittausasemat ja vesinäytteiden otto

Yläneenjoen alueelle perustettiin keväällä 2006 kaksi mittausasemaa: i) pääuomaan Vanhakartanon kohdalle lähelle jokisuuta ja ii) joen yläjuoksulla sijaitsevaan Peräsuonojan sivu-uomaan. Lisäksi syksyllä 2008 asennettiin Yläneenjokeen (Vanhakartano) ja Pyhäjokeen sameutta ja vedenkorkeutta mittaavat langattomalla tiedonsiirrolla varustetut automaattiasemat. Antureiden mittaama havaintoaineisto siirtyi automaattisesti GSM-verkon kautta laitetoimittajien (Luode Consulting Oy ja A-Lab Oy) tietokantoihin, joista hankkeen tutkijoilla oli mahdollisuus poimia tietoja laitetoimittajien www-sivujen kautta. Vanhakartanon asemalle asennettiin kevään ja syksyn 2007 jaksoille sameuden lisäksi nitraattityppipitoisuutta mittaavat anturit.

Vedenlaatuanturien tunnin välein mitaamat arvot (raakadata) kalibroitiin niiden ja mittausasemien kohdalla otettujen vesinäytteiden tulosten välisten lineaaristen regressioiden perusteella. Virtaamaa ei mitattu suoraan kummallakaan asemalla, vaan se määritettiin automaattiasemien tuottamien vedenkorkeus-aineistojen ja uomien mittauskohdille ominaisten purkautumiskäyrien perusteella. Automaattimittausten aikana otettiin paikallisen ympäristöviranomaisen toimesta 35 vesinäytettä Vanhakartanosta, 15 näytettä Peräsuonojasta ja 11 näytettä Pyhäjoesta. Vesinäytteistä analysoitiin laboratorioissa sameus sekä kiintoaineen, typen ja fosforin pitoisuudet.

2.1.1.3 Ainevirtaamien laskenta automaattimittausten vs. perinteisen näytteenoton pohjalta

Automaattimittauksilla saavutettavan hyödyn arvioimiseksi jokien kuljettamien ainemäärien laskennassa laskettiin kuukausittaiset kiintoaineen, kokonaisfosforin ja nitraattitypen ainevirtaamat Yläneenjoessa Vanhakartanon kohdalla kahden eri havaintoaineiston perusteella: i) käyttäen automaattimittausten avulla saatuja pitoisuustietoja ja ii) käyttäen vesinäytteistä määritettyjä pitoisuuksia. Ensin mainitussa aineistossa kiintoainepitoisuudet määritettiin anturin mitaaman sameuden ja samaan aikaan otetusta vesinäytteestä mitatun kiintoainepitoisuuden välisen korrelaation ($R^2=0,94$) perusteella. Kokonaisfosforin ja sameuden välinen korrelaatio ($R^2=0,52$) määritettiin pitemmällä aikavälillä (1991-2008) mitatusta vedenlaaturekisterin aineistosta, koska mittausjaksolla havaittujen fosforipitoisuuksien vaihteluväli oli liian vähäinen luotettavan muuntokertoimen saamiseksi.

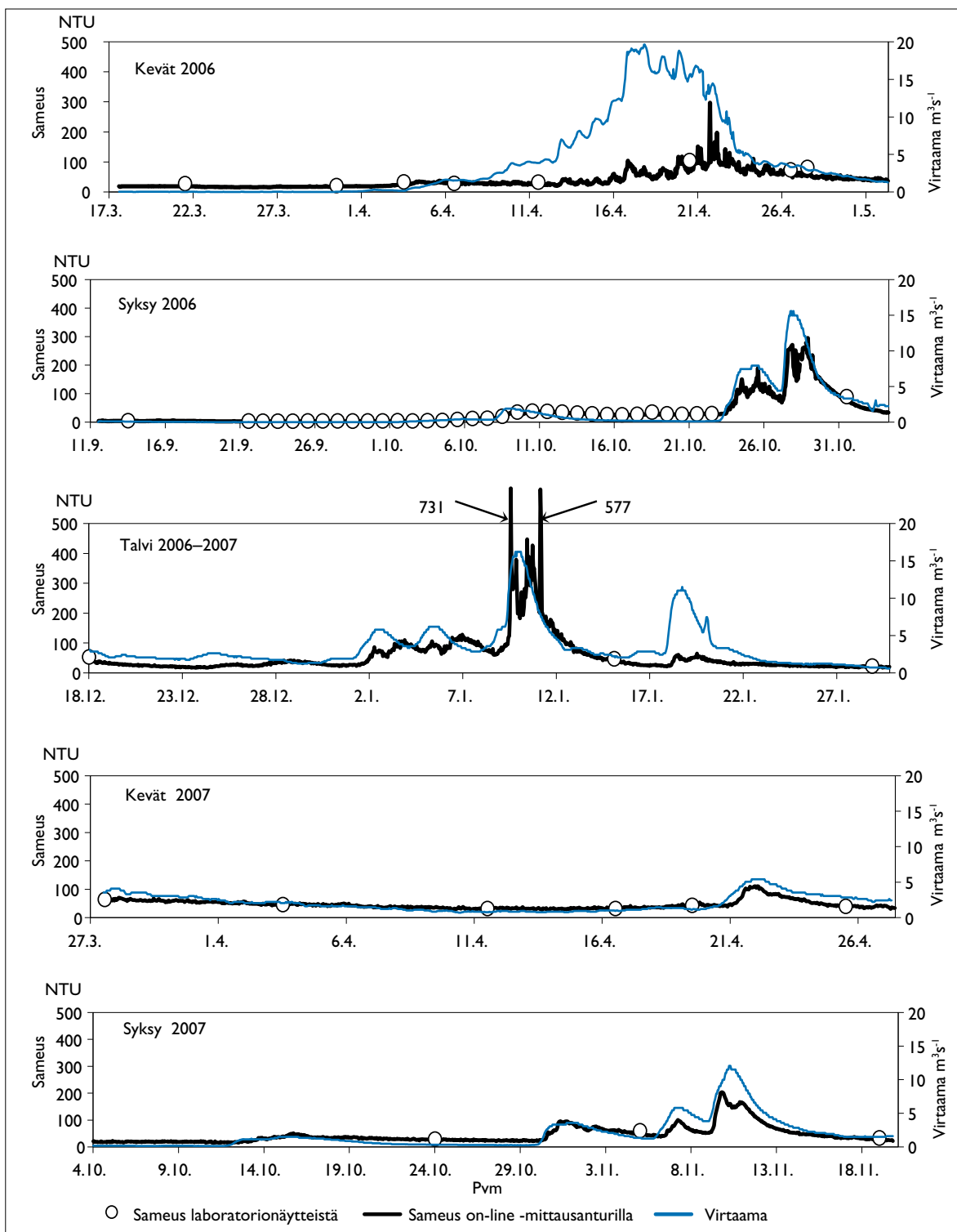
Automaattimittauksilla tuotetun aineiston pohjalta ainevirtaamat laskettiin kertomalla tuntipitoisuudet tuntivirtaamilla ja summaamalla tulokset kuukausittaisiksi arvoiksi. Käsinäytteenotolla saadulle aineistolle kuukausittaiset ainevirtaamat määritettiin vastaavasti päivittäisten aikasarjojen avulla. Koska pitoisuustietoa ei – toisin kuin virtaamatietoa – ollut saatavissa jokaiselle päivälle, määritettiin puuttuvat arvot havaittujen pitoisuuksien välillä lineaarisesti interpoloimalla (Koskiahio ym. 2010).

2.1.1.4 Sameuden vaihtelu ja eroosio pelloilta

Sameus Yläneenjoen Vanhakartanon mittausasemalla vaihteli lähes nollasta 730 NTU-yksikköön (Koskiahio ym. 2010) (Kuva 2). Jokivesien sameus ja kiintoainepitoisuus korreloivat yleisesti erittäin hyvin virtaaman kanssa. Myös Vanhakartanossa sameuden ja virtaaman huippuarvot ajoittuivat melko samanaikaisesti.

Antureilla mitattu sameus oli pitkän aikavälin havaintoihin verrattuna keskimäärin samalla tasolla, mutta korkein arvo oli selvästi pitkän aikavälin maksimia (400 FNU) suurempi. Automaattimittausten aikana otetut vesinäytteet eivät osuneet virtaamahuippuihin kovinkaan hyvin. Erityisesti tammikuun 2007 tulvajakso jäi täysin vaille vesinäytehavaintoja suuresta valunnan määrästä huolimatta.

Yläjuoksulla, Peräsuonojan asemalla, sameus vaihteli mittausjaksolla välillä 12–693 NTU ja oli keskimäärin samaa suuruusluokkaa kuin Vanhakartanossa. Ainoastaan



Kuva 2. Sameus (on-line mittausanturilla ja laboratorionäytteistä) ja virtaama Yläneenjoella viidellä eri mittausjaksolla vuosina 2006-2007.

syksyllä 2006 Peräsuonojan vesi oli selvästi sameampaa kuin Yläneenjoen Vanhakartanossa. Virtaama- ja sameushuippujen ajoittumisen suhteen mittauspisteet poikkesivat toisistaan siten, että Peräsuonojalla sameushuippu saavutettiin useimmiten ennen virtaamahuippua ja Vanhakartanossa päinvastoin. Peräsuonojan sameuden virtaamaa nopeammin tapahtuva nousu huippuunsa viittaa mitä ilmeisimmin siihen, että pienellä valuma-alueella kuormituksen lähteenä oleva aines on peräisin hyvin läheltä uomaa olevilta alueilta. Vanhakartanon asemalla taas sivu-uomista tuleva kuormitus tulee valuma-alueen alempiin osiin hieman virtaaman ”jäljessä”.

2.1.1.5 Jokiainevirtaama-arviot

Kahdella eri lähtöaineistolla lasketut kuukausittaiset kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja nitraattitypen kuormitusarviot on esitetty taulukossa 1. Kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta automaattimittauksiin perustuvat arviot olivat systemaattisesti selvästi korkeammat kuin vesinäytteisiin perustuvat. Kokonaisfosforilla laskentamenetelmien välinen ero oli samansuuntainen kuin kiintoaineella, mutta ei yhtä selkeä. Nitraattitypen kuormitusarvio huhtikuussa 2007 oli automaattiaineiston pohjalta laskettuna hieman suurempi, kun taas lokakuussa 2007 huomattavasti pienempi. Tämä kiintoaine- ja kokonaisfosforin kuormitusarvioiden väliselle erolle vastakkainen tulos kertoo mitattujen suureiden erilaisesta dynamiikasta vaihtelevissa virtausoloissa. Koska sameus- ja siten myös kiintoainehuiput ovat erittäin lyhytkestoisia, on varsin epätodennäköistä, että harvalla näytteenotolla niihin osuttaisiin ja sitä kautta saataisiin korkeita (=oikeansuuntaisia) kiintoainekuormitusarvioita, ts. seurauksena on kuormituksen aliarviointia. Sen sijaan erityisesti peltovaluma-alueilla typpipitoisuus kerran noustuaan pysyttelee korkealla tasolla pitempään, jolloin näytteenottohetki ajoittuu korkean pitoisuuden jaksolle todennäköisemmin.

Koska mittausjaksot olivat kasvukauden ulkopuolella, suurin osa Yläneenjoen valuma-alueen pelloista oli syyskynnön jäljiltä paljaana ja siten alttiina eroosiolle. Niinpä kiintoainekuormitus oli runsasvetisimpinä kuukausina, huhtikuussa 2006 ja tammikuussa 2007, Vanhakartanossa varsin suuri. Talvi 2006–2007 oli sikäli varsin mielenkiintoinen ja arvokasta tietoa tuottanut jakso, että se oli leuto, ts. Suomen sääoloissa kovaa vauhtia yleistymässä oleva talvityyppi. Tammikuussa 2007 antureilla mittaamamme kokonaisfosforikuormitus 1960 kg oli varsin korkea: lähes 30 % Ventelän ym. (2007) raportoimasta pitkän aikavälin vuosikuormituskeskiarvosta (Koskiahon ym. 2010). Onkin todennäköistä, että vaikka leudontuvat talvet eivät välttämättä lisää vuotuisia kokonaisvirtaamia, kuormitukset niiden seurauksena kasvavat. Tämä johtuu siitä, että leudon talven vallitessa maa on vailla lumen ja jään antamaa suojaa ja siten alttiina eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle. Kuormituksen lisääntymisriski korostuu erityisesti silloin, kun paljaaseen peltomaahan sataa rankasti vettä, mikä ei leudon talven aikana ole mitenkään tavatonta. Perinteisen pakkastalven jälkeinen, lumen sulamisesta aiheutuva valunta- ja kuormitushuippu sen sijaan ajoittuu monesti etenkin alkuvaiheessaan jaksoon, jolla pellot ovat roudan ja jään suojaamia. Tällöin valumasien ainepitoisuudet jäävät suurista vesimääristä huolimatta suhteellisen alhaisiksi.

Taulukko 1. Kiintoaineen, kokonaisfosforin ja nitraattitypen kuukausittainen kuormitus Vanhakartanon mittausasemalla laskettuna vesinäytteisiin ja automaattihavaintoihin perustuvilla aineistoilla.

Kuukausi	Kiintoaine (tonnia)			Kokonaisfosfori (tonnia)			Nitraattityppi (tonnia)		
	Näytteet	Autom.	Ero	Näytteet	Autom.	Ero	Näytteet	Autom.	Ero
Huhti-06	980	921	-6 %	2,72	2,26	-20 %			
Loka-06	327	762	57 %	0,782	1,39	44 %			
Tammi-07	391	992	61 %	0,918	1,96	53 %			
Huhti-07	166	224	26 %	0,369	0,630	41 %	7,17	7,51	4 %
Loka-07	32	50	36 %	0,170	0,166	-2 %	4,74	3,14	-51%
Koko jakso	1900	2950	36 %	4,96	6,41	23 %	11,91	10,65	-12%

2.1.1.6 Johtopäätökset valuma-aluemittauksista

Tässä hankkeessa saadut kokemukset anturimittauksista olivat positiivisia. Anturien tuottamat tiheät havaintosarjat auttavat ymmärtämään paremmin aineiden huuhtoutumisen syitä ja seurauksia, mitä voidaan hyödyntää valuma-alueiden mallintamisessa, ja pyrittäessä vähentämään ravinnekuormitusta. Automaattisesti kootun aineiston tarkkuus ja luotettavuus saadaan kuitenkin varmistetuksi vain vesinäytetulojen perusteella tehtävän kalibroinnin avulla, joten näytteenotosta ei voida täysin luopua automaattiseurantaan siirryttäessä. Laboratorioanalyysijä tarvitaan myös silloin, kun kiinnostuksen kohteena ovat kokonaisravinteet tai esim. liuenneet fosfori.

Sameusanturien tapaan myös nitraattityyppä mittaavien antureiden tarkkuus osoitautui hyväksi. Pitkän aikavälin havaintotulojen perusteella nitraatin osuus kokonaistyyppistä on Yläneenjoessa Vanhakartanon kohdalla n. 60 %. Nitraattityypin osuus kuitenkin kasvaa sitä mukaa mitä enemmän peltoa valuma-alueella on, joten nitraattiantureita voi suosittelä erityisesti maatalousvaltaisten valuma-alueiden vedenlaadun seurantaan.

Ainevirtaamalaskelmat paljastivat selkeästi automaattimittauksen edut verrattuna harvaan vesinäytteenottoon. Erityisesti leutoina talvina, jolloin tulva- ja kuormitushuippuja on vaikeaa ennustaa, ovat automaattiseurannan edut kiistattomat. Varsinkin kiintoaine- ja kokonaisfosforikuormitukset tulevat huomattavasti aliarvioituiksi silloin, kun näytteenotossa ei osuta lyhytaikaisiin kuormituspiikkeihin. Leudon talven aiheuttama kuormitusosuus vuotuisesta kokonaiskuormituksesta voi olla huomattavan suuri. Siten virtaama- ja kuormitushuippujen osuminen talvijaksoille korostaa kevääseen ja syksyyn yleisesti keskittyvien seurantaohjelmien kehittämistarpeita ja toisaalta tuo esiin tiheiden automaattimittauksen edut luotettaviin ainevirtaama-arvioihin pyrittäessä. Kaikkein kylmimmät olosuhteet asettavat lisähaasteen automaattilaitteiden toiminnalle: on muistettava että laitteet vaativat ympärivuotista huoltoa ja tarkistuskäyntejä myös keskellä talvea.

MAASÄÄ -hankkeessa testattiin mm. automaattisia *in situ* vedenlaadun mittauksia Karjaanjoen vesistöalueella, kiinnittäen erityistä huomiota mittausten toimivuuteen ja datan laadunvarmistukseen (Kotamäki ym. 2009). Mittaustekniikassa ja tulosten laadunvarmistuksessa tuleekin huomioida koko mittausketju, huomioiden korkealuokkaiset mittausanturit, laitteiden huolto ja tiedonsiirto, raakadata ja sen kalibrointi, laadunvarmistus, datan jatkokäyttö ja tulosten tulkinta sekä tietokantatyö (ks. luku 3.2.1).

2.1.2

Järvimittaukset

Järvimittauksen tavoitteena oli selvittää automaattimittauksen soveltuvuutta ja käyttökelpoisuutta seurannan, tutkimuksen ja vesiensuojelun apuvälineenä Pyhäjärven kaltaisella suurella järvellä. Järvimittaukset koostuivat liikkuvasta veneestä tehdyistä linjamittauksista (läpivirtausmittaus) ja automaattisesta mittausasemasta. Linjamittauksen tuloksia esitetään osassa 2.2.2 sekä CatchLake1-hankkeen loppuraportissa (Lepistö ym. 2008). Tässä keskitytään automaattisen järvimittausaseman tuloksiin. Pyhäjärven syvänteelle asennettiin mittausasema, johon kytkettiin sääaseman lisäksi eri syvyyksiltä mittaavat vedenlaatuanturit.

2.1.2.1 Mittausaseman sijainti ja kuvaus

Mittausasema oli käytössä 19.8.–29.10.2008 ja 18.5.–24.10.2009. Asema sijaitsi Pyhäjärven syvänteen itäreunalla, jossa veden syvyys oli noin 20 metriä. Lautan etäisyys lähimpään rantaan oli noin 1550 m ja järven syvimpään kohtaan (josta seurantanäytteet otetaan) noin 800 m. Mittauspaikka oli avoimuudesta johtuen haastava, eikä näin suurelle järven selälle ole tiettävästi Suomessa aikaisemmin vastaavaa mittauslauttaa asennettu.

