

Silja Kostia (toim.)

Uudet ympäristömittausmenetelmät

– haasteita, mahdollisuuksia ja liiketoimintaa

Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu, sarja C, Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut, osa 82



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

Silja Kostia (toim.)

Uudet ympäristömittausmenetelmät – haasteita, mahdollisuuksia ja liiketoimintaa

Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarjat

A Tutkimuksia

B Oppimateriaalia

C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut

Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu

Sarja C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut, osa 82

Vastaava toimittaja: Ilkka Väänänen

Taitto: Sanna Henttonen

Kannen kuva: Mark Poutanen

ISSN 1457-8328

ISBN 978-951-827-124-9

Paino: Tampereen Yliopistopaino (Juvenes Print) 2011



Sisällys

KIRJOITTAJAT	6
TIIVISTELMÄ	7
Johdanto:	
NOPEAMMIN, TARKEMMIN JA LUOTETTAVAMMIN	8
Eerik Järvinen	
MIKÄ TEKEE MITTAAMISESTA LIIKETOIMINTAA?	13
Lauri Arvola, Hanna Huitu, Hanna Arola, Sirpa Thessler ja Timo Huttula	
YMPÄRISTÖN REAALIAIKAISTEN MITTAUSMENETELMIEN HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET	17
Jussi Horelli, Timo Talvitie ja Arttu Tamminen	
REAALIAIKAISEN YMPÄRISTÖMITTAUSDATAN TALLENTAMISEEN JA SIIRTOON SEKÄ HANKITUN TIEDON VISUALISOINTIIN LIITTYVÄT UUDET RATKAISUT	32
Jarmo Ritari, Kaisa Koskinen, Lars Paulin ja Petri Auvinen	
METAGENOMIIKKA JA DNA-MIKROSIRUT YMPÄRISTÖN MIKROBIEN MÄÄRITTÄMISESSÄ	38
Heidi Jääskeläinen, Joonas Nurmi, Martin Romantschuk ja Jukka Kurola	
LENTOAIKAMASSASPEKTROMETRIAN MAHDOLLISUUDET YMPÄRISTÖN HAITTA-AINEANALYTIKASSA	46
Silja Kostia ja Carola Fortelius	
KEHITTÄMISTÄ, KOULUTUSTA JA LIIKETOIMINTAA – YMLIN MAHDOLLISUUDET AMMATTIKORKEAKOULUOPISKELIJALLE JA -OPETTAJALLE	53

Kirjoittajat

Arola Hanna, FM, tutkija, Suomen ympäristökeskus

Arvola Lauri, FT, professori, Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema

Auvinen Petri, FT, laboratorionjohtaja, Helsingin yliopisto, Biotekniikan instituutti

Fortelius Carola, TkL, lehtori, Metropolia ammattikorkeakoulu

Horelli Jussi, DI, tutkimuspäällikkö, Hämeen ammattikorkeakoulu

Huitu Hanna, MMM, tutkija, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

Huttula Timo, FT, yksikön päällikkö, professori, Suomen ympäristökeskus

Järvinen Eerik, FM, tutkimuspäällikkö, Ramboll Finland Oy

Jääskeläinen Heidi, FM, tutkija, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Kostia Silja, FT, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu

Nurmi Joonas, FM, tutkija, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Koskinen Kaisa, FM, tutkija, Helsingin yliopisto, Biotekniikan instituutti

Kurola Jukka, FT, projektipäällikkö, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Paulin Lars, FM, laboratorioinsinööri, Helsingin yliopisto, Biotekniikan instituutti

Ritari Jarmo, FM, tutkija, Helsingin yliopisto, Biotekniikan instituutti

Romantschuk Martin, FT, professori, Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos

Talvitie Timo, FM, ohjelmistokehittäjä, Hämeen ammattikorkeakoulu

Tamminen Arttu, LuK, ohjelmistokehittäjä, Hämeen ammattikorkeakoulu

Thessler Sirpa, FT, erikoistutkija, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

Tiivistelmä

Ympäristössä tapahtuvat muutokset tarvitsevat yhä tarkempia, luotettavampia ja reaaliaikaisempia mittaus- ja analyysimenetelmiä. ”Uudet ympäristömittausmenetelmät liiketoimintamahdollisuutena – YMLI” -hankkeen tavoitteena oli kehittää, testata ja tuottaa uusia ympäristötutkimusmenetelmiä. Koordinaatiovastuu hankkeesta oli Helsingin yliopiston (HY) ympäristötieteiden laitoksella Lahdessa. Muita toteuttajia olivat Lammin biologinen asema (HY), Biotekniikan instituutti (HY), Lahden ja Hämeen ammattikorkeakoulut ja Metropolia ammattikorkeakoulu, Suomen ympäristökeskus, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus sekä mukana olevat yritykset.