Mittausasemalla (Kuva 3) mitattiin säätiedot, veden lämpötila viidellä syvyydellä (-1,5; -5; -10; -15 ja -19 m) ja liuenneen hapen pitoisuus (O₂) neljällä syvyydellä (-5, -10, -15 ja -19 m). Tämän lisäksi mitattiin veden *a*-klorofylli- (Chl-*a*), sinilevä-, ja nit-

riitti- +nitraattityyppipitoisuutta ($\text{NO}_x\text{-N}$), sekä sameutta noin 1,5 m syvyydellä. Antureiden perustiedot on esitetty taulukossa 2. Säätiiedot (tuulen suunta ja nopeus, sadanta, ilman lämpötila, ilmanpaine ja kosteus) mitattiin Vaisalan WXT510 -säälähettimellä. Lisäksi vuonna 2008 oli asemalla käytössä jatkuvatoiminen virtausmittari pintakerrokseen asennettuna. Lautan mittaamat säätiiedot taltioitiin 10 minuutin ja muut tiedot tunnin välein (1 minuutin mittausaika). Mittaustiedot välitettiin GSM -verkon välityksellä Luode Consulting Oy:n valvomoon ja ne olivat kaikkien saatavilla internetissä.

Lautan ulkomitat olivat 3 m x 3 m x 0,5 m (Kuva 3). Lautan rakennusmateriaaleina olivat rotaatiovallettu polyeteeniputki sekä painekyllästetty puutavara. Asema ankkuroitiin neljästä kulmasta painoilla, jotka koostuivat kahdesta 320 kg:n betonipölkystä. Keskellä lautaa oli 1,4 m korkuinen laitekoppi. Kopin katolle, noin 2 m korkeudella järven pinnasta, asennettiin säälähetin. Lautan sähköt tuotettiin kahdesta 60Ah akusta. Asemalla oli lisäksi paineilmapullo, jolla puhdistettiin automaattisesti optiset anturit. Happi- ja lämpötilaanturit puhdistettiin mekaanisesti noin viikon välein. Huoltokäynnin yhteydessä tarkistettiin myös optiset anturit.

2.1.2.2 Antureiden kalibrointi ja mittaustarkkuudet

Lautta mittareineen kesti hyvin kovat tuulet ja aallokot. Kovien tuulten vuoksi jouduttiin viikon huoltovälissä muutaman kerran tinkimään. Tuloksia jouduttiin kuitenkin hylkäämään vain yhden kerran (viikon sameusmittaukset anturin likaantumisen vuoksi elokuun puolivälissä 2009). Lisäksi lokakuussa 2008 tuulimittaukset eivät olleet luotettavia lintujen aiheuttaman laitevian vuoksi. Vuonna 2009 sääaseman lintusuojausta parannettiin, ja tuulianturi toimi koko ajan luotettavasti.

Tehdaskalibroituille antureille tehtiin puhtasvesikalibrointi (sameus, $\text{NO}_x\text{-N}$) tai otettiin käyttöön Suomen oloissa aikaisemmin käytetyt korjauskertoimet (Chl-a, sinilevä). Happianturit kalibroitiin vesialtaassa 100 % saturaatiossa.

Lautalta otettiin kontrollinäytteet pintavedestä noin viikon välein vuonna 2008 ja seurantanäytteenoton yhteydessä vuonna 2009. Vertailuun lauttamittausten kanssa otettiin vuonna 2009 mukaan myös seurantanäytteenoton tulokset. Seurantanäytteet otettiin 1-2 kertaa kuukaudessa. Lauttamittauksiin tehtiin korjauskertoimet kontrolli- ja syvänetulosten perusteella molempien mittauskautien jälkeen lukuun ottamatta lämpötila-antureita ja kahta happianturia (vuonna 2009). Lauttatulosten tarkkuuksia on esitetty taulukossa 3.



Kuva 3. Mittauslautan hinaus Pyhäjärven syvänteelle toukuussa 2009. Kuva Kari Kallio.

Taulukko 2. Pyhäjärven mittauslautan anturit (optiset, happi ja lämpötila).

Anturi	Valmistaja	Tyyppi
Chl-a	Trios	Micro Flu chl fluoresenssi 470/685nm
sinilevä	Trios	Micro Flu blue fluoresenssi 625/655nm
$\text{NO}_x\text{-N}$	S::can	Nitro::lyser spektraalinen 200-700nm
sameus	S::can	Nitro::lyser spektraalinen 200-700nm
O_2	Marvet	lyijy-nikkeli
lämpötila	Marvet	NTC
pintalämpötila	S::can	-

Taulukko 3. Korjattujen lauttatulosten ja laboratorionäytteiden tilastollinen vertailu vuonna 2009. Lauttatuloksille laskettiin mittausjakson jälkeen korjauskertoimet laboratorionäytteiden avulla kaikille muuttujille paitsi hapelle (5 ja 15 m) ja lämpötilalle. R^2 = hyvyysaste korjattujen tulosten ja kontrollinäytteiden välillä, rmse = rms-virhe, $\text{rmse}\%$ = rmse suhteutettuna laboratorionäytteiden keskiarvoon (%).

Muuttuja	Syvyys (m)	N	R^2	rmse	$\text{rmse}\%$
Chl-a	1,5	19	0,93	1,1 $\mu\text{g l}^{-1}$	16
sinilevät	1,5	5	-	-	-
sameus	1,5	18	0,64	0,6 FNU	25
$\text{NO}_x\text{-N}$	1,5	10	0,61	6,5 $\mu\text{g l}^{-1}$	-
O_2	5	8	0,95	0,5 mg l^{-1}	5
	10	9	0,72	0,9 mg l^{-1}	10
	15	10	0,80	0,9 mg l^{-1}	11
	19	9	0,88	1,6 mg l^{-1}	20
T	1,5	11	1,00	0,3 $^{\circ}\text{C}$	2
	5	9	1,00	0,2 $^{\circ}\text{C}$	1
	10	9	1,00	0,4 $^{\circ}\text{C}$	3
	15	10	0,98	0,7 $^{\circ}\text{C}$	4
	19	9	1,00	0,2 $^{\circ}\text{C}$	2

Sinileväfluorometrin mittausta muutettiin biomassaksi käyttäen Hiidenvedellä saatuja muuntokertoimia (Kiirikki ym. 2005). Tähän tehtiin tasokorjaus Pyhäjärven seitsemän kasviplanktonlaskennan tuloksen perusteella. Chl-a:n kohdalla saatiin hyviä tuloksia standardikorjauksella touko-heinäkuussa 2009, mutta sinileväaikaan tulokset olivat selviä aliarvioita (Kuva 4). Tämä johtuu siitä, että sinilevissä suurin osa Chl-a:sta sijaitsee ei-fluoresoivassa fotosysteemi I:ssä (Bryant 1986). Koko mittausjaksolle saatiin kuitenkin yhdellä korjauskaavalla hyvä tulos, kun Chl-a:n korjaukseen otettiin mukaan selittäväksi tekijäksi sinileväfluorometrin tulokset. Samaa korjausmenetelmää on aikaisemmin käytetty Itämerellä (Seppälä ym. 2007). Kaikki korjauskertoimet on esitetty toisessa raportissa (Kallio ym. 2010).

2.1.2.3 Vedenlaatu syksyllä 2008 ja avovesikaudella 2009

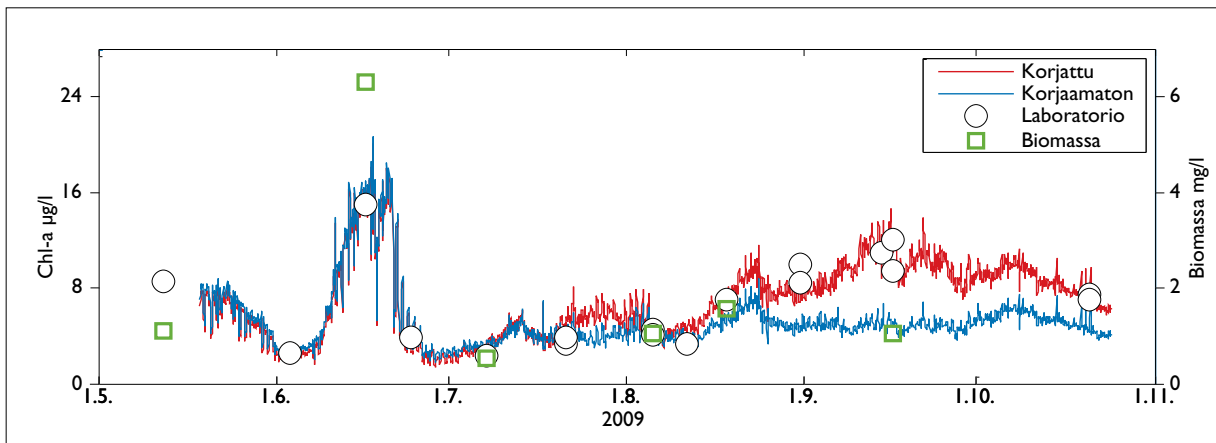
Vuoden 2008 runsaan kahden kuukauden mittausjakson aikana vesimassa oli koko ajan sekoittunut pohjaan asti (Kuva 5). Chl-a:n vaihtelut olivat melko pieniä. Sinileväbiomassan huippu oli tulosten mukaan syyskuun alkupuolella ja sameus oli korkeimmillaan lokakuun alkupuolella. Lautalla mitattujen tulosten vastaavuus laboratorionäytteiden kanssa oli hyvä.

Vuonna 2009 oli useita kerrostumisjaksoja, joiden aikana mitattiin happipitoisuuden vähenemistä syvemmissä kerroksissa. Elokuun puolivälin jälkeen ei kerrostumista enää havaittu (Kuva 5). Kesäkuussa 2009 havaittiin harvinaisen korkeita piileväkukinnasta johtuvia klorofyllipitoisuuksia, kun taas elokuun puolivälin jälkeen sinilevät runsastuivat. Chl-a:n vastaavuus laboratorionäytteiden kanssa oli erittäin hyvä (Kuva 4). Sameudun arviointitarkkuus oli hieman huonompi kuin Chl-a:lla. Tämä johtuu ainakin osittain siitä, että sameusmittarin mittaustarkkuus (0.5 FNU) oli melko huono Pyhäjärven tyypillisiin arvoihin nähden. Kasviplankton sitoo keväällä tyypeä tehokkaasti ja kesällä hajotustoiminnan yhteydessä vapautunut nitraatti sitoutuu nopeasti kasviplanktoniin, joten $\text{NO}_x\text{-N}$ pitoisuudet olivat kesäkuun alusta lähtien lähellä anturin ja laboratoriomäärityksen määrittämissä rajoja.

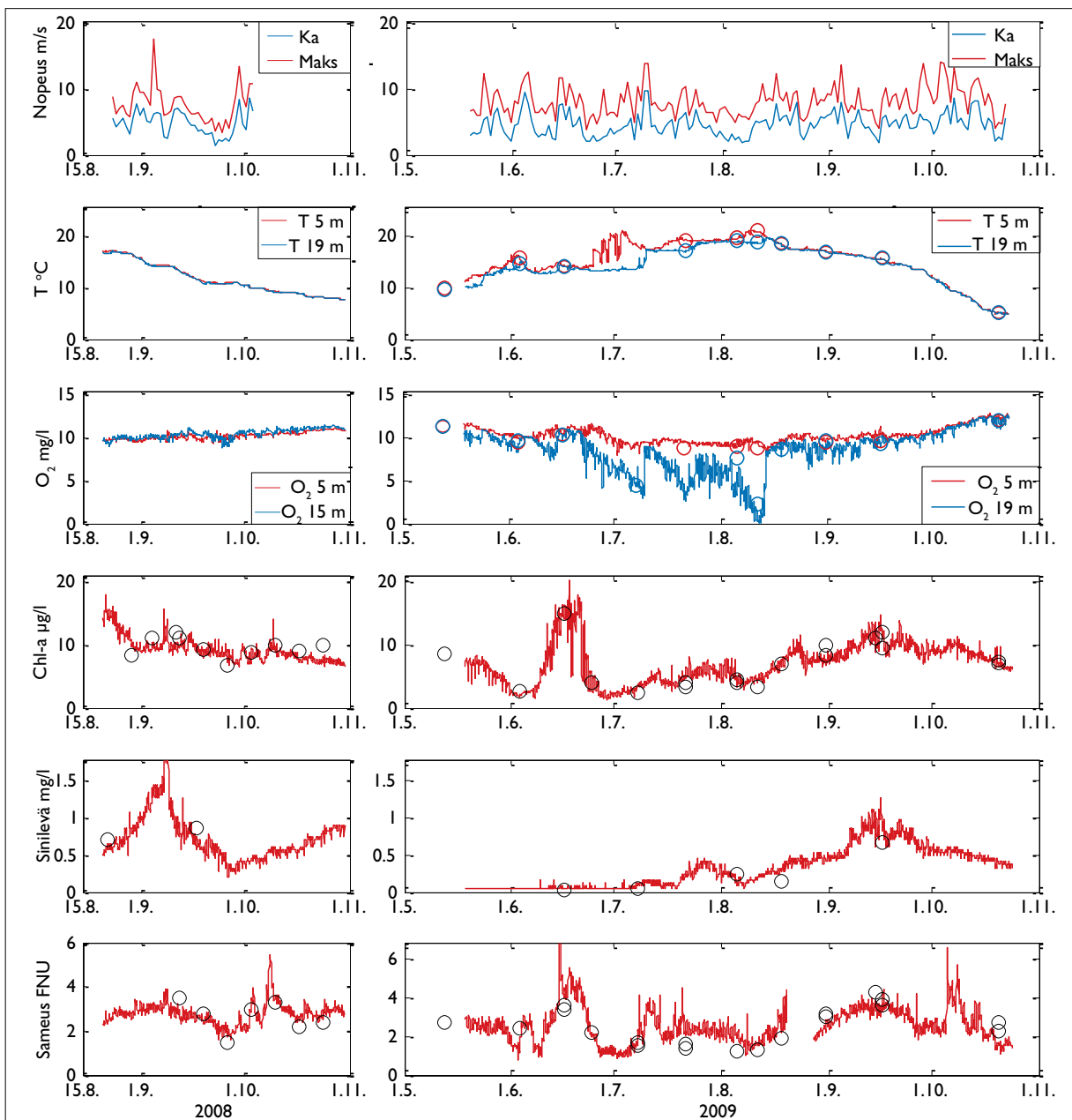
2.1.2.4 Tulosten käyttö ja johtopäätökset

Mittaukset osoittivat, että luotettavat automaattimittaukset ovat mahdollisia Pyhäjärven kaltaisella suurella järvenselällä. Huomionarvoista on myös se, että samanaikaisesti saatiin mittauksia monesta muuttujasta (kuudesta vedenlaatu muuttujasta, kuudesta säämuuttujasta sekä virtausnopeudesta ja virtauksen suunnasta). Tieto muuttujien dynamiikasta, eri muuttujien mittaustulosten yhteiskäyttö ja tulosten yhdistäminen muihin menetelmiin antavat uutta tietoa järven toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä.

Eri syvyyksissä tehtyjen jatkuvien lämpötilamittausten avulla saatiin Pyhäjärvellä tehokkaasti selville kerrostuneisuustilanteet ja niiden kesto (Kallio ym. 2010). Happiantureilla saadaan lisäksi tarkkaa tietoa happitilanteen kehittymisestä, jonka avulla voidaan arvioida fosforin vapautumis potentiaalia pohjasta. Kun kerrostuneisuus häviää kovien tuulten vaikutuksesta, tulevat ravinteet kasviplanktonin käyttöön. Elokuun puolivälissä 2009 yksittäisen seurantanäytteen perustella Pyhäjärvellä fosforipitoisuus pohjan lähellä nousi kerrostuneisuuden aikana ja kerrostuneisuuden purkautuessa klorofyllipitoisuudet nousivat (Kuva 5). Jatkuvatoimisia mittauksia voidaan myös käyttää ohjaamaan näytteenottoa ajankohtiin, jolloin järvessä tapahtuu sen tilan kannalta merkittäviä ilmiöitä.



Kuva 4. Chl-a:n korjattu ja korjaamaton aikasarja 2009. Korjatussa aikasarjassa on selittävänä tekijänä mukana sinileväfluorometrillä arvioitu sinileväbiomassa. Kuvassa on esitetty myös Chl-a:n laboratoriotulokset ja mikroskooppilaskentaan perustuvat kasviplanktonin biomassat (Kallio ym. 2010, käsikirjoitus).



Kuva 5. Tuulen nopeuden (vrk keskiarvo ja maksimiarvo), lämpötilan, hapen, klorofyllin, sinileväbiomassan ja sameuden korjatut aikasarjat Pyhäjärvellä 2008 (vasemmalla) ja 2009 (oikealla). Ympyrät ovat laboratoriossa mitattujen kontrolli- tai syvännenäytteiden tuloksia. Lämpötila- ja happitulokset on esitetty kahdella syvyydellä. Muut muuttujat on mitattu 1,5 m syvyydessä.

Tiheiden klorofyllimittausten avulla saatiin aikaisempaa tarkemmin selville Pyhäjärven rehevyystaso sekä kasviplanktonkukintojen voimakkuus ja kesto. Kasviplankton- ja sinilevädynamiikan tunteminen antaa myös paremmat edellytykset selvittää näihin vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Mittausten aikana internetissä reaaliajassa nähtävillä olleet tulokset herättivät huomattavaa kiinnostusta. Samoin yhteistyö Pyhäjärven järvipelastajien kanssa oli oleellista (esim. Lepistö ym. 2009).

Tämäntyyppiset mittaukset mahdollistavat jatkossa myös reaaliaikaisen tiedottamisen leväkukinnoista valituissa edustavissa järvikohteissa. Automaattimittausten yhteiskäyttö muiden menetelmien (kaukokartoitus ja järvimallinnus, katso luvut 2.2.3 ja 2.3.6) kanssa tehostavat myös järven tilan seuranta ja suojelua. Esimerkiksi automaattimittauksilla saadaan käsitys yksittäisen kaukokartoituskuvan arvioinnin tarkkuudesta ja kuvan perusteella saadaan selville vedenlaadun alueellinen jakauma.

2.2

Kaukokartoitus

Sampsa Koponen, Kari Kallio, Timo Pyhälähti

2.2.1

Kaukokartoituksella tietoa alueellisesta veden laadusta

Vedenlaadun lähes päivittäiseen seurantaan soveltuvilla satelliitti-instrumenteilla (esim. Envisat MERIS, Terra/MODIS ja Aqua/MODIS) voidaan tuottaa pilvettömiltä alueilta teemakarttoja erilaisten vedenlaatua kuvaavien muuttujien (klorofylli-a, humus/CDOM, kiintoaine, sameus ja näkösyvyys) arvoista. Satelliittikuvista tehtyjä teemakarttoja voidaan käyttää sekä määrittäessä järvimallinnuksen muuttujien alkuarvoja että arvioitaessa 3D-mallin tuottamien alueellisesti jakaantuneiden muuttujien oikeellisuutta. Käytettäessä yhden sijasta useampia satelliittikuvia päästään seuraamaan järvien vedenlaadussa tapahtuvia alueellisia muutoksia ajan funktiona. Tällaista havaintoaineistoa voidaan käyttää myös havaintojen assimilaatioon malleihin, jolloin laskettuja estimaatteja korjataan ajan edetessä saatavilla havainnoilla. Aikasarjoja käytettäessä on kuitenkin tarkasti tunnettava eri ajankohtien mittausero-geometria, ilmakehän tila (aerosolit, kosteus yms.) ja erilaisten satelliitti-instrumenttien tuottamat erot.

2.2.2

Satelliittikuvien tulkintamenetelmät ja vertailu maastomittauksiin

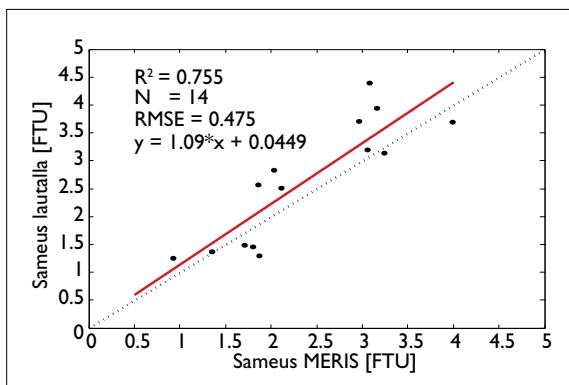
Kesän 2009 sääolosuhteet Pyhäjärveltä olivat hyvät satelliittimittauksia varten. Alkukesän (jäiden lähdöstä heinäkuun alkuun) aikana saatiin 15 käyttökelpoista MERIS kuvaa. Heinäkuun alusta syyskuun loppuun hyviä kuvia tuli 5. Mittauslautan toiminta-aikana saatiin yhteensä 15 MERIS -kuvaa.

Satelliittikuvien tulkinnassa käytettiin hyväksi lautan mittaamia vedenlaatutietoja. MERIS LAKES -projektissa (Doerffer ja Schiller 2008) kehitettyjä dataproessoreita käytettiin tuottamaan alustava arvio vedenlaadusta (Koponen ym. 2010). Näitä tuloksia verrattiin lautan tuloksiin (Kuva 6), jolloin saatiin selville miten hyvin MERIS -tulokset vastaavat maastomittauksia ja millaista korjausta mahdollisesti tarvitaan.

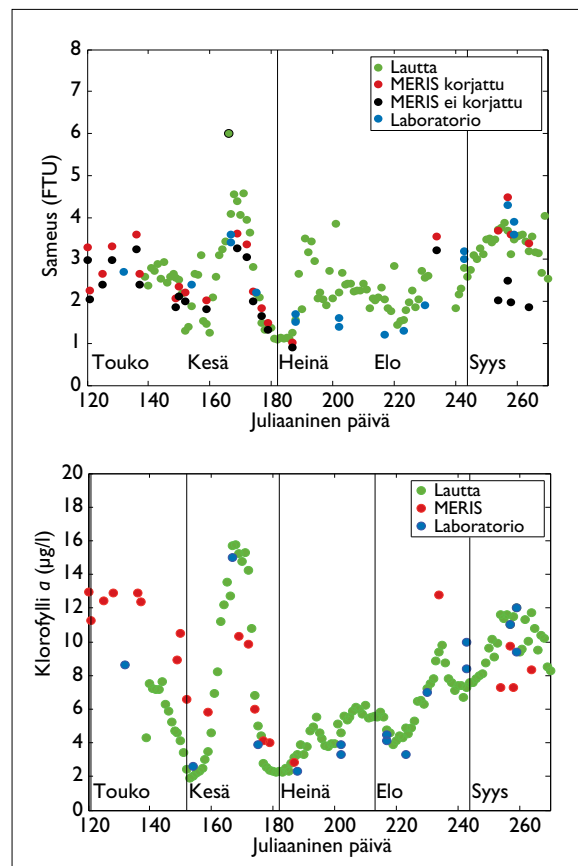
Korjauskertoimia käyttämällä piirrettiin aikasarjakuvia (Kuva 7), joiden avulla vedenlaadun käyttäytymistä ajan funktiona voidaan tutkia. Kesän 2009 tapauksessa MERIS -sameustulokset seuraavat hyvin maastohavaintoja:

1. Loppukeväällä havaitaan korkeita (~3 FTU) sameusarvoja
2. Kesäkuun alkuun mennessä sameusarvot laskevat (~2 FTU)
3. Kesäkuun puoleessa välissä havaitaan leväkukintaan liittyviä korkeita arvoja (3-4 FTU)
4. Kukinnan jälkeen sameusarvot jälleen laskevat kesän minimiin (~1-2 FTU)
5. Elokuussa sameus nousee (~4 FTU), kun sinilevät alkavat kasvamaan

Myös MERIS-klorofyllituloksissa havaitaan vuodenajasta riippuvia vaihteluita, jotka seuraavat lautamittaamia arvoja, mutta MERIS-arvion absoluuttitaso on usein väärin. Esimerkiksi keväällä MERIS yliarvioi pitoisuuksia. Kesäkuun leväkukinta havaitaan nousseina klorofylliarvoina, mutta MERIS -arvio ei yllä yhtä korkeisiin arvoihin kuin lauttamittaukset. Myös syksyllä sinileväaikaan MERIS aliarvioi klorofyllipitoisuuksia (kuva 7).



Kuva 6. Lautalla mitatun sameuden ja MERIS sameuden vertailu. R^2 on selitysaste, N on datapisteiden lukumäärä, RMSE on keskivirhe ja yhtälö sisältää sovitusyhtälön (punainen viiva) kertoimet. Sovitusyhtälöä ei ole pakotettu menemään origon kautta. Musta katkoviiva on 1:1 viiva.



Kuva 7. Sameuden ja klorofyllin aikasarjat Pyhäjärvellä kesällä 2009 eri menetelmin arvioituna. Sameuskuvassa 'MERIS ei korjattu' tulos on prosessorin suoraan antama tulos.

Kaukokartoituskuvien avulla saadaan käsitys koko vesialueen pintaveden tilasta. Piirtämällä teemakuvia (Kuvat 8 ja 9) voidaan tutkia millaisia arvoja sameus ja klorofylli saavat järven eri osissa eri vuodenaikoina. Kevään kuvissa näkyy hyvin Yläneenjoen kevättulvakautena tuoma kiintoaine- (ja ravinne)kuormitus, joka samentaa järven eteläosaa. Syksyn kuvissa näkyy laikukkaita sinileväkukintoja.

Myös Luode Oy:n veneessä oleva läpivirtauslaitteisto tuottaa mittaustuloksia järven eri osista. Nämä linjamittaukset ovatkin erinomaista vertailuaineistoa satelliittitulosten arviointiin. Samalla menetelmällä kesän eri aikoina toistettu mittaus tuottaa uutta tietoa esim. sinileväkukintojen ja ravinnepitoisuuksien kehittymisestä järven eri osissa (Lepistö ym. 2010).

Toukokuun 2006 satelliittikuvassa MERIS -tulokset on laskettu käyttämällä empiirisiä 1-kanava- ja kanavasuhdealgoritmeja. Kuvista nähdään, että vastaavuus maasto- ja satelliittimittausten välillä on hyvä, erityisesti sameuden osalta (Kuva 10). Sameuskuvassa MERIS havaitsee jokikuormituksen aikaansaamat korkeat sameusarvot järven eteläpäässä, pohjoisosan pysyessä kirkasvetisenä. Klorofyllin suhteen erot näiden menetelmien välillä ovat hieman suurempia ja MERIS -kuvan tulokinnassa on ranta-vaikutuksesta johtuvia virheellisen suuria arvoja.

Laajentamalla kuva-aluetta voidaan tarkastella esimerkiksi koko Etelä-Suomen järvien tilannetta. NASA:n Terra ja Aqua -satelliiteissa oleva MODIS -instrumentti soveltuu myös sameuden arviointiin (Kuva 11). Arvioinnissa käytetty MODIS -kuva on otettu samana päivänä, 9.5.2006, kuin kuvassa 10 käytetty MERIS-kuva, ja myös MODIS -kuvassa näkyy Pyhäjärven eteläosan samentuminen jokikuormituksen vaikutuksesta. Sama ilmiö näkyy hyvin myös monissa muissa järvissä, Lounais-Suomen rannikkovesissä ja Kokemäenjoen suistoalueella. MODIS -kuvasta tehty arvio perustuu empiiriseen menetelmään, jossa satelliitin mittaus on kalibroitu maastomittausten avulla. Maastomittaukset on tehty järvillä ja merialueilla näkyvät arvot ovat suuntaa-antavia.

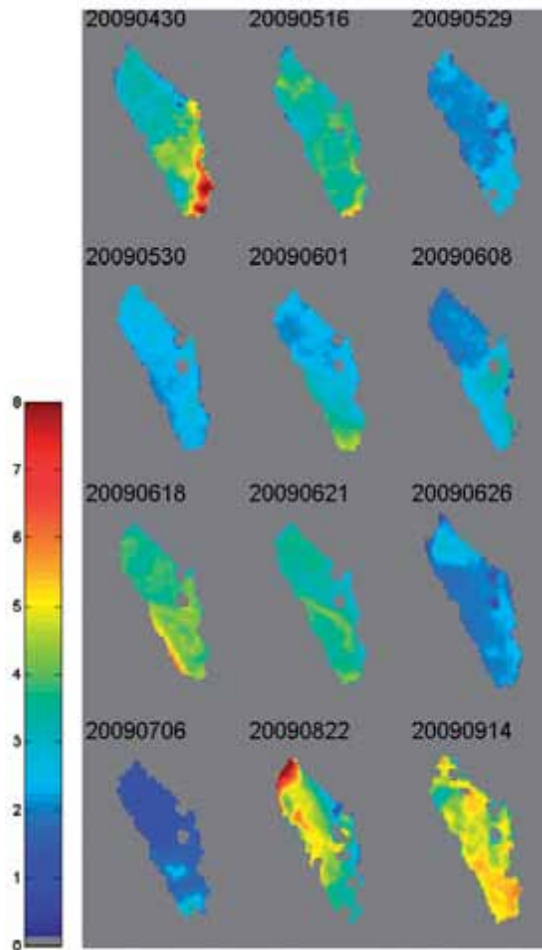
2.2.3

Tiedonhallinnan kehittäminen

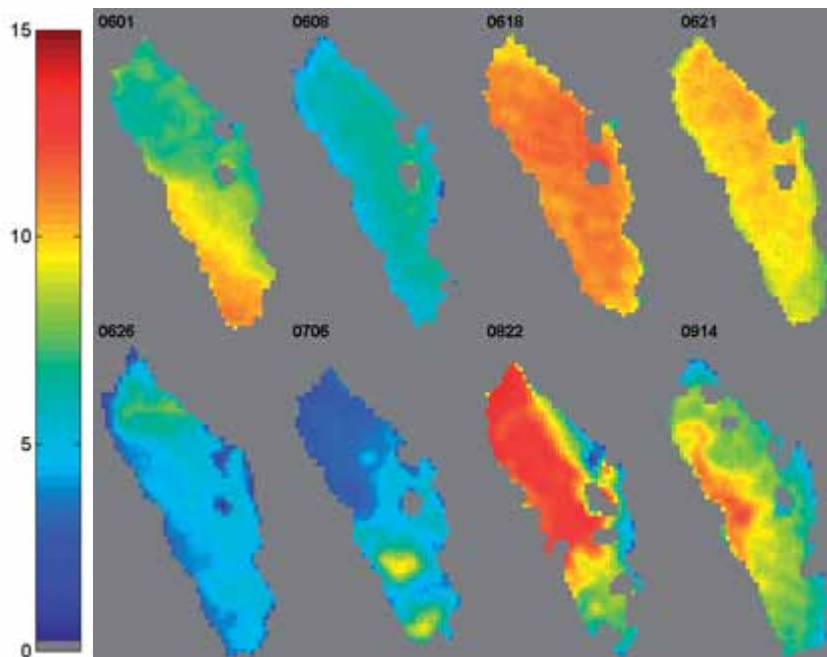
Operatiivinen kaukokartoituspalveluiden tuotanto tarkoittaa rutiininomaista, satelliittien kuvaamien havaintoaineistojen muuntamista ja tulkitsemista pintavesien laatua kuvaaviksi kartta-aineistoiksi. Operatiivisen kaukokartoituksen kehitystyön tuloksena esimerkiksi sameuskarttoja julkaistaan säännöllisin väliajoin verkkosivuilla. Karttojen laatua valvotaan siten, ettei automaattisten tulkinta-algoritmien tuottamia aineistoja anneta korjaamattomina loppukäyttäjille. Lisäksi karttatiedon loppukäyttäjille voidaan - ja kannattaa - tarjota koulutusta karttojen ominaisuuksista ja tarkkuudesta. Voidaan myös kehittää tietojärjestelmiä joiden avulla tulkittua tietoa voidaan hakea käytettäväksi yhdessä muiden tietojen kanssa.

Operatiivisen palveluntuotannon haasteet nousevat esiin pyrittäessä järjestämään pitkäaikaisten seurantojen toteuttamista kaukokartoitusmenetelmin. Sen lisäksi että satelliitti-instrumenttien ominaisuudet muuttuvat, erityisesti toisiaan seuraavien instrumenttityyppien aallonpituus-, tarkkuus- ja herkkyysominaisuuksien suhteen, myös havaintojen tulkintaan käytetyt algoritmit kehittyvät ja muuttuvat ajan myötä. Myös aineiston esikäsittelymenetelmät vaikuttavat lopputuloksiin, varsinkin jos pyritään käyttämään samaa havaintoaineistoa mahdollisimman monen muuttujan tulokinnassa: sama ilmakehäkorjaus esimerkiksi ei tyypillisesti sovi maa-alueiden parametrien ja veden sameuden tulkintaan yhtäpitävästi useilta erillisiltä satelliittikuvilta.

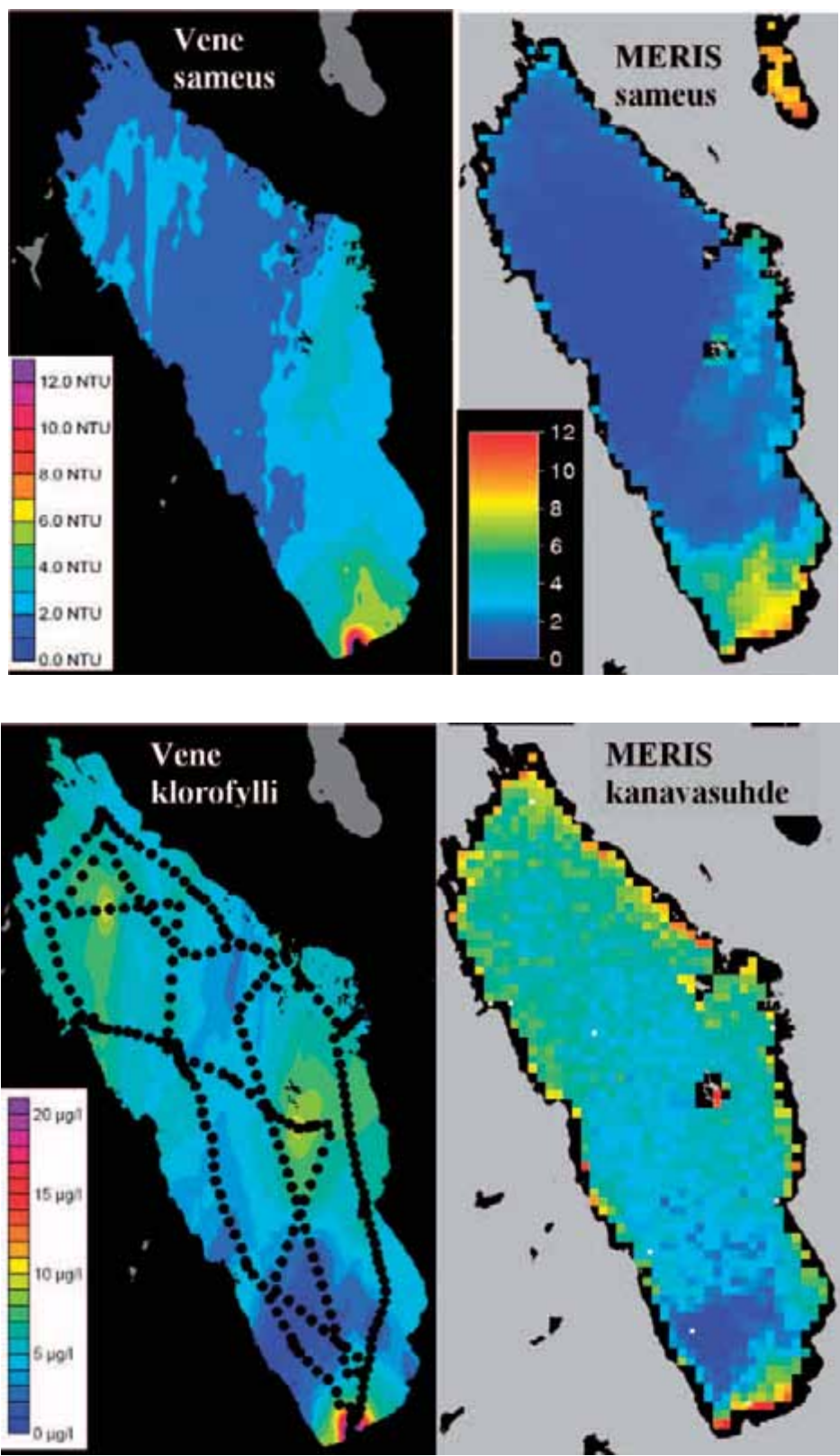
Hankkeen tutkijavierailulla saksalaisen EOMAP GmbH:n vieraana Münchenissä tutkittiin MIP -prosessorin käyttöä veden laatua kuvaavien muuttujien tulkintaan. Havaittiin, että se ei ole helposti asennettavissa SYKEssä käytössä oleviin automaattisiin operatiivisen palveluntuotannon järjestelmiin. MIP -prosessorin käyttö vaatii



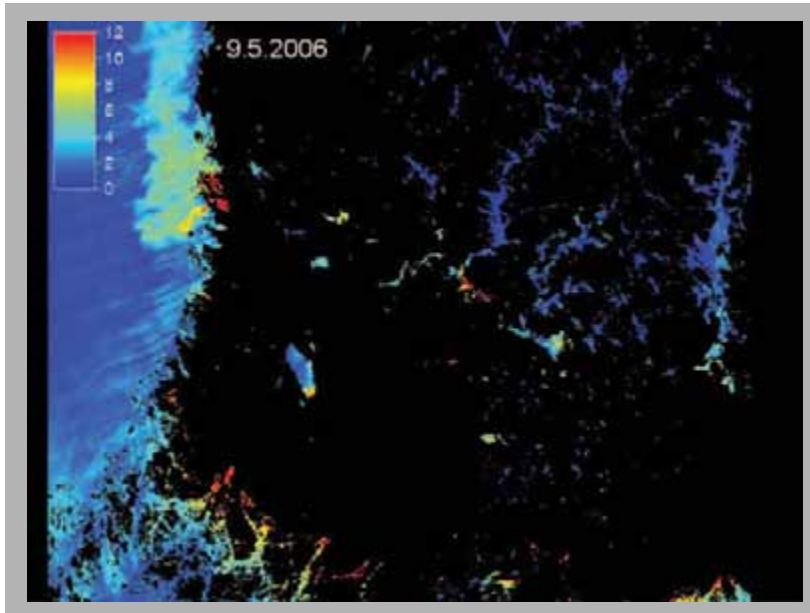
Kuva 8. MERIS kuvista arvioituja sameuskarttoja (FTU) Pyhäjärvellä vuonna 2009 (30.4.-14.9.2009).