YMLI rakentui kolmesta osahankkeesta. YMPANA-osahankkeessa kehitettiin reaaliaikaisen tiedon keruuta, analysointia ja saattamista kuluttajaystävälliseen muotoon. Olemassa olevia jatkuvatoimisia vedenlaadun mittausjärjestelmiä laajennettiin, ja niihin hankittiin uusia mittasensoreita. Yhteenvetona todettiin, että automaattiset veden laadun ja virtaaman mittaukset soveltuvat erityisesti pienimpien vesistöalueiden kuormitustutkimuksiin, maatalouden toimenpiteiden vesistövaikutusten tutkimiseen ja nopeiden vesistöä kuormittavien tapahtumien seurantaan. Osahankkeessa toteutettiin myös Vanajavesi-sivusto ja sen yhteyteen informaatioportaali sekä pilotoitiin reaaliaikaisen mittaustiedon visualisointiratkaisuja.

YMPGEN- ja SIRMI-osahankkeissa keskityttiin uusien analyysimenetelmien kehittämiseen. Käyttämällä uuden sukupolven DNA-paralleelisekvensointilaitteita saatiin YMPGEN-osahankkeessa mielenkiintoisia tuloksia kompostin ja mädättämön toimintaan liittyvistä avainmikrobeista. Tulokset voivat avata uusia näkökulmia biojätteiden energiakäyttöön. Toisena kiinnostuksen kohteena olivat biohajoavan materiaalin hajottamisen osallistuvat mikrobit ja niiden spesifiset entsyymiaktiivisuudet. Kolmas tutkittu ympäristö oli Itämeri. SIRMI-osahankkeessa kehitettiin DNA-mikrosirusovelluksia, jonka avulla voitaisiin kattavasti havaita ympäristön mikrobeja. Kohteina olivat hometalojen, järvisedimentin ja maaperän mikrobit.

SIRMI-osahankkeen hankkeen käyttöön vuokrattiin kaasua- ja nestekromatografiset lento-aika (GC-TOF ja LC-TOF) massaspektrometrilaitteistot ja kehitettiin TOF-analyysimenetelmät mm. polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) ja orgaanisten tinayhdisteiden määrittämiseksi kiinteistä maa-, sedimentti- sekä jätevesinäytteistä. Lisäksi kehitettiin monijäämämenetelmä orgaanisten haitta-aineiden kvalitatiiviseen tunnistamiseen vesinäytteistä, ja GC-TOF-analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tutkia kompostien sisältämiä maalevinteisiä kasvitauteja spesifisesti ehkäiseviä bioaktiivisia yhdisteitä.

Hankkeen tavoitteena oli myös yhdistää tutkimus- ja koulutusosaamista edistämään uusien mittaus- ja analyysimenetelmien tunnettuutta. Ammattikorkeakoulun opettajalle YMLI-hanke mahdollisti oman osaamisen päivittämisen, kehittämiseen osallistumisen ja koulutuksen sisältöjen kehittämisen. Opiskelijoille YMLI mahdollisti työskentelyn mielenkiintoisten tutkimusongelmien parissa. YMLI-hankkeen tuloksista on tehty opinnäytteitä, artikkeleita ja koulutusmateriaalia. Hankkeen tuloksena syntyi uutta osaamista, toimintatapoja ja liiketoimintamahdollisuuksia.