Kuva 9. MERIS kuvista arvioituja klorofyllikarttoja ($\mu\text{g/l}$) Pyhäjärvellä kesä-syyskuussa 2009.



Kuva 10. Sameus ja klorofylli Pyhäjärvenssä 9.5.2006, perustuen a) liikkuvasta veneestä läpivirtausinstrumentilla mitattuihin arvoihin, sekä b) arviointiin saman päivän MERIS satelliittikuvasta. Vasemmassa klorofyllikuvassa veneen reitti on merkitty mustalla pisteiviivalla.



Kuva II. TERRA/MODIS satelliittikuvasta arvioitu sameus 9.5.2006. Arvio perustuu empiiriseen menetelmään, jossa satelliitin mittaus on kalibroitu maastomittausten avulla. Maastomittaukset on tehty järville ja merialueilla näkyvät arvot ovat suuntaa-antavia.

sekä suurta harjaannusta että manuaalista työtä haettaessa sopivia parametreja, joten prosessorilla tuotettuja palveluita on parempi hankkia suoraan kyseiseltä yritykseltä. Vierailun aikana kehitettiin konsepti, jolla eri instituuteissa ja yrityksissä saatavilla olevat operatiivisen palveluntuotannon palvelut voitaisiin kytkeä toisiinsa.

2.2.4

Satelliittikuvien aikasarjat uuden ympäristönseurannan työkaluna

Tulokset osoittavat, että varsinkin sameuden arvioiminen onnistuu hyvin MERIS-kuvista. Tarvittava korjaus on pieni ja MERIS-tulos vastaa hyvin maastossa mitattuja arvoja. Klorofyllin arvioimisessa sen sijaan on vielä vaikeuksia. Klorofyllin ajallinen vaihtelu onnistutaan havaitsemaan, mutta mitatut pitoisuudet eivät korjauksen jälkeenkään aina ole samalla tasolla maastotulosten kanssa (esim. toukokuun ja kesäkuun kukinnat sekä sinileväaika). Yksi selitys tälle on se, että MERIS-prosessorin kehittämisessä käytetyn bio-optisen mallin oletukset levän absorptio- ja sirontaominaisuuksista eivät pidä paikkaansa joka tilanteessa. Käyttämällä erilaisia kertoimia eri ajankohtina (kuten tehtiin myös sameuden tapauksessa) voidaan saada parempia tuloksia. Tämä vaatii Pyhäjärven veden optisten ominaisuuksien tarkkaa selvittämistä erityisesti sinileväaikaan. Lisäksi tulevan säteilyn määrän havaittiin vaikuttavan lautauksen fluorometrillä arvioituihin klorofylliarvoihin. Tämän ilmiön vaikutusten poistaminen tuloksista vaatii vielä lisätutkimuksia.

Kehitetyt aikasarjat antavat uutta tietoa järven tilasta. Esimerkiksi kesäkuussa havaittu piileväkukinta oli yllättävä. Tavallisesti ravinteet ovat kesäkuussa loppuneet pintavedestä ja leväpitoisuudet ovat pieniä. Nyt kesäkuun alun voimakkaat tuulet olivat ilmeisesti aikaansaaneet ravinteikkaan pohjalla olevan veden sekoittumista pintavedeen luoden hyvät olosuhteet levien kasvulle. Valitettavasti ajankohta oli pilvinen ja kukinnan ollessa voimakkaammillaan saatiin vain yksi MERIS-kuva, joten ilmiön kartoitus satelliitista käsin ei onnistunut.

Valuma-alue- ja järvimallien ketjuttaminen

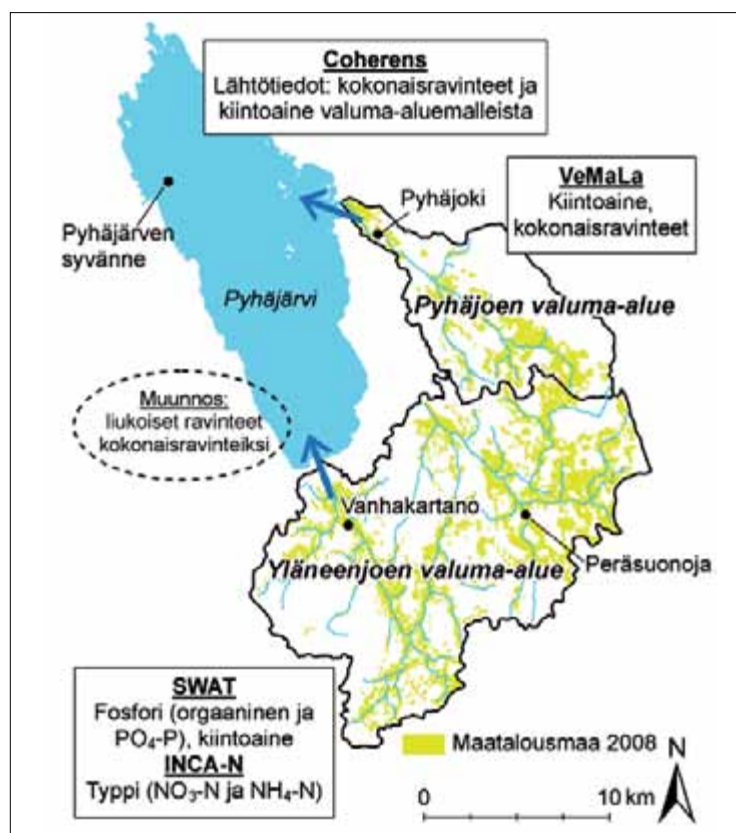
Sirkka Tattari, Kirsti Granlund, Jari Koskiahho, Ninni Liukko, Kai Rasmus

2.3.1

Mallinnuksen tavoitteet

Matemaattiset mallit tuottavat tietoa ympäristönsuojelun ja ympäristöpoliittisen päätöksenteon tueksi. Mallit auttavat ymmärtämään ekosysteemien toimintamekanismeja ja niillä voidaan testata tieteellisiä hypoteeseja. Malleilla voidaan arvioida vaihtoehtoisia kehityskulkuja, sitä miten voidaan tehokkaimmin ja taloudellisimmin vähentää ympäristön kuormitusta.

Aiemmin valuma-alue- ja järvimalleja pyrittiin konkreettisesti kytkemään toisiinsa, mutta nykyään on siirrytty enemmän mallien ketjuttamiseen. Ketjuttamisessa valuma-aluemallin tulomuuttujia käytetään järvimallin lähtötietona. Tässä hankkeessa kohteena oli Satakunnan Pyhäjärvi (154 km²) valuma-alueineen, ensisijaisesti Yläneenjoen vesistöalue (Kuva 12). Kun monimutkaisia, prosessipohjaisia malleja ketjutetaan, se kannattaa tehdä aina mahdollisimman läpinäkyvästi, jotta tiedetään mitkä tekijät vaikuttavat lopputulokseen. Tässä työssä on ensimmäisen kerran Suomessa käytetty vuorokauden aika-askeleella laskettuja valuma-aluemallin tulomuuttujia järvimallin lähtötietona. Tulomuuttujat laskettiin kolmen erilaisen valuma-aluemallin, SWAT:in,



Kuva 12. Pyhäjärveen laskevien Yläneenjoen ja Pyhäjoen valuma-alueet, ja tärkeimmät ravinnevirrat järveen. Lisäksi valuma-aluemallien tulomuuttujat, joita käytettiin järvimallin syöttömuuttujina sekä tärkeimmät näytteenottopisteet (Yläneenjoki Vanhakartano, Peräsuonoja, Pyhäjoki, ja Pyhäjärven syväne).

INCA:n ja VeMaLa:n avulla ja tuotetut vedenlaatumuuttajat syötettiin Coherens-järvimalliin lähtötiedoiksi (Kuva 12). Malleista SWAT, INCA ja Coherens edustavat prosessipohjaisia malleja, kun taas VeMaLa voidaan luokitella ravinnekuormituksen arviointijärjestelmäksi. Mallitulosten lisäksi järvimallin syöttötietona käytettiin myös vesinäytteenotolla saatuja mittauksia.

2.3.2

Valuma-aluemallit SWAT, INCA-N ja VeMaLa sekä Coherens- järvimalli

SWAT -malli (Soil and Water Assessment Tool) <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html> on Yhdysvalloissa kehitetty (prof. Raghavan Srinivasan, Texas A&M University, USA) valuma-aluepohjainen malli, jolla simuloidaan vuorokauden aika-askeleella ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumista. Mallin lähtötietoina käytetään säätitietojen lisäksi kolmea karttapohjaista aineistoa: korkeusmallia, maaperä-, ja maankäyttöaineistoja. Näiden pohjalta muodostetaan alueen uoma- ja osavaluma-alueverkosto. Malli on alun perin kehitetty veden, maa-aineksen ja kemikaalien (ravinteet, torjunta-aineet ja raskasmetallit) kulkeutumisen arviointiin pitkällä aikavälillä suurilta valuma-alueilta joissa maalajit, maan käyttömuodot ja niissä toteutettavat käytännöt vaihtelevat paljon. Mallilla voidaan arvioida erilaisten maankäytön ja viljelykäytäntöjen muutosten ja vesiensuojelu-toimenpiteiden (kosteikot, laskeutusaltaat ja suojavyöhykkeet) vaikutuksia aineiden huuhtoutumiseen.

INCA-N (Integrated Nitrogen in CA tchments, <http://www.reading.ac.uk/inca/home.htm>) (Whitehead ym. 1998, Wade ym. 2002) on osittain hajautettu prosessipohjainen malli, jolla simuloidaan typen huuhtoutumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä jokivesistöalueilla. INCA-N simuloi vuorokauden aika-askeleella veden virtausta ja epäorgaanisen typen prosesseja valuma-alueen maaperässä ja jokivedessä. Malli laskee lisäksi lumipeitteen paksuuden, lumen vesiaron ja maan lämpötilan. INCA-N sisältää kolme maaperän osiota, joissa hydrologia ja typpikulkeuma lasketaan: pinta-valunta, maan reaktiivinen kerros ja pohjavesivarasto. Malli sisältää tärkeimmät epäorgaanisen typen prosessit maaperässä. Jokivedessä lasketaan nitrifikaatio ja denitrifikaatio. Typen prosessit voidaan laskea kuudessa erilaisessa maankäyttöluokassa. INCA-N tarvitsee hydrologista lähtötietoa (sadanta, valuntaa muodostava tehollinen sadanta, maavesivaraston vajuus, ilman lämpötila) sekä mm. tietoja maankäytöstä, viljelykasveista ja maaperästä. Mallilla voidaan arvioida maankäytön muutosten (myös viljelykäytännöt) ja ilmastonmuutoksen vaikutusta typpihuuhtoumaan.

Coherens -malli (Luyten ym. 1999) on 3-dimensioinen hydrodynaaminen malli, joka on alun perin tarkoitettu meri- ja rannikkoalueille (Management Unit for the Mathematical Models for the North Sea). Malliin on kytketty fysikaalinen osio, biologinen osio ja sedimenttimalli sekä moduulit haitallisten aineiden kulkeutumisesta varten, ja se soveltuu mesoskaalan ja vuodenaikaisskaalan ilmiöiden tutkimiseen. SYKE kehittää mallia aktiivisesti sekä meri- että järviympäristön käyttöä varten. Mallin kehitystyö tapahtuu yhdessä Tanskan ympäristöntutkimuskeskuksen, NERIn kanssa. Coherens -malli osoittautui hyvin toimivaksi malliksi hydrodynaamisten mallien vertailuhankkeessa, jossa kohdealueena oli Suomenlahti (Myrberg ym. 2010). CatchLake1 -hankkeessa havaittiin, että Säkylän Pyhäjärven vedenlaadussa on ajoittain selviä alueellisia eroja. Näin on mm. kevättulvan aikana ja sen jälkeen, sekä loppukesällä voimakkaan biologisen tuotannon aikana. Tästä syystä vedenlaadun ennustamisessa käytettiin 3D-mallia.

VeMaLa on dynaaminen ja vuorokauden aika-akselilla toimiva koko maan kattava automaattiseen kalibrointiin perustuva ravinnekuormituksen arviointijärjestelmä. Vesistömallijärjestelmällä simuloidaan koko Suomen maa-alueen hydrologista kiertoa ja luodaan reaaliaikaisia tulva-arvioita. Siihen on lisätty sekä fosforimalli (Huttunen ym. 2007) että viime vuonna koekäyttöön otettu typpi- ja eroosiokuormitusmalli.

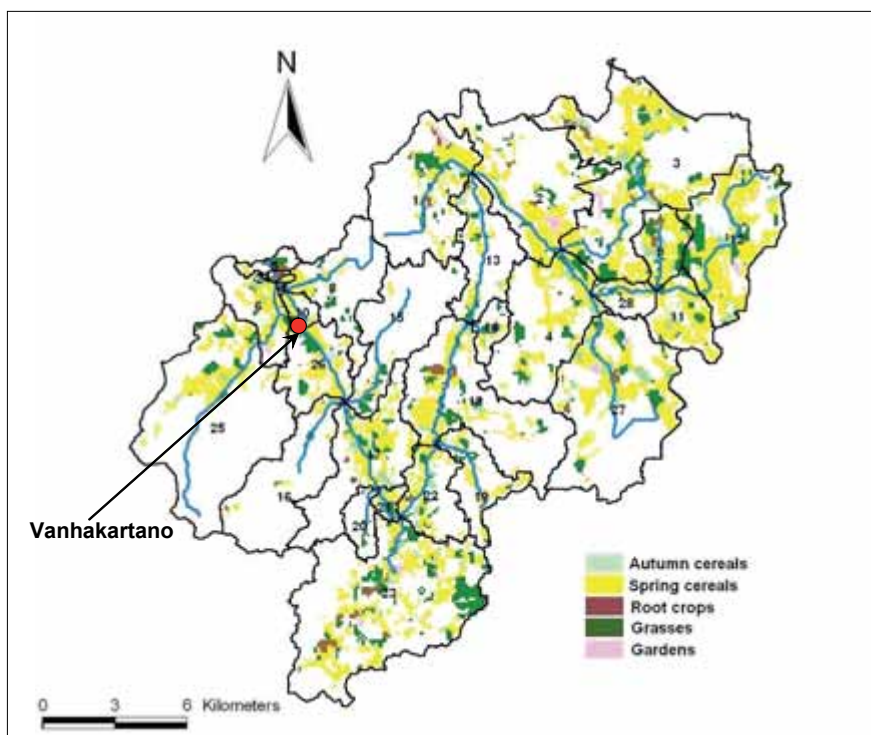
Vedenlaatumalli sisältää seuraavat osamallit: (1) valuma-alueen hajakuormituksen laskenta, (2) ravinteiden kulkeutuminen jokiuomissa ja (3) ravinteiden pidättyminen järviin. Mallin kehittämiseen ja kalibrointiin käytettiin jokien ja järvien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksia. Jos pitoisuushavainnot ei ole käytettävissä, alueen hajakuormituksen taso arvioidaan alueen maankäytön perusteella käyttäen VEPS -kuormituksen arviointijärjestelmää (Tattari ja Linjama 2004).

2.3.3

SWAT -mallin kalibrointi ja käyttökokemuksia

Hankkeen aikana Yläneenjoen valuma-alueelle (Kuva 13) laadittiin uusi SWAT -mallisovellus (Tattari ym. 2009), joka perustui osittain aiemmin tehtyyn sovellukseen (Bärlund ym. 2007). Kun aiemmassa työssä testattiin ylipäätään SWAT -mallin soveltuvuutta vesipuitedirektiivin edellyttämien vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arviointiin, nyt päättyneessä CatchLake2 hankkeessa puolestaan tutkittiin valuntaan ja kiintoainepitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ja testattiin malliin sisällytettyä herkkyys- ja autokalibrointityökalua.

SWAT -mallia käytetään maailmanlaajuisesti, joten mallin kalibrointiä erilaisissa hydrologisissa olosuhteissa ja tulosmuuttujiin vaikuttavien parametrien herkkyyttä ja epävarmuutta sekä mallin kykyä tuottaa luotettavia skenaarioita on tutkittu runsaasti (mm. Kumar ja Merwade 2009; Li ym. 2009; Bracmort ym. 2006). Kumar ja Merwade osoittavat, että esimerkiksi alivirtaamatilanteissa autokalibrointiä on syytä tarkentaa manuaalisella kalibroinnilla. He toteavat myös, että pienehkö merkittävien parametrien määrä vähentää mallin epävarmuutta, joka tukee jo aiempia näkemyksiä siitä että SWAT -malli on luultavasti hieman yliparametrisoitu. Samaan tulokseen päätyivät myös Li ym. (2009), hyödyntäen kalibroinnissa yksittäisten parametrien sijaan ns. kokoomaparametreja. Useimpien monimutkaisia luonnonilmiöitä kuvaavien mallien



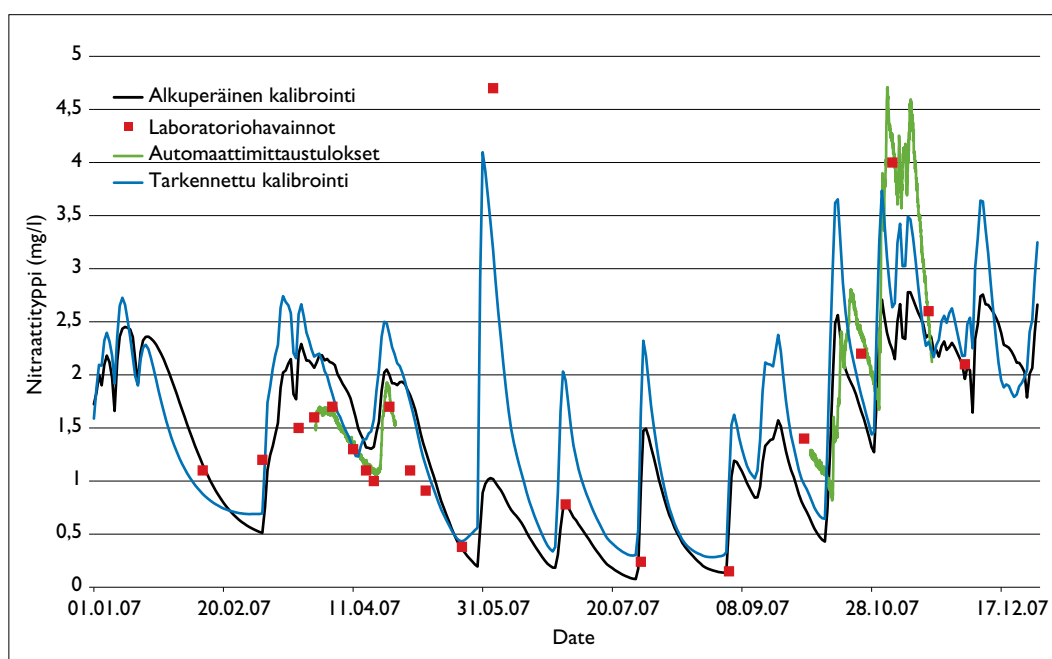
Kuva 13. SWAT-mallin syöttötietoa – maankäyttö Yläneenjoen valuma-alueella vuonna 2004.

skenaariotulokset sisältävät väistämättä suurta epävarmuutta. Valuma-alueetasolla on vaikea mitata yksittäisten vesiensuojelumenetelmien tehokkuutta tai viljelykäytäntöjen muutoksia, joka johtaa käytännössä siihen, että mallien skenaariotuloksia ei voida mittauksilla todentaa. Parhaimmillaan mallituloksia voidaan hyödyntää muodostamalla erilaisia tulevaisuusnäkyviä, jotka toimivat päätöksenteon tukena. SWAT -mallilla tehtyjä skenaarioita tarkastellaan luvussa 3.3.2.

2.3.4

INCA-N -mallin kalibrointi ja tulosten käyttö

CatchLake -hankkeen ykkösvaiheen aikana INCA-N -malli kalibroitiin Yläneenjoella jaksolle 1995–1999 ja mallia testattiin jaksolla 2003–2007 (Granlund 2008). Simuloidut jokiveden virtaama-, nitraattityppi- ja ammoniumtyppikonsentraatioarvot vastasivat muuten kohtuullisen hyvin mitattuja, mutta syksyisten virtaamapiikkien aikana malli jossain määrin aliarvioi nitraattityppikonsentraatiota. Tähän oli todennäköisesti syynä se, että kyseisessä malliversiossa ei vielä huomioitu voimakasta lannankäyttöä valuma-alueen yläosissa. Nyt raportoitavan jatkohankkeen aikana malli kalibroitiin uudelleen jaksolle 2003–2008. Muut parametrit pidettiin entisellään, mutta runsas lannankäyttö huomioitiin siten, että maaperän orgaanisesta aineksesta tapahtuvan mineralisaation intensiteettiä kuvaavaa parametria kasvatettiin. Tämän seurauksena simuloidut jokiveden syksyiset konsentraatiotasot nousivat. Mineralisaatioparametrin kalibroinnissa käytettiin apuna nitraattianturilla mitattuja päivittäisiä jokiveden nitraattityppi-arvoja syksyllä 2007. Meneillään on myös väitöskirjatyo (Randall Etheridge, NC State University, USA), jonka tavoitteena on edelleen täsmentää INCA-N -mallin kalibrointiä Yläneenjoella, hyödyntää kalibroinnissa nitraattityypen automaattimittaukset (Kuva 14), ja mallintaa lannankäytön vaikutusta typpihuuhtoumaan.



Kuva 14. INCA-N mallisovellus Yläneenjoelle vuonna 2007. Alkuperäinen kalibrointi, tarkennettu kalibrointi, laboratoriahavainnot sekä on-line automaattimittaustulokset keväällä ja syksyllä (Randall Etheridge, julkaisematon aineisto).

2.3.5

Valuma-aluemallien tulomuuttujista järvimallin syöttötiedoiksi

Hankkeessa käytetyt SWAT- ja INCA- valuma-aluemallit tuottavat pääravinteiden, typen ja fosforin pitoisuudet ja huuhtoumat fraktioittain (Kuva 12), kun taas VeMaLa:lla lasketaan typen ja fosforin huuhtoumat kokonaisravinteina.

SWAT laskee tulomuuttujia kolmessa eri mittakaavassa: HRU- (Hydrologic Response Unit) ja osavaluma-alueella sekä pääuoman purkupisteessä. Tässä työssä hyödynnettyjä fosforitulomuuttujia ovat veden mukana kulkeutuvan orgaanisen fosforin määrä (kg P) sekä mineraalifosforin määrä (kg P). SWAT mallintaa myös eroosiota maa-alueelta ja sedimentin kulkeutumista uomassa. Mallissa on satoja tulomuuttujia, mutta tässä työssä niistä hyödynnettiin vain edellä mainittuja fosforimuuttujia.

INCA-N -malli laskee nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet jokivedessä vesistöalueen latvoilta purkupisteeseen. Lisäksi mallilla lasketaan runsaasti muita tulomuuttujia, mm. prosessikohtaiset typpivirrat ja typpikuormitus eri maankäyttöluokissa tai eri osavaluma-alueilla.

Coherens -mallin lähtötietoina käytettiin kokonaisravinteita, joiden arvot laskettiin INCA- ja SWAT- valuma-aluemallien tulomuuttujista vakiokertoimilla. Kertoimet laskettiin vesinäytedatasta viiden vuoden aikavälin keskiarvona. INCA -mallin antamat epäorgaanisen typen konsentraatiot muunnettiin kokonaistypeksi ja SWAT -mallin antama fosfori muunnettiin kokonaisfosforiksi. VeMaLa -mallista saatiin kokonaisravinteet suoraan.

2.3.6

Coherens-järvimallin sovellus Pyhäjärvelle

2.3.6.1 Hila ja mallisimuloinnit

Coherens-malli (Luyten ym. 1999) on kolmiulotteinen virtaus- ja vedenlaatumalli. Pyhäjärven sovelluksessa mallinnettava alue koostui 17*26 kappaleesta neliökilometrin kokoisia hilaruutuja. Syvyysuunnassa mallissa oli 8 sigmakerrosta (sigma-koordinaatistossa hila jaetaan joka pisteessä yhtä moneen syvyyskerrokseen joka ruudun kohdalla, joten syvyyskerrosten paksuus vaihteli pohjan syvyyden mukaan). Coherens -malli sovellettiin Säkylän Pyhäjärvelle vuosien 2006 ja 2009 avovesikausina. Laskentajaksot aloitettiin heti jäiden lähdettyä ja ne olivat molempina vuosina 109 päivän mittaisia. Jaksojen ajankohdat olivat 7.5. –24.8.2006 ja 26.4. –13.8.2009.

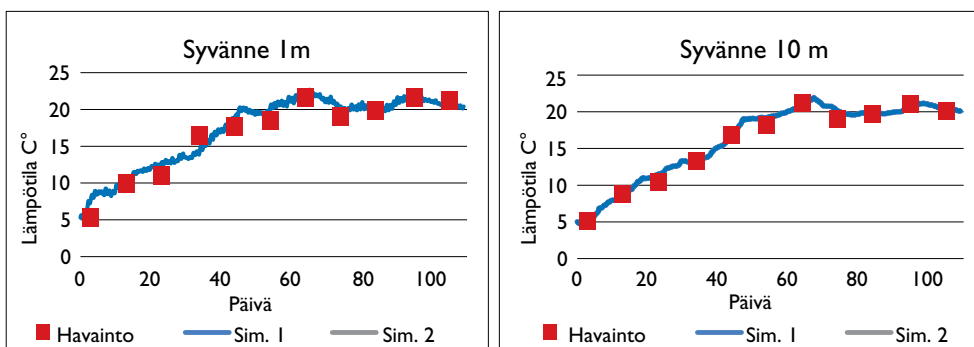
Molempina vuosina mallilla ajettiin kaksi erillistä ajoa, joissa käytettiin osittain erilaisia kuormitustietoja (Taulukko 4). Kumpanakin vuonna ensimmäisessä ajossa (Simulointi 1) Pyhäjärven virtaavien jokien kuormitustietoina käytettiin jokien vesinäytteistä analysoituja pitoisuusarvoja. Toisessa ajossa (Simulointi 2) osa näytteisiin perustuneista arvoista korvattiin valuma-alueille lasketuilla pitoisuusarvoilla. Tämän toisen vaiheen laskentaan vuodelle 2006 Yläneenjoen kiintoaine- ja fosforikuorma saatiin SWAT -mallista ja typpikuorma INCA -mallista. Pyhäjoella käytettiin näytetuloksia. Vuoden 2009 toisen vaiheen mallinnukseen ravinnekuormat ja kiintoainekuorma saatiin VeMaLa -mallista sekä Yläneenjokeen että Pyhäjokeen. Virtaamarvoina käytettiin päivittäisiä havaintoja Yläneenjoesta, Pyhäjoesta ja Eurajoesta. Tuulitietoina käytettiin Jokioisten Observatoriolla (Ilmatieteen laitos) kolmen tunnin välein mitattuja arvoja.

Taulukko 4. Eri malliajoissa käytettyjen jokikuormien lähteet.

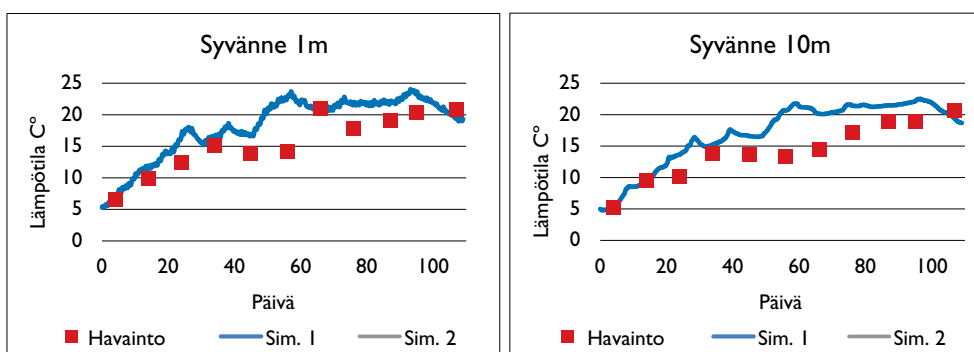
		Yläneenjoki	Pyhäjoki	Eurajoki (poistuva)
2006	Simulointi 1	näytteenotto	näytteenotto	näytteenotto
2006	Simulointi 2	fosfori ja kiintoaine: SWAT, tyyppi: INCA, lämpötila: näytteenotto	näytteenotto	näytteenotto
2009	Simulointi 1	näytteenotto	näytteenotto	näytteenotto
2009	Simulointi 2	kiintoaine, Kok.P, Kok.N: VeMaLa, lämpötila: näytteenotto	kiintoaine, Kok.P, Kok.N: VeMaLa	näytteenotto

2.3.6.2 Lämpötilan ja virtausten laskenta

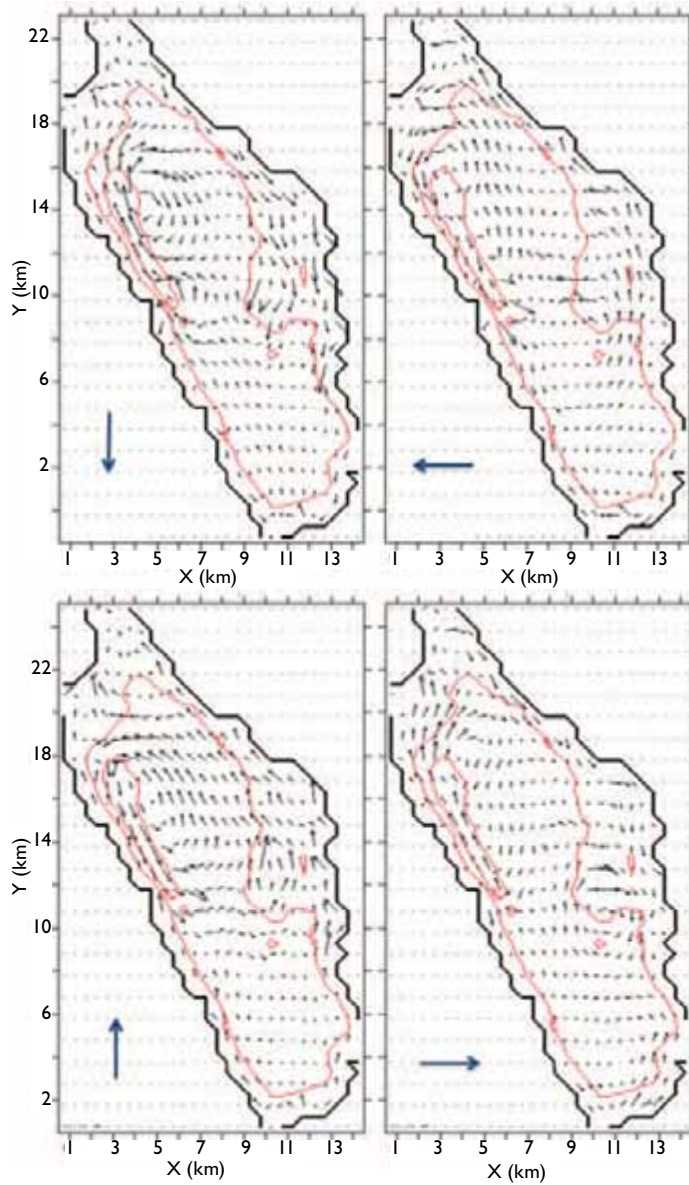
Lämpötilojen laskenta onnistui erittäin hyvin erityisesti kesällä 2006 (Kuva 15a). Laskentatulokset Pyhäjärven syvänteellä olivat lähes yhtäpitäviä syvänteellä tehtyjen lämpötilaluotausten tulosten kanssa. Vuoden 2009 laskennan tulokset olivat hieman havaittuja lämpötiloja korkeampia (Kuva 15b). Myös mallilla lasketut virtaustulokset olivat hyviä. Eri suuntaisilla vakiotuulilla laskettuja virtauksia (kuva 16) verrattiin järven pohjoispäässä tehtyihin virtausmittauksiin (Malve ym. 1994), ja yhtäpitävyys oli melko hyvä kaikilla tuulilla.



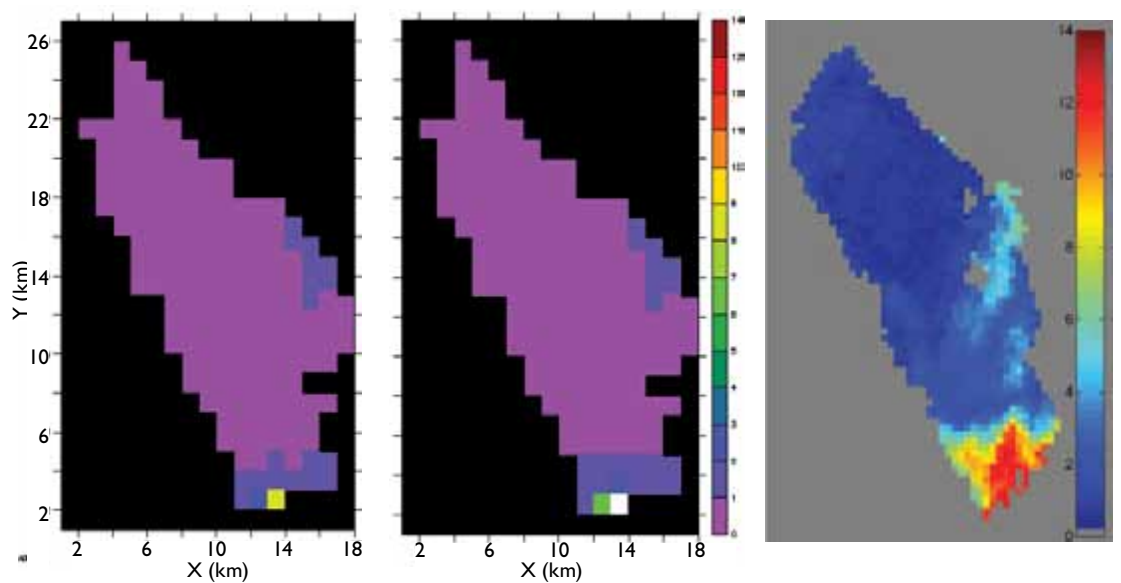
Kuva 15a. Lämpötila Säköylän Pyhäjärven syvänteellä 1 ja 10 metrin syvyyksillä havaintojen (lämpötilaluotaus) ja simulointitulosten mukaan kesällä 2006. Päivä 0 on 7.5.2006.



Kuva 15b. Lämpötila Säköylän Pyhäjärven syvänteellä 1 ja 10 metrin syvyyksillä havaintojen (lämpötilaluotaus) ja simulointitulosten mukaan kesällä 2009. Päivä 0 on 26.4.2009.



Kuva 16. Mallilla lasketut virtaukset eri tuulen suunnilla.



Kuva 17. Kiintoainepitoisuus (mg/l) laskentatulosten (vasemmalla simulointi 1 ja keskellä simulointi 2) ja kaukokartoitustulkinnan (MERIS TSM) mukaan 9.5.2006. Keskimmäisessä kuvassa valkoisen ruudun arvo on 32 mg/l.

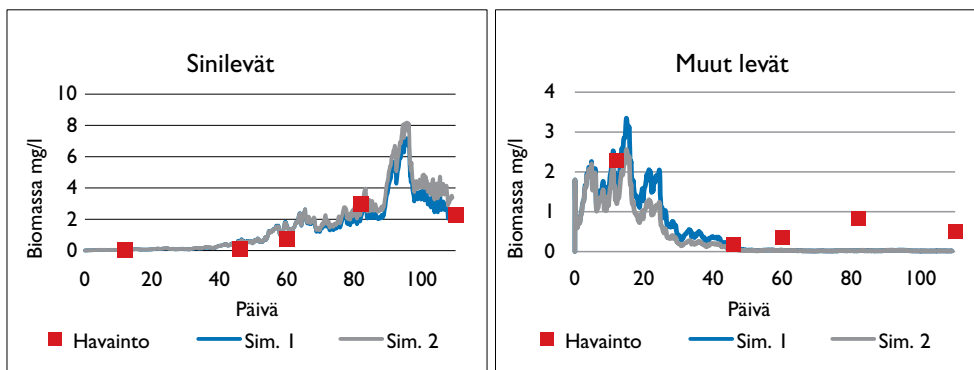
2.3.6.3 Kiintoaineen kulkeutuminen

Coherens -mallilla voidaan laskea myös kiintoaineen kulkeutumista, sekoittumista vesimassaan ja vajoamista pohjalle. Toukokuun alussa 2006 Yläneenjoesta purkautui huomattava määrä kiintoainetta mistä aiheutuva sameusmaksimi havaittiin 9.5.2006 järven eteläpäässä – sekä kaukokartoituskuvin että läpivirtausmenetelmällä tehdystä linjamittauksessa (kuva 10). Kiintoaineen kulkeutumista Yläneenjoen suulta mallinnettiin myös Coherens -mallilla eri kuormitusdatoilla (simuloinnit 1 ja 2) ja tuloksia verrattiin kaukokartoituskuvaan (Kuva 17). Kummassakin laskennassa Yläneenjoelta tulevan kiintoainepilven muoto ja suunta näyttävät melko samanlaiselta kuin kaukokartoituskuvasa. Myös Pyhäjoelta tulevan kiintoainepilven muoto vastaa aika hyvin kaukokartoituskuva. Lukuun ottamatta jokisuuta lähimpänä olevaa ruutua kiintoainepitoisuudet ovat molemmissa simuloinneissa järven eteläpäässä hieman liian alhaisia verrattuna kaukokartoituskuvaan. Simuloinnissa 2 joesta purkautuva kiintoainekuorma on suurempi kuin simuloinnissa 1, joten simulointi 2 vastaa paremmin kaukokartoitustulosta.