Avainsanat

reaaliaikainen mittaus, laatu, DNA-mikrosiru, paralleelisekvensointi, TOF

JOHDANTO: NOPEAMMIN, TARKEMMIN JA LUOTETTAVAMMIN

Ilmastonmuutos, elinympäristön kemikalisoituminen ja luonnon monimuotoisuuden väheneminen edellyttävät aiempaa yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa tietoa ympäristön tilasta ja sen muutoksista. Esimerkiksi ympäristön kemiallista tai biologista saastumista on pystyttävä sekä terveydellisistä että taloudellisista syistä analysoimaan mahdollisimman nopeilla, tarkoilla ja kustannustehokkailla mittaus- ja analyysimenetelmillä. Tieto talousveden kemiallisesta tai mikrobiologisesta saastumisesta pitäisi saada reaaliajassa, jotta yhdyskuntia uhkaavan epidemian tai myrkytyksen leviäminen pystyttäisiin estämään tai rajaamaan mahdollisimman tehokkaasti. Vastaavasti onnistuneesti toteutettujen ympäristön tilaa parantavien kunnostustoimenpiteiden nopea ja kattava toteaminen säästäisi aikaa ja taloudellisia resursseja. Tietoja tarvitaan päätöksenteon tueksi kaikilla tasoilla. Tietojen luotettavuus on avainasemassa, koska päätökset koskevat usein suuria ihmisryhmiä ja alueita sekä taloudellisia ja kulttuurisia arvoja. Ympäristön tilan mittaamiseen käytetään monia menetelmiä ja laitteita. Mittaustarkkuus ja tulosten toistettavuus ovat peruslähtökohтия arvioitaessa tulosten käyttökelpoisuutta. Lisäksi korostuvat yhä enemmän tulosten saannin nopeus, mittaustapahtumien toistettavuus ja automatisointi sekä määritysten ja mittausten hinta.

Uudet ympäristömittausmenetelmät liiketoimintamahdollisuutena (YMLI) -hanke

YMLI-hankkeen tavoitteena oli kehittää, testata ja tuotteistaa uusimpia ympäristötutkimusmenetelmiä, kuten (i) DNA-sirudiagnostiikkaan ja -sekvensointiteknologiaan perustuvia mikrobien tunnistusmenetelmiä, (ii) massaspektrometriaan perustuvia kemian analyysimenetelmiä, ja (iii) automaattisen vedenlaadun seurantaan liittyviä jatkuvatoimisia mittaussuomenetelmiä. YMLI-hankkeen tavoitteena oli myös yhdistää tutkimus- ja koulutusosaamista edistämään uusien mittaussuomenetelmien tunnettuutta.

YMLI koostui kolmesta osahankkeesta, joista SIRMI (Tarkan tunnistusmenetelmän kehittäminen ympäristön mikrobeille ja ympäristömyrkyille) ja YMPGEN (Ympäristön geenien tunnistus ultranopealla DNA-sekvensoinnilla) keskittyivät analyysimenetelmien kehittämiseen ja YMPANA (Ympäristön tilan seurannan uudet ratkaisut: reaaliaikaisen tiedon keruu, tuotetun tutkimus- ja seurantatiedon hyödyntäminen ja liiketoimintakehitys) reaaliaikaisen mittaamisen kehittämiseen ja saadun mittaustiedon laatuksymyksiin.

Koordinaatiovastuu YMLI-hankkeesta oli Helsingin yliopiston (HY) ympäristötieteiden laitoksella Lahdessa ja muita toteuttajia olivat Lammin biologinen asema (HY), Biotekniikan instituutti (HY), Lahden ammattikorkeakoulu (LAMK), Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK), Suomen ympäristökeskus (SYKE) sekä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). Myös Metropolia ammattikorkeakoulu osallistui hankkeen toimintaan. Liiketoimintanäkökuulmaa ja -osaamista hankkeeseen toivat ohjausryhmän yritysjäsenet.

YMLI-hanketta rahoittivat Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) Etelä-Suomen ohjelma, Ramboll Finland Oy, Lahden kaupunki, Lahden ammattikorkeakoulu (LAMK), Kehittämiskeskus Häme Oy, Forssan seudun kehittämiskeskus Oy, Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK),

Finnzymes Oy, Luode Consulting Oy ja Ramboll Analytics Oy. YMLI-hanke käynnistyi vuonna 2008 ja rahoituskausi loppuu 31.8.2011.

Tässä raportissa YMLIn toimijat kertovat hankkeen tuloksista, kokemuksista ja jatkokehitysajatuksista hankkeen loppumetreillä. Alla on tiivistelmät osahankkeista sekä viittaus tämän raportin artikkeleihin.