2.3.6.4 Levien mallinnus

Coherens -mallin osana käytettiin SYKEN kehittämää biologista osamallia. Sen pohjana on SYKE-EIA -malli, jota on aiemmin käytetty mm. Suomenlahden mallinnuksessa (Kiirikki ym. 2001). Malliin kuuluu kaksi leväryhmää, sinilevät ja muut levät. Ravinteina käytetään tässä sovelluksessa kokonaistyppeä ja kokonaisfosforia, joiden kuormitustiedot on otettu näytteenotto tiedoista (simulointi 1) ja Yläneenjokeen valuma-alue malleista (simulointi 2).

Sinilevien mallinnus syvänteellä onnistui erittäin hyvin molemmissa simuloinneissa verrattuna havaittuihin leväpitoisuuksiin kesällä 2006 (Kuva 18). Simuloinnissa 2, jossa Yläneenjoen ravinnekuorma oli otettu valuma-alue malleista, sinileväpitoisuudet olivat hieman korkeampia kuin simuloinnissa 1. Simuloinnin 1 tulos oli hieman simulointia 2 parempi viimeisen havainnon kohdalla. Muille leville tulokset olivat alkukesällä melko hyviä erityisesti simuloinnissa 2. Noin 50 päivän kuluttua laskennan aloittamisesta muut levät kuitenkin hävisivät laskentatuloksista kokonaan, vaikka havaintojen mukaan näin ei tapahtunut järvessä. Levien mallintamisessa on vielä paljon haasteita, ja Pyhäjärven kohdalla mm. piilevien lisääminen kolmanneksi leväryhmäksi malliin saattaisi parantaa tuloksia.



Kuva 18. Sinilevät ja muut levät Pyhäjärven syvänteellä pintavedessä havaintojen ja simulointitulosten mukaan kesällä 2006. Simuloinnissa 1 jokien kuormitusarvoina käytettiin havaintotietoja ja simuloinnissa 2 sekä havaintotietoja (Pyhäjoki) että valuma-alue mallien tulostietoja (Yläneenjoki).

3 Mihin uutta tietoa voidaan käyttää?

Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kari Kallio, Sampsa Koponen, Sirkka Tattari

3.1

Mitä uutta tietoa saadaan, mitä vanhoilla menetelmillä ei saatu?

3.1.1

Aiempaa tarkempi tieto kuormituksesta ja käyttökokemukset mittaustekniikasta

Erityisesti leutoina talvina, jolloin tulva- ja kuormitushuippuja on vaikeaa ennustaa, ovat automaattiseurannan edut kiistattomat. Varsinkin kiintoaine- ja kokonaisfosforikuormitukset tulevat huomattavasti aliarvioiduiksi silloin, kun perinteisessä näytteenotossa ei osuta lyhytaikaisiin kuormituspiikkeihin. Yläneenjoen kiintoainekuormituksen arviot tarkentuivat tuntuvasti verrattuna manuaaliseen näytteenottoon, eniten tammikuussa 2007 jolloin sääolot olivat poikkeuksellisen leudot (Koskiaho ym. 2010). Sameusmittauksilla saatiin luotettavaa ja tarkkaa tietoa kiintoaineen (ja fosforin) kuormituksesta, kun huomioitiin koko mittausketju (luku 2.1.1.6). On-line mittaukset eivät ole automaattisia vaikka joskus kyseistä termiä käytetäänkin: mittaukset vaativat toimiakseen riittävää asiantuntemusta, huolellista suunnittelua, mitauslaitteiden jatkuvaa ylläpitoa, ja datan laadunvarmistusta.

3.1.2

Ravinnevirtojen mallintaminen valuma-alue – järvikokonaisuudessa

Ensimmäisen kerran Suomessa käytettiin vuorokauden aika-askeleella laskettuja prosessipohjaisten valuma-aluemallien tulosuuttujia 3D-järvimallin lähtötietona. Tulosuuttujat laskettiin kolmen erilaisen valuma-aluemallin, SWAT:in, INCA:n ja VeMaLa:n avulla ja tuotetut vedenlaatu-uuttajat syötettiin Coherens -järvimalliin lähtötiedoiksi.

INCA-N mallin kalibrointi onnistui hyvin. Uutta tämän prosessipohjaisen valuma-aluemallin sovelluksessa oli nitraattianturilla mitattujen päivittäisten jokiveden nitraattityypipitoisuuksien käyttö kalibroinnin apuna. Valuma-aluemallien kehityksen suurena hidasteena on ollut se, että vedenlaatuhavaintoja on perinteisesti monilla havaintopaikoilla tehty vain 2–12 kertaa vuodessa. Valuma-aluemallilla pystytään hahmottamaan paremmin laajan alueen ainevirtoja ja kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä. On-line mittauksilla taas pystytään vähentämään epävarmuuksia mallintamisessa ja saamaan lisätietoa huuhtoutumiseen vaikuttavista tekijöistä.

SWAT-mallilla tutkittiin valuntaan ja kiintoainepitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä, testattiin malliin sisällytettyä herkkyyss- ja autokalibrointityökalua ja laskettiin fosforin ja kiintoaineen syöttötiedot Coherens-malliin. Mallituloksia voidaan myös

hyödyntää muodostamalla erilaisia tulevaisuusnäkyymiä, skenaarioita, jotka toimivat päätöksenteon tukena. SWAT-mallilla tehtyjä suojavyöhyke- ja kosteikko-skenaarioita tarkastellaan lähemmin luvussa 3.3.2. Skenaarioita tullaan hyödyntämään järvimallinnuksessa vasta myöhemmissä hankkeissa.

Lämpötilojen laskenta Coherens -mallilla onnistui erittäin hyvin erityisesti kesällä 2006. Laskentatulokset Pyhäjärven syvänteellä olivat lähes yhtäpitäviä syvänteellä tehtyjen lämpötilaluotausten tulosten kanssa. Vuoden 2009 laskennan tulokset olivat hieman havaittuja lämpötiloja korkeampia. Myös mallilla lasketut virtaustulokset olivat hyviä. Yläneenjoelta tulevan lasketun kiintoainekuormitus-pulssin muoto ja suunta Pyhäjärvestä oli melko samanlainen kuin kaukokartoituskuvin. Valuma-aluemallien tulosten käyttö Coherensin lähtötietoina paransi laskentatuloksia erityisesti kiintoainepitoisuuksien kohdalla kuormituspulssissa. Sinilevien mallinnus kasvukaudella onnistui hyvin mutta muissa leväryhmissä on vielä paljon haasteita.

3.1.3

Järvimittauslautan tuloksilla tarkempaa tietoa järven toiminnasta

Tiheiden klorofyllimittausten avulla saatiin aikaisempaa tarkemmin selville Pyhäjärven rehevyystaso sekä kasviplanktonkukintojen voimakkuus ja kesto. Kasviplankton- ja sinilevädynamiikan tunteminen antaa myös paremmat edellytykset selvittää näihin vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Samoin saatiin uutta tietoa järven sekoittumisesta ja virtauksista kesän aikana. Järvimittauslautan tulosten yhteiskäyttö muiden menetelmien (kaukokartoitus ja järvimallinnus) kanssa tehostaa myös järven tilan seuranta ja suojelua. Esimerkiksi *in situ* mittauksilla (järvilautta) saadaan käsitys yksittäisen satelliittikuvan tulkinnan tarkkuudesta ja kuvan perusteella taas saadaan selville vedenlaadun alueellinen jakauma. Tällaista yhteiskäyttöä ei ole aiemmin kokeiltu Suomessa ja maailmanlaajuisestikin menetelmää on kokeiltu vasta hyvin harvoissa tapauksissa.

Kesäkuussa 2009 Pyhäjärvellä havaittu voimakas piileväkukinta (Kuvat 4 ja 5) oli yllättävä. Tavallisesti ravinteet ovat kesäkuussa loppuneet pintavedestä ja leväpitoisuudet ovat pieniä. Nyt kesäkuun alun voimakkaat tuulet olivat ilmeisesti aikaansaaneet ravinteikkaan pohjalla olevan veden sekoittumista pintaveteen luoden hyvät olosuhteet levien kasvuille.

3.1.4

Satelliittidatan tehokkaampi hyödyntäminen ympäristötutkimuksessa

Järvilautan mittaustulokset olivat tärkeä vertailuaineisto kasvukauden satelliittikuva-aikasarjan laskennassa. Tulokset osoittavat, että varsinkin sameuden arvioiminen onnistuu hyvin MERIS -kuvista. Sameuden arvioiminen onnistui jopa ilman *in situ* mittauksia, sillä tarvittava korjaus on pieni, ja korjaamatonkin MERIS -tulos vastaa hyvin maastossa mitattuja arvoja. Klorofyllin arvioimisessa sen sijaan on vielä vaikeuksia. Käytetty menetelmä havaitsi vuodenajasta riippuvat vaihtelut, mutta data-prosessorin laskemaa tulosta piti korjata, eivätkä tulokset siltikään saavuttaneet toivottua tarkkuutta. Todennäköisimmät syyt virheille ovat ilmakehäkorjauksessa sekä siinä, että eri levälajien optiset ominaisuudet eivät täysin vastaa prosessoinnissa käytettyjä oletuksia.

Kehitetyt aikasarjat antavat merkittävää uutta tietoa ison järven koko vesialueen tilasta koko kasvukauden aikana. Teemakuvin (Kuvat 8 ja 9) nähdään millaisia arvoja sameus ja klorofylli saavat järven eri osissa eri vuodenaikoina. Kevään kuvissa näkyy hyvin Yläneenjoen kevättulvakautena tuoma kiintoaine- (ja ravinne)kuormitus, joka samentaa järven eteläosaa. Laajentamalla kuva-aluetta voidaan tarkastella esimerkiksi koko Etelä-Suomen järvien sameuden alueellista vaihtelua (Kuva 10).

Mihin suuntaan menetelmiä pitää kehittää?

3.2.1

Mittaukset

Mittaustekniikassa on suositeltavaa kiinnittää huomiota koko mittausketjuun (luku 2.1.1.6), mukaan lukien toimiva laadunvarmistus:

1. huolella valitut, edustavat mittauskohteet
2. korkealaatuiset, kalibroidut mittausanturit ja niiden huolto
3. tiedonsiirron toimivuus
4. raakadata näytöllä
5. manuaalinen ja automaattinen raakadatan tarkistus
6. kalibrointinäytteet ja niiden analysointi laboratoriossa
7. oikealle tasolle kalibroitu, laatuvarmistettu data
8. datan jatkokäyttö vedenlaadun seurantaan, kuormitusarvioihin ja kuormituksen seurantaan, tai prosessitutkimukseen ja mallinnukseen
9. tulosten tulkinta ja johtopäätökset
10. laatuvarmistetun datan tallennus tietokantaan

Koko ketjun toimivuus on haaste. MAASÄÄ -hankkeessa testattiin mm. automaattisia *in situ* vedenlaadun mittauksia Karjaanjoen vesistöalueella, kiinnittäen erityistä huomiota mittauksen toimivuuteen ja datan laadunvarmistukseen (Kotamäki ym. 2009). Automaattimittauksilla tuotettujen vedenlaatutulosten vieminen jatkossa ympäristöhallinnon tietokantoihin vaatisi selkeästi lisää kehitystyötä, pelkästään tutkimushankkeissa työtä ei pystytä tekemään. Vedenlaatuantureiden saatavilla oleva määrä on teoriassa suuri, mutta käyttökokemuksia Suomessa on edelleen niukasti. Automaattimittauksista *in situ* kannattaa hankkia lisää käyttökokemuksia nykYTEKNIKALLA mitattavissa olevien muuttujien osalta, mikä taas on luontevasti T&K hankkeissa tehtävää työtä.

3.2.2

Kaukokartoitus

Kaukokartoituksen kehityssuuntia sisävesien vedenlaadun seurannan suhteen ovat (kts myös luku 3.3.3):

1. klorofylli-a menetelmäkehitys, jossa pääpaino on ilmakehäkorjauksella. Tässä avuksi olisi tulevaa ja heijastuvaa säteilyä mittaavien spektrometri-
en asentaminen mittauslautalle. Lisäksi on suoritettava vertailua laajoilla jär-
vialueilla, ja selvitettävä menetelmän toimivuutta eri järviyypeille ja eri
mittausolosuhteissa. Pyhäjärvellä käytetyn menetelmän testaus on käyn-
nissä mm. VACCIA-(LIFE+) ja MarCoast (ESA) -hankkeissa.
2. kaukokartoitustulkintojen ja perinteisten seurantojen yhteiskäyttö
3. aikasarjojen ja karttojen tuottaminen rutiininomaisesti myös sisävesillä,
vastaavasti kuin Itämeren osalta jo tehdään

3.2.3

Mallinnus

Mallinnuksen suhteen tärkeinä nähtyjä kehityssuuntia ovat mm:

- mallien ketjuttamisen edelleen kehitys ja tilastollisten ekologisten mallien kytkentä prosessipohjaisiin valuma-alueilleihin
- optimoinnin ja herkkyysanalyysien kehittäminen, sekä riittävä laskennan kapasiteetti
- uuden mittaustekniikan tuoma hyöty mallien validoinnissa ja prosessikuvausten kehittämisessä
- Coherens -mallissa leväryhmien mallintaminen, ongelmat ravinnetaseissa kesän aikana
- maankäyttö- ja ilmastoskenaarioiden parempi yhtenäistäminen
- mallien epävarmuuden vähentäminen erityisesti skenaariokäytössä

3.3

Hyöty tutkimukselle, mutta entä ympäristönseurannalle ja vesiensuojelulle?

3.3.1

Tarkemmat ravinnekuormitusarviot

Ainevirtaamallaskelmat paljastivat selkeästi automaattimittauksen edut verrattuna harvaan vesinäytteenottoon erityisesti leutoina talvina. Leudon talven aiheuttama kuormitusosuus vuotuisesta kokonaiskuormituksesta voi olla huomattavan suuri. Siten virtaama- ja kuormitushuippujen osuminen talvijaksoille korostaa kevääseen ja syksyyn yleisesti keskittyvien seurantaohjelmien kehittämistarpeita ja toisaalta tuo esiin tiheiden automaattimittauksen edut luotettaviin kuormitusarvioihin pyrittäessä, sekä vesistöissä että vesiensuojelukohteissa.

Myös Huttulan ym. (2009) mukaan seurantojen automatisoinnin hyödyt ovat kiistattomat. Automaatti-antureiden mittaustiheyttä sekä datan lähetystiheyttä voidaan vapaasti säätää tarpeen mukaan kustannusten juurikaan muuttumatta. Näin saadaan katkeamattomat, riittävän tiheät datasarjat hyvin kustannustehokkaasti ja yleensä lähes reaaliajassa. Koska mittaukset ovat jatkuvia ja tiheitä, saadaan tietoa myös sellaisista yllättävistä tapahtumista (esim. rankkasateiden aiheuttamat ravinnekuormitushuiput), joita ei perinteisin menetelmin pystyittäisi havainnoimaan.

3.3.2

Skenaariot

Skenaarioilla voidaan testata vaihtoehtoisia kehityskulkuja ja erilaisten vesiensuojelutoimenpiteiden tehokkuutta valuma-alueittakaavassa. SWAT -mallilla laskettu suojavajöhykkeen tehokkuus on todettu varsin optimistiseksi, kun tuloksia on verrattu suomalaisiin koekenttätutkimuksiin (Puustinen 1994, Uusi-Kämpä ym. 2000). Malli yliarvioi suojavajöhykkeiden tehokkuutta. Erityisesti tämä koskee fosforin pidättymistä, koska liukoisten ravinteiden fraktion oletetaan pidättävän samalla tavoin kuin hiukasmaistenkin, mikä ei kenttämittausten perusteella pidä paikkaansa. Tästä syystä simulaatioissa annettiin suojavajöhykkeiden leveydeksi puolet todellisista arvoista, mikä johti em. tutkimusten antamien tulosten kohtuulliseen yhtäpitävyyteen.

Suojavyöhykeskenaariot

Skenaarion 1 mukaisilla (15 m:n suojavyöhykkeet pääuoman varrella, kevätilja- ja juurikaspelloilla) suojavyöhykkeillä saavutettiin SWAT- simulaatioiden mukaan 9 %:n typpi- ja 19 %:n fosforikuormituksen väheneminen. Skenaariossa 2 (skenaario 1 + lisäksi 15 m suojavyöhykkeet muilla osavaluma-alueilla) vähenemät olivat vastavasti jo 17 % ja 36 %. Siten laajamittaisesti toteutettavat suojavyöhykkeet näyttäisivät olevan tehokas ravinnekuormituksen vähentämismenetelmä Yläneenjoen alueella. Skenaarion 2 toteuttaminen tarkoittaisi pinta-alana yli 100 hehtaaria, eli noin 0,5 % Yläneenjoen valuma-alueen kokonaispinta-alasta suojavyöhykkeille.

Lannoitusskenaariot

Skenaarion 1 mukaisella maksimilannoituksella kuormituksen lisäys oli keskiarvolannoitukseen (0-skenaario) verrattuna typelle 12 % ja fosforille 17 % (keskiarvo ja maksimilannoitusmäärät MYTVAS-aineistosta, Grönroos ym. 1998). Nurmelle levitetävä eläinperäinen lannoitus lisäsi 0-skenaarioon verrattuna erityisesti fosforikuormitusta (kananlanta 25 % ja sianlanta 27 %), kun taas lisäys typpikuormitukseen oli vähäisempi (molemmilla vajaat 5 %).

Kosteikkoskenaariot

Mallilla selvitettiin myös kosteikkojen vaikutusta ravinnekuormaan. Skenaariossa 1 kosteikkopinta-alana käytettiin 2,6 ha sijoitettuna kymmenelle osavaluma-alueelle, mikä vastaa suunnilleen tilannetta 2000-luvun alussa. Skenaariossa 2 jokaiseen 29:stä osavaluma-alueesta sijoitettiin kosteikko, jolloin niiden yhteispinta-alaksi saatiin 7,6 ha. Skenaariossa 3 kosteikkojen mitoitus muutettiin siten, että niiden kokonaispinta-alaksi tuli 350 ha.

Skenaariolla 1 saavutettu kuormituksen vähenemä jäi odotetusti melko alhaiseksi (1,3 % sekä kok. P:lle että kok. N:lle). Myöskään skenaariolla 2 ei saavutettu kovin suuria vähenemä (3,7 % kok. P:lle ja 3,9 % kok. N:lle). Tulokset viittaavat siihen, että suurikaan kosteikkojen lukumäärän lisäys ei johda tuntuvaan kuormituksen alenemiseen, jos niiden mitoitus on riittämätön. Kun mitoitus muutettiin skenaarion 3 mukaiseksi, kokonaisfosforin kuormitus aleni 17 % ja kokonaistypen kuormitus 18 %. Tämä kuitenkin tarkoittaisi sitä, että yli 1 % koko Yläneenjoen valuma-alueesta tulisi varata vesiensuojelukosteikoille mikä olisi käytännössä vaikeaa ja kallista toteuttaa (Tattari ym. 2009). Suojavyöhykkeisiin verrattuna kosteikon perustamiskustannukset hehtaaria kohden ovat korkeammat ainakin niissä tapauksissa, joissa pelkkä patoaminen ei riitä, vaan kosteikon rakentaminen edellyttää maansiirtotöitä.

3.3.3

Mittauslautan ja satelliittikuva-aikasarjojen käyttö ympäristönseurannassa

Mittausten aikana internetissä reaaliajassa nähtävillä olleet järvimittauslautan tulokset herättivät huomattavaa kiinnostusta. Tämän tyyppiset järvimittauslautat mahdollistavat jatkossa myös reaaliaikaisen tiedottamisen leväkukinnoista valituissa edustavissa järvikohteissa, ja ovat potentiaalisia ympäristönseurannan kehityskohteita.

Kehitetyt aikasarjat antavat merkittävää uutta tietoa ison järven koko vesialueen tilasta koko kasvukauden aikana. Satelliittikuva-aikasarjoista nähdään millaisia arvoja sameus ja klorofylli saavat järven eri osissa eri vuodenaikoina. Laajentamalla kuva-aluetta voidaan tarkastella esimerkiksi koko Etelä-Suomen järvien klorofyllin ja sameuden alueellista vaihtelua. Kannattaakin tarkemmin pohtia, miten kaukokartoitustulokset ja perinteiset vedenlaatu seurannat parhaiten tukevat toisiaan: synergia voisi olla vielä merkittävämpää kuin tähän mennessä on nähty.

Pystytäänkö vanhoja käytäntöjä korvaamaan?

Kaikkien uusien seurantamenetelmien (automaatiikka, kaukokartoitus) keskeisenä ominaisuutena on, että niillä saadaan paljon havaintoja mutta vain joistakin muuttujista. Tämä johtaa väistämättä siihen, että uusia menetelmiä voidaan käyttää täydentämään vanhoja menetelmiä (Huttula ym. 2009), muttei korvaamaan niitä.

Ympäristönseurannoissa sisävesien laadun osalta on lukuisten velvoitteiden ja rajallisten resurssien takia jouduttu tilanteeseen, jossa kohteiden määrä on erittäin suuri, mutta havaintotiheys on monesti liian pieni ympäristötutkimuksen tarpeisiin. Seurantojen tehostamiseksi tulisi havaintopaikkojen vähentämisen vastapainoksi keskittää enemmän voimavaroja kansallisesti tärkeiden kohteiden seurantaan (ks. Huttula ym. 2009), hyödyntämällä uusin mittaus- ja kaukokartoitustekniikka. Avainkohteisiin – kuten tässä hankkeessa tutkittu Yläneenjoki – perustettavat jokiautomaattiasemat kannattaa suunnitella huolella. Asemien tulisi käsittää sekä *in situ* vedenlaatuanturit, vedenkorkeuden ja virtaaman mittaus, ohjelmoitava jääkaapilla varustettu näytteenotin, täydentävä manuaalinen näytteenotto, toimiva on-line tiedonsiirto, ja tärkeimpänä riittävä huolto, johon varaudutaan jo suunnitteluvaiheessa. Tällaiset asemat olisivat tärkeitä myös kun integroidaan entistä paremmin merialueille päätyvän ravinnekuormituksen seurantaa, hajakuormituksen tutkimusta ja Itämeren tilan seurantaa ja tutkimusta.

Valtakunnan tason mallijärjestelmän kehittymisen myötä (WSFS -vesistömalli ja VeMaLa -arviointijärjestelmä) pystytään karsimaan jonkin verran seurantoja, mutta riittävä mallitulosten vertailu havaintoihin avainkohteissa on edelleen oleellista.

Satelliittikuvien tulkinnasta saadaan hyvä alueellinen kuva pintavesien sameudesta. Klorofyllikarttoja voidaan myös tuottaa, mutta menetelmä vaatii vielä lisäkehitystyötä. Etuina on mahdollisuus tuottaa ajallisesti tiheitä ja alueellisesti kattavia aikasarjoja. (esim. Kuvat 8 ja 9).

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Ahti Lepistö, Timo Huttula

Mittaustekniikka, kaukokartoitus ja ympäristöseurannat

Yhtenä hankkeen tavoitteena oli saada lisää käyttökokemusta uusimmasta mittaustekniikasta järvi- ja jokiympäristössä. Erityisesti leutoina talvina, jolloin tulva- ja kuormitushuippuja on vaikeaa ennustaa, ovat automaattiseurannan edut kiistattomat. Yläneenjoen kiintoainekuormituksen arviot tarkentuivat tuntuvasti verrattuna manuaaliseen näytteenottoon, eniten tammikuussa 2007 jolloin sääolot olivat poikkeuksellisen leudot. In situ -mittaukset (on-line) eivät ole automaattisia vaikka joskus kyseistä termiä käytetäänkin: mittaukset vaativat toimiakseen riittävää asiantuntemusta, huolellista suunnittelua, mittauslaitteiden jatkuvaa ylläpitoa, ja datan laadunvarmistusta.

Tiheiden klorofyllimittausten avulla saatiin aikaisempaa tarkemmin selville Pyhäjärven rehevyytaso sekä kasviplanktonkukintojen voimakkuus ja kesto. Kasviplankton- ja sinilevädynamiikan tunteminen antaa myös paremmat edellytykset selvittää näihin vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Samoin saatiin uutta tietoa järven sekoittumisesta ja virtauksista kesän aikana. Järvimittauslautan tulosten yhteiskäyttö muiden menetelmien (kaukokartoitus ja järvimallinnus) kanssa tehostaa myös järven tilan seurantaa ja suojelua. Esimerkiksi automaattimittauksilla saadaan käsitys yksittäisen satelliittikuvan tulkinnan tarkkuudesta ja kuvan perusteella taas saadaan selville vedenlaadun alueellinen jakauma. Tällaista yhteiskäyttöä ei ole aiemmin kokeiltu Suomessa ja maailmanlaajuisestikin menetelmää on kokeiltu vasta hyvin harvoissa tapauksissa.

Sekä joki- että järviympäristön seurannassa ja tutkimuksessa kannattaa hyödyntää entistä paremmin uusimman mittaustekniikan antamat mahdollisuudet (ks. luvut 3.1.3 ja 3.4) ja perustaa automaattiasemia. Mittaustekniikassa on tyypillisesti osalujuuksia jotka vaativat teknistä asiantuntemusta: alan yritysten ja ympäristöhallinnon yhteistyölle on varmasti paljon mahdollisuuksia myös jatkossa. Ympäristöhallinnon tutkijoiden ja asiantuntijoiden kannattaa huolella pohtia, mitkä toteutustavat ovat kustannustehokkaimpia erityyppisissä kohteissa ja sovelluksissa: laitteiden omistus, laitteiden leasing vai mittaustulosten hankinta ostopalveluna.

Satelliittikuvista tuotetut aikasarjat antavat merkittävää uutta tietoa ison järven koko vesialueen tilasta koko kasvukauden aikana. Aikasarjoista nähdään millaisia arvoja sameus ja klorofylli saavat järven eri osissa eri vuodenaikoina. MERIS- ja MODIS- kuvien kuva-alue on suuri, jolloin voidaan tarkastella esimerkiksi koko Etelä-Suomen järvien klorofyllin ja sameuden alueellista vaihtelua. Menetelmäkehityksessä on vielä parannettavaa varsinkin klorofyllin osalta ja jatkossa kannattaisikin tarkemmin pohtia miten kaukokartoitustulkinnat ja perinteiset vedenlaatureurannat saadaan parhaiten tukemaan toisiaan.

Uusien ympäristöseurannan menetelmien (automaattimittaukset, kaukokartoitus) keskeisenä ominaisuutena on, että niillä saadaan paljon havaintoja harvoista muuttujista. Tämä johtaa väistämättä siihen, että uusia menetelmiä voidaan käyttää

täydentämään vanhoja menetelmiä, muttei korvaamaan niitä. Nämä menetelmät vaativat edelleen paljon jatkokehitystä, mutta myös tänä päivänä niillä on paljon käyttämätöntä potentiaalia.

Mallinnuksen kehitys ympäristötutkimuksen ja vesiensuojelun työkaluina

Tavoitteena oli tuottaa tietoa jolla on laaja hyödyntämispotentiaali sekä ympäristöhallinnossa että kotimaisissa yrityksissä. Hankkeeseen osallistuvat yritykset saavat tietoa ja kokemuksia kansallisella tasolla käyttöönotettavista mallinnusmenetelmistä ja -järjestelmistä. Kokemustensa avulla yritykset voivat tehostaa toimintaansa Suomen alueella toteutettavissa toimeksiannoissa sekä kasvattaa kansainvälisissä tehtävissä tarvittavaa osaamisensa. Konkreettisenä esimerkkinä yritysten mallisovelluksista tässä hankkeessa on Ramboll Oy:ssä tehty AQUATOX -mallisovellus (Mäkynen 2009).

Hyvillä datankäsittelymenetelmillä (optimointityökalut, mallien herkkyysanalyysit) voidaan helpottaa ja nopeuttaa mallien käyttöä ja näin nostaa mallinnuksen tasoa ympäristötutkimuksessa ja kilpailukykyä konsulttimarkkinoilla. Toisaalta on muistettava tulosten huolellisen validoinnin merkitys: tässä suhteessa yhteys mittaustekniikan ja mallinnuksen välillä on entistäkin tärkeämpi. Samoin mallinnus tuotti uutta tietoa alueellisten satelliittikuvatulkintojen vertailtavuudesta alueellisen järvimallin tuloksiin.

Tässä hankkeessa käytetty prosessimallien ketjutus (INCA ja SWAT -valuma-aluemallit sekä Coherens -järvimalli) oli suhteellisen työläs mutta hyvin toimiva. Mallinnus tuotti uusia käyttökokemuksia malleista ja niiden toimivuudesta laajassa valuma-alue -järvikokonaisuudessa. Mallien valinnassa tavoitteiden selkeä hahmottaminen on tärkeää: 3D-järvimallilla voidaan simuloida alueellisen vedenlaadun vaihtelua, kun taas esimerkiksi ilmastoskenaarioiden mallinnuksessa valuma-aluemallin kytkentä 1D-järvimalliin saattaa olla toimivampi.

Tärkeimpinä mallinnuksen hyötyinä tutkimuksen ja vesiensuojelun kehittämiseksi nähtiin sekä laajojen kokonaisuuksien vuorovaikutussuhteiden ja prosessien entistä parempi hahmottaminen, että skenaariot eri kehitysvaihtoehdoista. Vesistöalueiden ja vesivarojen hoidon ja suojelun tutkimuksessa tulevat jatkossa vieläkin enemmän korostumaan kokonaisvaltaiset ratkaisut joilla etsitään kestäviä ja taloudellisia ratkaisuja vesiensuojelu-ongelmiin.

LÄHTEET

- Bracmort, K.S., Arabi, M., Frankenberger, J.R., Engel, B.A. & Arnold, J.G. 2006. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs. *Transactions of the ASAE* 49(2): 367-374.
- Bryant, D.A. 1986. The cyanobacterial photosynthetic apparatus: Comparison to those of higher plants and photosynthetic bacteria. In: Platt T. & Li W.K.W. (eds.) *Photosynthetic picoplankton*. Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences 214: 423-500.
- Bärlund, I., Kirkkala, T., Malve, O. & Kämäri, J. 2007. Assessing SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the Water Framework Directive in a Finnish catchment. *Environmental Modelling & Software* 22: 719-724.
- Doerffer R. & Schiller, H. 2008. MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project - Atmospheric Correction ATBD. GKSS Research Center. Version 1.0, 18. May 2008. http://www.brockmann-consult.de/beam-wiki/download/attachments/1900548/meris_c2r_atbd_atmo_20080609_2.pdf?version=1&modificationDate=1213091940000
- Granlund, K. 2008. The INCA-N model. In: Lepistö, A. & Huttula, T. (eds.) *New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area – CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. pp. 38-43. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280226&lan=fi>
- Grönroos, J., Rekolainen, S., Palva, R., Granlund, K., Bärlund, I., Nikander, A. & Laine, Y. 1998. Maa-talouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vuosina 1995-1997. Suomen Ympäristö 239. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 77 s.
- Hart, J.K. & Martinez, K. 2006. Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews* 78: 177-191.
- Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, J., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2009, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 73 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=328143&lan=FI>
- Huttunen, I., Huttunen, M., Vehviläinen, B. & Tattari, S. 2007. Large-scale phosphorus transport model. In: Heckrath, G., Rubæk, G.H. & Kronvang, B. (eds.) *Diffuse Phosphorus Loss – Risk Assessment, Mitigation Options and Ecological Effects in River Basins*. The 5th International Phosphorus Workshop (IPW5), 3-7 September 2007 in Silkeborg, Denmark. *DJF Plant Science* no. 130. pp. 215-218.
- Kallio, K. ym. 2010. Automatic measurement station of Lake Pyhäjärvi. (manuscript).
- Kiirikki, M., Lindfors, A. & Huttunen, O. 2005. Hiidenveden vedenlaatu 15.8.2005. Luode Consulting Oy. 15 s. <http://www.hiidenvesi.com/Pdf/Hiidenveden%20vedenlaatu%20150805.pdf>
- Kiirikki, M., Inkala, A., Kuosa, H., Pitkänen, H., Kuusisto, M. & Sarkkula, J. 2001. Evaluating the effects of nutrient load reductions on the biomass of toxic nitrogen-fixing cyanobacteria in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Boreal Environment Research* 6: 131-146.
- Koponen, S., Kallio, K., Pyhälähti, T., Lepistö, A., Lindfors, A., 2010. Estimation of water quality in a mesotrophic lake in South-Western Finland with the MERIS Boreal Lakes processor (manuscript).
- Koskiahho J., Lepistö A., Tattari S. & Kirkkala T. 2010. On-line measurements provide more accurate estimates of nutrient loading – a case study of the Yläneenjoki river basin, SW Finland. *Water Science & Technology* (accepted).
- Kotamäki, N., Thessler, S., Koskiahho, J., Hannukkala, A.O., Huitu, H., Huttula, T., Havento, J. & Järvenpää, M. 2009. Wireless in-situ Sensor Network for Agriculture and Water Monitoring on a River Basin Scale in Southern Finland: Evaluation from a Data User's Perspective. *Sensors* 9: 2862-2883.
- Kumar, S. & Merwade, V. 2009. Impact of watershed subdivision and soil data resolution on SWAT model calibration and parameter uncertainty. *Journal of the American Water Resources Association* 45(5): 1179-1196.
- Lepistö, A., Huttula, T., Bärlund, I., Granlund, K., Härmä, P., Kallio, K., Kiirikki, M., Kirkkala, T., Koponen, S., Koskiahho, J., Kotamäki, N., Lindfors, A., Malve, O., Pyhälähti, T., Tattari, S. & Törmä, M. 2008. New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area - CatchLake. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. 73 p. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280226&lan=fi>
- Lepistö, A., Kallio K. & Huttula, T. 2009. Automaattisen järviastian avulla tarkkaa tietoa Pyhäjärvestä. *Järvipelastaja – Pyhäjärven Järvipelastajien tiedotuslehti* 2009/2010: 18.
- Lepistö, A., Huttula, T., Koponen, S., Kallio, K., Lindfors, A., Tarvainen, M. & Sarvala, J. 2010. Monitoring of spatial water quality in lakes by remote sensing and transect measurements. *Aquatic Ecosystem Health and Management* (in press).
- Li, Z., Xu, Z., Shao, Q. & Yang, J. 2009. Parameter estimation and uncertainty analysis of SWAT model in upper reaches of the Heihe river basin. *Hydrological Processes* 23(19): 2744-2753.
- Luyten, P. J., Jones, J. E., Proctor, R., Tabor, A., Tett, P. & Wild-Allen, K. 1999. COHERENS - A coupled hydrodynamical-ecological model for regional and shelf seas: user documentation. MUMM report. Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea. 911 p.
- Malve, O., Ekholm, P., Kirkkala, T., Huttula, T. & Krogerus, K. 1994. Säkylän Pyhäjärven ravinnekuormitus ja rehevyystaso. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 181. Vesi- ja ympäristöhallitus & Turun vesi- ja ympäristöpiiri, Helsinki. 99 s.
- Mattila, H., Kirkkala, T., Salomaa, E., Sarvala, J. & Haliseva-Soila, M. (toim.) 2001. Pyhäjärvi: yhteistyöllä vauhtia vesien suojeluun Lounais-Suomessa. Pyhäjärven suojelurahaston ensimmäisen toimikauden loppuraportti. Pyhäjärvi-Instituutin julkaisuja 26. Pyhäjärven suojelurahasto, Eura. 108 s.

- Mäkynen, A. 2009. AQUATOX – ecological risk assessment model – A tool for impact assessment for waters. University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Science. Master's thesis. 34 p. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju-200911274477>
- Myrberg, K., Ryabchenko, V., Isaev, A., Vankevich, R., Andrejev, O., Bendtsen, J., Erichsen, A., Funkquist, L., Inkala, A., Neelov, I., Rasmus, K., Rodriguez Medina, M., Raudsepp, U., Passenko, J., Söderkvist, J., Sokolov, A., Kuosa, H., Anderson, T.R., Lehmann, A. & Skogen, M.D. 2010. Validation of three-dimensional hydrodynamic models of the Gulf of Finland. *Boreal Environment Research* 15 (in press).
- Niemi, J. (toim.) 2006. Ympäristön seuranta Suomessa 2006-2008. Suomen ympäristö 24/2006. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 151 s. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=201579&lan=fi&clan=fi>
- Puustinen, M. 1994. Effect of soil tillage on erosion and nutrient transport in plough layer runoff. Publications of the Water and Environment Research Institute 17. National Board of Waters and the Environment, Helsinki. pp. 71–90.
- Ruuskanen, J. & Niska, H. 2001. Ympäristömittausten hyödyntäminen. In: Hietaniemi, L. & Lehto, A. (toim.) Ympäristömittausten automatisointi- ja kehittämistarpeet Suomessa. *Teknologiakatsaus* 117/2001. Tekes, Helsinki. s. 11–15.
- Seppälä, J., Ylöstalo, P., Kaitala, S., Hällfors, S., Raateoja, M. & Maunula, P. 2007. Ship-of-opportunity based phycocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 489-500.
- Tarvainen, M. & Ventelä, A.-M. 2007. Pyhäjärven suojelutyö 2000-2006. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja, Sarja B nro 14. Pyhäjärvi-instituutti, Eura. 84 s. http://www.pyhajarvi-instituutti.fi/image/pdf-tiedostot/pyhajarven_suojelutyo2000-2006.pdf
- Tattari S. & Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 3/2004: 26-30.
- Tattari, S., Koskiahho, J., Bärlund, I. & Jaakkola, E. 2009. Testing a river basin model with sensitivity analysis and autocalibration for an agricultural catchment in SW Finland. *Agricultural and Food Science* 18, 3-4: 428-439.
- Uusi-Kämppeä, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. & Uusitalo, R. 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 29(1): 151–158.
- Ventelä, A.-M., Tarvainen, M., Helminen, H. & Sarvala, J. 2007. Long-term management of Pyhäjärvi (southwest Finland): eutrophication, restoration - recovery? *Lake and Reservoir Management* 23: 428–438.
- Wade, A., Durand, P., Beaujoan, V., Wessels, W., Raat, K., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2002. Towards a generic nitrogen model of European ecosystems: New model structure and equations. *HESS* 6: 559–582.
- Whitehead, P.G., Wilson, E.J. & Butterfield, D. 1998. A semi-distributed Integrated Nitrogen model for multiple source assessment in Catchments (INCA): Part I-model structure and process equations. *Science of the Total Environment* 210/211: 547–558.