SIRMI ja YMPGEN: Ultranopeaa geenien tunnistusta, DNA-siruja ja kemiallista ympäristöanalytiikkaa

Ympäristön mikrobiyhteisöjen tuntemus on edelleen vajavaista. Vanhat laboratoriokasvatukseen perustuvat mikrobiologiset tutkimusmenetelmät ovat valikoivia, ja antavat vain rajoitetun kuvan ympäristön mikrobien monimuotoisuudesta. Molekyylibiotekniikan ja metagenomiikan tutkimus- ja kehitystyö mahdollistavat lähitulevaisuudessa ympäristön mikrobien tunnistuksen ja seurannan geenitiedon avulla tehokkaasti ja nopeasti. Seurannan mahdollisina kohteina voidaan mainita mm. yhdyskuntien juomavesivarat, sisäilman laatu sekä maaperän tai vesistön mikrobiologiset prosessit ja kunnostuksen seuraaminen.

Uuden sukupolven DNA-paralleelisekvensointilaitteilla voidaan yhden analyysin aikana saada selville jopa satamiljoonaa kappaletta DNA-sekvenssiä. Aikaisemmin tällaisen DNA-sekvenssiaineiston keräämiseen kului kuukausia tai jopa vuosia suuremmissakin sekvensointikeskuksissa. Paralleelisekvensointimenetelmä perustuu geenien suoraan PCR monistukseen, jolloin ei enää ole tarvetta valmistaa suuria ja kalliita geeni- tai kloonikirjastoja. Tästä syystä voidaan analysoida pieniä ja vaikeasti käsiteltäviä näytteitä. Näin saadaan tarkkaa geenitason tietoa myös niistä eliöistä, jotka elävät ympäristössämme, ei vain laboratoriossa.

YMPGEN-osahankkeessa selvitettiin miten DNA-sekvensoinnilla voidaan kuvata muun muassa kompostin ja mädättämön toimintaan liittyviä avainmikrobeja. Tulokset ovat mielenkiintoisia ja avaavat uusia näkökulmia biojätteiden energiakäyttöön. Toisena kiinnostuksen kohteena olivat biohajoavan materiaalin hajottamisen osallistuvat mikrobit ja niiden spesifiset entsyymiaktiivisuudet. Kolmas tutkittu ympäristö oli Itämeri, ja hankkeessa testattiin DNA:n paralleelisekvensointimenetelmän sopivuutta Itämeren kaltaisen vesiympäristön kuvaamisessa. SIRMI-osahankkeessa kehitettiin DNA-mikrosirusovelluksia, jonka avulla voitaisiin kattavasti havaita ympäristön mikrobeja sekä pyrittiin ratkaisemaan diagnostisille DNA-siruille tyypillisiä ongelmakohtia. Kohteina olivat hometalojen, järvisedimentin ja maaperän mikrobit. DNA:n paralleelisekvensointimenetelmää hyödynnettiin kun määritettiin ympäristönäytteistä mikrobiryhmät, jotka parhaiten soveltuvat diagnostisen DNA-sirun tutkimuskohteiksi. Teknologioista ja niiden kehittämisestä ja soveltamisesta kirjoittavat Jarmo Ritari, Kaisa Koskinen, Lars Paulin ja Petri Auvinen artikkelissa ”Metagenomiikka ja DNA mikrosorut ympäristön mikrobien määrittämisessä.”

YMPGEN- ja SIRMI-osahankkeissa Metropolia ja Lahden ammattikorkeakoulu olivat mukana opiskelijaprojektien kautta (kuva 1). Hankkeen aikana syntynyttä osaamista ja kokemuksia hyödynnetään koulutuksen sisältöjen ja rakenteiden kehittämisessä. Näistä kokemuksista kerrotaan Silja Kostian ja Carola Forteliuksen artikkelissa ”Kehittämistä, koulutusta ja liiketoimintaa YMLIn mahdollisuudet ammattikorkeakouluopiskelijalle ja opettajalle”.

SIRMI-osahankkeen toisena menetelmänkehittämiskohtena oli nopeavasteinen ympäristömyrkyaineanalytiikan usein tapahtuvaan tai jatkuvaan seurantaan. Analytiikan kehittämiseksi hankkeen käyttöön vuokrattiin kaasua- ja nestekromatografiset lento-aika (GC-TOF ja LC-TOF) massaspektrometrilaitteistot. TOF-laitteistojen ja niihin liitetyn massaspektrikirjaston avulla pystytään määrittämään lukuisten eri ympäristömyrkyjen tai niiden hajoamistuotteiden pitoisuudet aina pikogramma eli gramman tuhatmiljardisosan tasolle saakka. Hankkeessa kehitettiin TOF-analyysimenetelmät polyaromaattisten hillivetyjen (PAH), dioksiinien ja orgaanisten tinayhdisteiden määrittämiseksi kiinteistä maa-, sedimentti- sekä jätevesinäytteistä. Lisäksi kehitettiin monijäämämenetelmä orgaanisten haitta-aineiden kvalitatiiviseen tunnistamiseen vesinäytteistä, ja GC-TOF-analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tutkia kompostien sisältämiä maalevintheisiä kasvitauteja spesifisesti ehkäiseviä orgaanisia yhdisteitä. Tämän kehittämistyön tuloksia kuvataan Heidi Jääskeläisen, Joonas Nurmen, Martin Romantschukin ja Jukka Kurolan artikkelissa ”Lentoaikamassaspektrometrian mahdollisuudet ympäristön haitta-aineanalytiikassa”.

YMPANA:

Reaaliaikaista mittaamista ja tiedonsiirtoa

YMPANA-osahankkeen tarkoituksena oli reaaliaikaisen tiedon keruun ja analysoinnin kehittäminen jatkuvatoimisten ympäristömittausmenetelmien osalta. Tavoitteena oli tuotetun tiedon hyödyntäminen ympäristön tilan seurannassa ja ympäristöalan koulutuksessa sekä uusien laitteistojen ja tietojen hallintaan liittyvän osaamisen tuotteistaminen. Osahankkeessa oli mukana toimijoita Kanta-Hämeestä, Päijät-Hämeestä, Uudeltamaalta ja Varsinais-Suomesta.

Uusien innovatiivisten ympäristömittausmenetelmien sekä tutkimustiedon käyttöympäristöjen kehittäminen merkitsee tässä yhteydessä sitä, että jo olemassa olevia jatkuvatoimisia fysikaalis-kemiallisesti painottuvia vedenlaadun mittausjärjestelmiä laajennettiin, ja niihin hankittiin uusia mittasensoreita. Lisäksi tarkasteltiin jatkuvan ympäristömittaustiedon käyttöä ja käytön automatisointia maatalouden sovelluksissa. Hankkeen tutkimusosa-alueena oli myös maa- ja metsätalouden ravinnekuormitukseen liittyen purovesien automaattisen vedenlaadun seurannan kehittäminen ja tuotteistaminen. Tältä osin hyödynnettiin HY:n Lammin biologisen aseman ja LuodeConsulting Oy:n yhteistä projektia, jossa oli testattu uuden optisen mittaussaitteen soveltuvuutta maatalouden ravinne- ja vesistökuormituksen seurannassa yhteistyössä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa. Tämän yhteistyön tuloksena valmisteilla on yhteinen käsikirja veden reaali-aikaisten sameusmittausten laadunvarmistuksesta. YMPANA-osahankkeessa saatuja tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää perustettaessa uusia automaattista vedenlaadun havaintoverkkoja sekä suunnitellussa niiden toiminnan laadunvarmistusta.

YMPANA-osahankkeen toisena lähtökohtana on ollut uusien ympäristömittausmenetelmien tuottaman mittausdatan keskitetty tiedonkeruu, sitä kautta tavoiteltava sensorifuusio ja mittausdatan havainnollistaminen. Tältä osin hankkeen toiminta on keskittynyt mittausdatan keräämiseen, visualisointiin ja tapoihin yhdistää eri lähteistä kerättyä dataa. Konkreettisenä esimerkkinä voidaan mainita Hämeen Ammattikorkeakoulun toteuttama Vanajavesi-sivustojen kehitys, sen yhteyteen toteutettavan informaatioportaalin suunnittelu, ja reaaliaikaisen mittaustiedon visualisointiratkaisujen pilotointi. YMPANA-osahankkeen tuloksista ja toiminnasta kerrotaan artikkeleissa ”Lauri Arvola, Hanna Huitu, Hanna Arola, Sirpa Thessler ja Timo Huttula: Ym-



Kuva 1. Lahden ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan koulutusohjelman opiskelijat tekemässä laboratorioharjoituksia.

päristön reaaliaikaisten mittausten haasteet ja mahdollisuudet” ja Jussi Horelli, Timo Talvitie ja Arttu Tamminen: ”Reaaliaikaisen ympäristömittausdatan tallentamiseen ja siirtoon sekä hankitun tiedon visualisointiin liittyvät uudet ratkaisut”.