Liite I CatchLake2 -hankkeen tieteelliset artikkelit (julkaistut ja käsikirjoitukset), raportointi ja muu tiedotus

Tieteelliset artikkelit ja käsikirjoitukset

- Kallio, K. ym. 2010. Automatic measurement station of Lake Pyhäjärvi. (manuscript)
- Koponen, S., Kallio, K., Pyhälähti, T., Lepistö, A., Lindfors, A., 2010. Estimation of water quality in a mesotrophic lake in South-Western Finland with the MERIS Boreal Lakes processor (manuscript).
- Koskiaho J., Lepistö A., Tattari S. & Kirkkala T. 2010. On-line measurements provide more accurate estimates of nutrient loading – a case study of the Yläneenjoki river basin, SW Finland. *Water Science & Technology* (accepted).
- Lepistö, A., Huttula, T., Koponen, S., Kallio, K., Lindfors, A., Tarvainen, M. & Sarvala, J. 2010. Monitoring of spatial water quality in lakes by remote sensing and transect measurements. *Aquatic Ecosystem Health and Management* (in press).
- Rasmus, K. ym. Use of catchment models to improve water quality simulation in a lake. (manuscript).
- Tattari, S., Koskiaho, J., Bärlund, I. & Jaakkola, E. 2009. Testing a river basin model with sensitivity analysis and autocalibration for an agricultural catchment in SW Finland. *Agricultural and Food Science* 18, 3-4: 428-439.

Web-sivut

Hankkeella on suomenkieliset verkkosivut osoitteessa <http://www.ymparisto.fi/syke/catchlake> ja englanninkieliset sivut osoitteessa <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=219804&lan=en&clan=en>

Raportit

- CatchLake hankkeen ensimmäisen osan loppuraportti julkaistiin toukokuussa 2008:
- 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. and Törmä, M. 2008. New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area - CatchLake. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. 73 p. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=280226&lan=FI>
- Loppuraportti sisältää seuraavat mallisovellukset:
- Granlund, K. 2008. The INCA-N model. In: Lepistö, A. & Huttula, T. (eds.) *New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area - CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. pp. 38-43.
- Tattari, S., Koskiaho, J. & Bärlund, I. 2008. The SWAT model. In: Lepistö, A. & Huttula, T. (eds.) *New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area - CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. pp. 32-38.
- Loppuraportti sisältää järven alueellista vedenlaatua (kaukokartoitus ja järvikampanjat) kuvaavan luvun:
- Koponen, S., Kallio, K., Pyhälähti, T. & Lindfors, A. 2008. Lake Pyhäjärvi water quality and modelling. In: Lepistö, A. & Huttula, T. (eds.) *New measurement technology, modeling and remote sensing in the Säkylän Pyhäjärvi area - CatchLake*. Reports of Finnish Environment Institute 15/2008. Helsinki. pp. 44-56.
- Pyhäjärvi-Instituutin julkaisussa raportoitiin SWAT-mallin sovelluksesta:
- Koskiaho, J., Tattari, S. & Abedi, M. 2007. SWAT-mallin soveltaminen Yläneenjoen valuma-alueelle. Tarvainen, M. & Ventelä, A.-M. (toim). *Pyhäjärven suojelutyö 2000-2006*. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja, Sarja B nro 14. Pyhäjärvi-Instituutti, Eura. pp. 15-21.
- http://www.pyhajarvi-instituutti.fi/image/pdf-tiedostot/pyhajarven_suojelutyo2000-2006.pdf

Seminaarit, konferenssit ja konferenssijulkaisut

- Ahti Lepistö esitelmöi tuloksista kansainvälisessä EGU-konferenssissa Wienissä, 13-18.4.2008:
- Lepistö, A., Koskiaho, J., Tattari, S., Granlund, K., Huttula, T. & Kirkkala, T. 2008. Intensive measurements provide new information on nutrient leaching and erosion processes in the Yläneenjoki catchment, SW Finland. *Geophysical Research Abstracts* 10: EGU2008-A-12128. <http://www.cosis.net/abstracts/EGU2008/12128/EGU2008-A-12128-1.pdf>
- Pyhäjärvi-Instituutissa Kauttualla järjestettiin 23.5.2008 tutkijaseminaari uusista tutkimusmenetelmistä vesistökuormituksen ja järvien tilan arvioinnissa.
- Sirikka Tattari esitteli SWAT-mallin käyttöä CatchLake2 projektissa EU:n SCENES projektin (Vesiskenaarit Euroopassa ja sen lähialueilla) työryhmäkokouksessa Riikassa 15.-18.9.2008.

- Timo Huttula kävi GLEON (Global Lake Observation Network) kokouksessa Norrtäljessä 29.9.-1.10.2008 keskustelemassa mahdollisesta liittymisestä globaaliin, uusia mittausteknologioita kehittävään ja hyödyntävään verkostoon.
- Sampsa Koponen esitteli Pyhäjärven kaukokartoitustuloksia Ocean Optics 2008 konferenssissa Italiassa 6-10.10.2008 osana MERIS LAKES projektin validointia:
Koponen, S., Ruiz-Verdú, A., Heege, T., Doerffer, R., Brockmann, C., Peters, M., Kallio, K., Pyhälähti, T., Peña, R., Polvorinos, A., Heblinski, J., Ylöstalo, P., Conde, L., Odermatt, D., Estellés, V., Pulliainen, J., Moreno, J. & Sorensen, K. 2008. Development of MERIS Lake Water Algorithms: Validation Results. Proceedings of the Ocean Optics XIX Conference, Tuscany, Italy, 6-10 October, 2008.
- Ninni Liukko esitteli mallinnustuloksia valuma-alue- ja järvimallin yhdistämisestä sekä Keszthelyssä Unkarissa COST 869 WG2-tapaamisessa 6.-8.5.2009 että Norrtäljessä Ruotsissa European Large Lakes Symposiumissa 10.-14.8.2009. Molempiin postereihin löytyy linkki hankkeen verkkosivuilta <http://www.ymparisto.fi/syke/catchlake>
- Ahti Lepistö esitteli hanketta ja sen tuloksia Tekes-rahoitteen MAASÄÄ hankkeen loppuseminaarissa Helsingissä 13.5.2009.
- Kari Kallio esitteli projektin tuloksia Baltic Remote Sensing and optical workshop:ssa Tallinnassa 20.8.2009 esitelmässään 'Additional test of the MERIS Lakes Processors using Finnish validation data'.
- Ahti Lepistö esitelmöi tuloksista kansainvälisessä IWA:n hajakuormituskonferenssissa Soulissa, (12.-15.10.2009) otsikolla 'Intensive measurements provide new information on nutrient leaching and erosion processes in the Yläneenjoki catchment, SW Finland'.
- Sampsa Koponen esitelmöi projektin tuloksista pohjoismaisilla kaukokartoituspäivillä Helsingissä, 22.11.2009, otsikolla 'Testing of MERIS Boreal and Eutrophic Lake Processors at Lake Säkyän Pyhäjärvi, Finland' sekä Tallinnassa (Baltic Remote Sensing and optical workshop) 20.8.2009 otsikolla 'Development and validation of MERIS Boreal and Eutrophic Lake Processors'.
- Kari Kallio esitteli projektin tuloksia Suurjärviseminaarissa Lahdessa 8.-10.3.2010 otsikolla 'Suurten järvien seuranta satelliittikuvien avulla – esimerkkinä Säkyän Pyhäjärvi'.

Valtakunnallinen ja paikallinen tiedotus

- Uudesta järvimittausasemasta tiedotettiin sekä paikallislehdille että valtakunnallisesti SYKEN tiedotteena 3.9.2008. Järvimittauslautan aineisto oli internetissä vapaasti katsottavana koko mittausjakson ajan.
- TV:n uutiskuvaryhmä haastatteli Henri Vaaralaa (Pyhäjärvi-Instituutti) ja Antti Lindforsia (Luode Consulting Oy) ja kuvasi sekä veneessä että Pyhäjärven uudella järvimittausasemalla. Uutiskooste lähetettiin alueuutisissa sekä 19.9.2008 YLEn aamu-uutisissa.
- Järvimittausasemasta on tiedotettu mm SYKEN verkkosivuilla, kansainvälisessä SYKEN tiedotteessa, Pyhäjärven suojelurahaston nettisivuilla, paikallislehden Pyhäjärven puolesta -palstalla sekä alueen joka talouteen jaettavassa Pyhäjärven järvipelastajien tiedotuslehdessä:
Lepistö, A., Kallio K. & Huttula, T. 2009. Automaattisen järviaseaman avulla tarkkaa tietoa Pyhäjärvestä. Järvipelastaja – Pyhäjärven Järvipelastajien tiedotuslehti 2009/2010: 18.

KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE)		<i>Julkaisu-aika</i> Huhtikuu 2010	
<i>Tekijä(t)</i>	Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Mikko Kiirikki, Teija Kirkkala, Sampsa Koponen, Jari Koskiahjo, Ninni Liukko, Olli Malve, Timo Pyhälähti, Kai Rasmus ja Sirkka Tattari			
<i>Julkaisun nimi</i>	Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa - pilottina Säskylän Pyhäjärvi			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Suomen ympäristö 9 /2010			
<i>Julkaisun teema</i>	Ympäristönsuojelu			
<i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i>	Julkaisu on saatavana myös internetissä: www.ymparisto.fi/julkaisut			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Uusia ympäristön mittausantureita, reaaliaikaista tiedonsiirtoa ja kaukokartoitustekniikoita ympäristöntutkimuksessa ja -seurannassa kehitetään jatkuvasti. Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät leudot talvet aiheuttavat haasteita sekä hajakuormituksen vähentämistavoitteille että ympäristön seurannalle.</p> <p>Säskylän Pyhäjärvi (154 km²) on merkittävä sekä alueellisesti että valtakunnallisesti. Sen valuma-alueella ja itse järvestä on toteutettu lukuisia vesiensuojelutoimia, joilla kuormitusta on saatu vähenemään. Vesiensuojelun vauhdittamiseksi tarvitaan kuitenkin entistä reaaliaikaisempaa tietoa ja ennusteita. CatchLake -hanke (2006-2009) koostui kolmesta osasta: mallinnuksesta, mittauksista valuma-alueella ja järvellä, sekä kaukokartoituksesta. Ravinne- ja kiintoainekuormitus järven valuma-alueella mallinnettiin integroiduilla SVAT- ja INCA-N malleilla, ja itse järvi mallinnettiin 3-d Coherens -mallilla. Mallisovellusten vertailuaineistoksi mitattiin vedenlaadun vaihtelua sekä jokiuomista että järvestä automaattisilla mittausasemilla. Yläneenjoen kuormitusarvot tarkentuivat tuntuvasti verrattuna perinteiseen näytteenottoon.</p> <p>Pyhäjärvellä toteutettiin kaikkiaan kymmenen mittauskampanjaa, joissa kartoitettiin vedenlaadun alueellista vaihtelua läpivirtauslaitteistolla liikkuvasta veneestä. Satelliittikuvista tuotetut aikasarjat antoivat merkittävää uutta tietoa ison järven koko vesialueen tilasta koko kasvukauden aikana. Järvimittauslautan tiheiden klorofyllimittausten avulla saatiin aikaisempaa tarkemmin selville Pyhäjärven rehevyystaso sekä planktonkukintojen voimakkuus ja kesto.</p> <p>Raportissa tarkastellaan mittaustekniikan, kaukokartoituksen ja mallinnuksen tuottamaa uutta tietoa ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa, sekä pohditaan sitä mihin uutta tietoa voidaan käyttää.</p>			
<i>Asiasanat</i>	Vedenlaatu, ravinnekuormitus, mittaustekniikka, mallintaminen, kaukokartoitus, vesiensuojelu			
<i>Rahoittaja/ toimeksiantaja</i>	Tekes ja SYKE			
	ISBN 978-952-11-3752-5 (nid.)	ISBN 978-952-11-3753-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkokoj.)
	<i>Sivuja</i> 46	<i>Kieli</i> Suomi	<i>Luottamuksellisuus</i> julkinen	<i>Hinta (sis.alv 8 %)</i> 11 €
<i>Julkaisun myynti/ jakaja</i>	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum April 2010
Författare	Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Mikko Kiirikki, Teija Kirkkala, Sampsa Koponen, Jari Koskiahio, Ninni Liukko, Olli Malve, Timo Pyhälähti, Kai Rasmus och Sirkka Tattari			
Publikationens titel	Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa - pilottina Säkylän Pyhäjärvi (Nya metoder inom miljöforskning och uppföljning – pilotprojekt i Pyhäjärvi i Säkylä)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 9 / 2010			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på Internet www.ymparisto.fi/julkaisut (på finska).			
Sammandrag	<p>Nya mätsensorer, dataöverföring i realtid och fjärranalysteknologi för miljöforskning och miljöuppföljning utvecklas kontinuerligt. Mildare vintrar som följd av klimatförändringen är en utmaning för målet att minska den diffusa belastningen samt för miljöuppföljningen.</p> <p>Pyhäjärvi (154 km²) i Säkylä är av hög betydelse regionalt och nationellt. På sjöns avrinningsområde och i själva sjön har det gjorts ett stort antal vattenskyddsåtgärder, med vilka man lyckats reducera belastningen. För vattenskyddet behövs dock data som är ännu mer i realtid samt olika prognoser. Projektet CatchLake (2006–2009) bestod av tre delar, dvs. modellering, mätningar på avrinningsområdet och i sjön samt fjärranalys. Belastningen av näringsämnen och suspenderade ämnen på sjöns avrinningsområde simulerades med hjälp av integrerade modeller (SWAT och INCA-N), och för själva sjön gjordes en simulering med den tredimensionella modellen Coherens. För att få jämförelsematerial för modelltillämpningarna mätte man med automatiska mätstationer variationerna i vattenkvaliteten både i åarna och sjön. Man fick på detta sätt betydligt noggrannare bedömningar av belastningen från ån Yläneenjoki än genom traditionell provtagning.</p> <p>Vid Pyhäjärvi gjordes sammanlagt tio mätningsskampanjer, under vilka man kartlade den spatiala variationen i vattenkvaliteten med hjälp av en genomströmningsapparat i en rörlig båt. Tidsserier från fjärranalys gav värdefull ny data om hela vattenområdets tillstånd i denna stora sjö under hela vegetationsperioden. Genom frekventa, automatiska klorofyllmätningar från en mätningssflotte fick man noggrannare kunskaper om Pyhäjärvis trofnivå samt planktonblomingarnas intensitet och längd.</p> <p>I rapporten behandlas den nya information som man fått inom miljöforskningen och uppföljningen med hjälp av mätningsteknologi, fjärranalys och modellering. Därtill dryftas hur denna nya information kunde användas.</p>			
Nyckelord	Vattenkvalitet, näringsbelastning, mätningsteknologi, modellering, fjärranalys, vattenskydd			
Finansiär/uppdragsgivare	Tekes och SYKE			
	ISBN 978-952-11-3752-5 (hft.)	ISBN 978-952-11-3753-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 46	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) 11 €
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2010			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> April 2010
<i>Author(s)</i>	Ahti Lepistö, Timo Huttula, Kirsti Granlund, Kari Kallio, Mikko Kiirikki, Teija Kirkkala, Sampsa Koponen, Jari Koskiahho, Ninni Liukko, Olli Malve, Timo Pyhälähti, Kai Rasmus and Sirkka Tattari			
<i>Title of publication</i>	Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa - pilottina Säkylän Pyhäjärvi (New environmental research and monitoring methods – a pilot study in the Säkylän Pyhäjärvi area)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 9 / 2010			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/julkaisut			
<i>Abstract</i>	<p>Continuous progress is being made in new environmental technologies, such as on-line sensors, real-time wireless techniques for data transfer, remote sensing and models. Mild winters induced by climate change are presenting a challenge to traditional measures aimed at a reduction in diffuse loading. This suggests a need for the further development of environmental monitoring schemes.</p> <p>Lake Pyhäjärvi (154 km²) is of great importance both regionally and nationally. A large number of management measures have been applied both in the catchment and the lake itself, but more real-time, detailed data and model-based scenarios are required for water protection studies. The CatchLake project (2006-2009) was divided into three parts: modelling, lake and catchment measurements, and remote sensing. Integrated catchment models (SWAT and INCA-N) were applied to the Yläneenjoki catchment, in order to simulate the suspended solids, phosphorous and nitrogen loading of the lake. The 3D process-based lake model Coherens was also applied. To validate these models, the water quality of both the lake and major rivers was measured using automatic measuring stations. More accurate estimates of the loading of the lake due to the Yläneenjoki river were obtained, compared to traditional, manual sampling.</p> <p>A custom-made flow-through method was used to collect high resolution transect datasets of water quality information from Lake Pyhäjärvi in ten measuring campaigns. Remote sensing methods were applied to retrieve spring-to-autumn time-series of spatial water quality information. Chlorofyll-a measurement of the lake float provided a better insight into the lake's state of eutrofication, as well as the strength and timing of phytoplankton blooms.</p> <p>The report discusses new information made available by measuring technology, remote sensing and modelling with respect to environmental research and monitoring. In addition, general conclusions and descriptions of the further use of this information are presented.</p>			
<i>Keywords</i>	water quality, nutrient loading, measuring technology, modelling, remote sensing, water protection			
<i>Financier/ commissioner</i>	Tekes and SYKE			
	ISBN 978-952-11-3752-5 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3753-2 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 46	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> 11 €
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O.Box 780, FI-00043 Edita, Finland Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/publishing			
<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: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd, Helsinki 2010			

Vesistöalueiden ja vesivarojen hoidon ja suojelun tutkimuksessa tulevat jatkossa vieläkin enemmän korostumaan kokonaisvaltaiset ratkaisut, joilla etsitään kestäviä ja taloudellisia ratkaisuja vesiensuojeluongelmiin. Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät leudot talvet aiheuttavat haasteita sekä hajakuormituksen vähentämistavoitteille että ympäristön seurannalle.

Ympäristöntutkimuksessa ja -seurannassa tarvitaan uusien menetelmien käyttöönottoa, mutta menetelmät vaativat kehitystyötä, testausta ja validointia. Tekesin rahoittaman CatchLake-hankkeen päätavoitteena oli uusien menetelmien testaaminen pilottialueen mittakaavassa. Alueena oli vesihuollon ja virkistyskäytön kannalta merkittävä Säkylän Pyhäjärvi valuma-alueineen. Hanke koostui kolmesta toisiaan täydentävästä osasta: mallinnuksesta, mittauksista valuma-alueella ja järvellä, sekä kaukokartoituksesta.

Julkaisussa tarkastellaan uutta tietoa ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa, sekä pohditaan uuden tiedon käyttöä, sovelluksia sekä mahdollisia kehityssuuntia.



Myynti: Edita Publishing Oy
 Asiakaspalvelu: PL 780, 00043 EDITA
 puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
 asiakaspalvelu.publishing@edita.fi
 www.edita.fi/netmarket



ISBN 978-952-11-3752-5 (nid.)

ISBN 978-952-11-3753-2 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)