Enemmän kuin osiensa summa?

YMLI koostui kolmesta osahankkeesta, jotka yhdistettiin yhdeksi isommaksi EAKR-ideaan jälkeen syksyllä 2007. Rahoittajan kanssa käydyissä keskusteluissa korostettiin, että koko YMLI-hankkeen pitäisi olla enemmän kuin osiensa summa eli yhteistyöstä pitäisi syntyä enemmän kuin yksin toimissa. YMLI on kehittämishanke, mutta tutkimuksellisempi kuin EAKR-hankkeet keskimäärin. Toimijoina olivat paljon tutkijoita ja opiskelijoita.

YMLI-hankkeen tuloksista valmistui useita opinnäytetöitä, ja niihin liittyen valmisteilla on myös monta kansainvälistä tieteellistä julkaisua. YMLI-hanke on järjestänyt kaksi seminaaria, joista ensimmäinen ”Uudet innovatiiviset ympäristömittausjärjestelmät” oli Lahdessa marraskuussa 2009 osana Lahden tiedepäivää ja jälkimmäinen ”Uudet ympäristömittausmenetelmät – haasteet ja mahdollisuudet vesiympäristön tutkimus- ja seurantatoiminnan kehittämisessä” Helsingissä tammikuussa 2011. Ensimmäisessä seminaarissa oli osanottajia 25 ja jälkimmäisessä lähes 50. Lisäksi YMPANA-hanke järjesti kaksi tapaamista, joista toisessa paikalle oli kutsuttu kuntarahoittajat ja

toisessa yrittäjiä. Näistä ensimmäinen tilaisuus pidettiin lokakuussa 2010 Jokioisilla ja toinen tammi-kuussa 2011 Forssassa. Ensimmäisessä tilaisuudessa oli osanottajia noin 10 ja jälkimmäisessä noin 25. Hankkeen toimijat kokoontuivat säännöllisesti työpajoissa, joita järjestettiin Lahdessa, Lamilla ja Helsingissä. Näissä työpajoissa sekä kerrottiin saavutetuista tuloksista että ideoitiin uutta.

YMLI-hanke on tuottanut uutta tietoa ja toimintatapoja siitä, miten yliopisto ja ammattikorkeakoulut voisivat toimia yhdessä tutkimuslaitosten ja yritysten kanssa uusien ympäristön mittausten menetelmien ja -tekniikoiden siirtämisessä liiketoimintamahdollisuuksiksi. YMLI-hankkeessa on painottunut verkostoituminen, tiedon ja kokemuksen jakaminen sekä osaamisen kehittäminen ja kehittyminen. Hankkeen välillisenä kohderyhmänä ovat olleet hankkeessa mukana olevien korkeakoulujen ja yliopiston opiskelijat.

Hankkeessa on syntynyt uutta osaamista ja verkostoja. Pysyviä tuloksia ovat mm. Vanajavesikeskuksen perustaminen Kanta-Hämeeseen sekä sen myötä muodostuvat uudet tutkimukselliset ja tiedotukselliset tarpeet ja tehtävät. On perusteltua uskoa, että YMLI-hankkeen synnyttämä tieto ja osaaminen hyödynnetään eri muodoissaan hankkeessa mukana olleissa koulutus- ja tutkimusorganisaatioissa. Laajemmin hankkeesta hyötyjiä ovat myös ympäristöalan yritykset, ja terveellisestä ja puhtaasta ympäristöstä riippuvaiset asukkaat ja kuluttajat.

YMLI-hankkeen ohjausryhmä

Ohjausryhmän puheenjohtajan toimi Tomi Tura, Lahden Tiede- ja Yrityspuisto Oy:stä, ja sihteerinä projektipäällikkö Jukka Kurola, Helsingin yliopiston ympäristötieteiden laitokselta.

Ohjausryhmän jäsenet:

- Jyrki Aakkula, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus
- Lauri Arvola, Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema
- Petri Auvinen, Helsingin yliopisto, Biotekniikan Instituutti
- Carola Fortelius, Metropolia Ammattikorkeakoulu
- Heli Haakana, Finnzymes Oy (nykyisin Thermo Fisher)
- Jussi Horelli, Hämeen Ammattikorkeakoulu
- Eerik Järvinen, Ramboll Analytics Oy
- Sanna Kantonen, Päijät-Hämeen liitto
- Timo Koivulehto, Kehittämiskeskus Häme Oy
- Silja Kostia, Lahden ammattikorkeakoulu
- Antti Lindfors, Luode Consulting Oy
- Timo Lindvall, Forssan seudun kehittämiskeskus
- Seppo Rekolainen, Suomen Ympäristökeskus
- Martin Romantschuk, Helsingin yliopisto, ympäristötieteiden laitos

Projektin kotisivun osoite: www.helsinki.fi/ymparistotieteet/tutkimus/yml.html. Lisäksi Lahden ja Hämeen ammattikorkeakoulujen www-sivuilla on esittely hankkeesta.

Eerik Järvinen

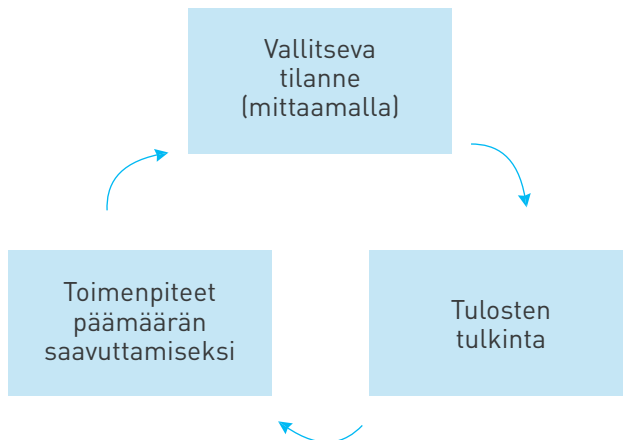
MIKÄ TEKE MITTAAMISESTA LIIKETOIMINTAA?

Kuluttajille suunnatussa markkinoinnissa tuotteen ylivoimaista laatua todistellaan usein vertaamalla laboratorioissa mitattuja ominaisuuksia kilpailijoiden vastaaviin ominaisuuksiin. Tämä esitystapa paljastaa vallalla olevan käsityksen mittauksista: puolueetonta ja luotettavaa mittaamista tai analysointia tehdään erityisesti laboratorioissa, puolueettomien asiantuntijoiden toimesta ja tarkkaan kontrolloiduissa olosuhteissa. Kuitenkaan mittaaminen ei ole vain laboratorioissa tapahtuvaa erityistoimintaa. Käytännössä yhteiskunta toimii mittaamisen varassa. Eivätkä vain teolliset prosessit, vaan sähköntuotanto, liikenne, viestintä, lainsäädäntö, kauppa jne. Tämä on ymmärrettävää, sillä asioiden tai prosessien hallinta noudattaa kiertoa, joka on esitetty kuvassa 1. Kierro pyörii pääosin ilman että mittaaja saa mittaamisestaan mitään korvausta.

Mittaamiseen liittyvää liiketoimintaa tavataan pääosin seuraavien toimintojen ympärillä:

1. Mittalaitteiden ja antureiden valmistus
2. Mittaamisen suunnitteluun liittyvät asiantuntijapalvelut (mittausmenetelmien ja standardien suunnittelu, kalibrointi)
3. Mittaaminen ja laboratorioanalyysit
4. Mittaustulosten tulkinta ja niihin liittyvät konsultointipalvelut

Tyypillisesti nämä ovat enemmän tai vähemmän löyhästi sidoksissa toisiinsa. Esimerkiksi YMLI-hankkeessa osarahoittajana toimineen Ramboll Analyticsin liiketoiminta hyödyntää toiminnassaan erilaisia mittalaitteita, varsinaisen liiketoiminnan muodostuessa asiantuntijapalveluista sisältäen tutkimussuunnittelua, mittaamista, analysointia, tulosten tulkintaa ja laadunhallintaa. Merkittävää roolia näyttölee asiantuntemus, sillä periaatteessa kuka tahansa voi ostaa mittalaitteen, mutta vain asiantuntemuksella saadaan luotettavia tuloksia.



Kuva 1. Mittaaminen osana toiminnan kehittämistä.

Kuten muullekin kaupalle myös mittaamiselle on oltava tarve. Kannattavaa liiketoimintaa ei voi luoda minkä tahansa asian mittaamisesta. Ympäristölaboratorion asiakkaille tämä tarve muodostuu mm. viranomaisten asettamista velvoitetarkkailuista tai oman toiminnan tarkkailusta tuotannon tukena. Näissä tapauksissa mittaustulokset ovat asiakkaan liiketoiminnan kannalta välttämättömiä. Esimerkiksi velvoitetarkkailuiden hoitaminen on välttämätöntä ympäristöluvan ehtojen täyttämiseksi, mikä puolestaan mahdollistaa toiminnanharjoittamisen. Tuotantoon liittyvät mittaukset mahdollistavat prosessin tehokkuuden arvioimisen edesauttaen kustannus- tehokasta liiketoimintaa.

Läheskään kaikki mittaaminen ei ole ulkopuolisen liiketoiminnan ulottuvilla. Tehtaat mittaavat hyvin suuren osan omista päästöistään ja niihin liittyvistä oheisparametreista tuotannosta puhumattakaan. Monilla tehtailla on myös omia laboratorioita ja mittaushenkilökuntaa, jotka voivat hoitaa osan tai kaikki tarvittavista mittauksista. Yleensä tuotantolaitosten laboratoriot on valjastettu tuotantoa tukevaan analytiikkaan. Sen hoitaminen muualla kuin tehdasalueen välitörmässä läheisyydessä on hyvin hankalaa nopeista toimitusaikavaatimuksista johtuen. Toisaalta ympäristötarkkailuun liittyvät harvemmin otettavat näytteet on usein edullisinta teettää palvelulaboratoriossa, mikäli valmiita analyttisiä menetelmiä ei ole jo käytössä. Lisäksi tulokset halutaan usein puolueettomasta laboratorion.

Mittalaitteet ja analysaattorit näyttelevät merkittävää osaa mittauksissa. Erilaisia lupaavia mittaus- ja analyysitekniikoita on lukematon määrä, joista osa kehittyy aikanaan puhtaasta tutkimuskäytöstä laajempaan analysointikäyttöön soveltuvalla tasolla. Tämän edistyksen seuraaminen on kehityksen aallonharjalla kamppailevalle yritykselle tärkeää, jotta oikea teknologia osataan ottaa käyttöön oikea-aikaisesti. Kehittymättömän tekniikan käyttöönotto sisältää laatuun, toimintavarmuuteen tai johonkin tekniseen rajoittuvuuteen, jopa käytettävyyteen liittyviä riskejä. Tällaiseen teknologiaan sijoitettu pääoma yhdistettynä huomattavaan työmäärään voi olla liiketoiminnan kannalta raskas yhtälö, varsinkin toiminnan laajuuden ollessa pientä tai keskisuurta. Laboratorion analyysituotantoon soveltuvan laitteiston teknisen tason ja erityisesti järjestelmän kokonaisuuden arvioiminen voi olla toisinaan haastavaa pelkkien teknisten asiakirjojen perusteella.

Suuria näytemääriä analysoiviin laboratorioihin hankitaan hyvin harvoin tutkimuksellisissa kehitysvaiheissa olevaa tekniikkaa, vaan yleensä teknologia on jo kaupallistettu. Toisinaan mittalaitetoimittajat kaupallistavat lupaavaa tekniikkaa liian varhain, jolloin teknologia saattaa saada huonon maineen johtuen puutteellisesta tuotekehityksestä ja tuotteen testauksesta. Itse mittausperiaate saattaa kuitenkin olla erinomainen. Tämän kehitysvaiheen seuraaminen on tärkeää. Hankkiessaan teknisesti kehittyneimpiä laitteistoja mittaaja tai laboratorio saa usein etua suhteessa kilpailijoihin, olettaen että muu toiminta tukee hankintaa ja että se on mielekäs suhteessa liikevaihtoon ja kysyntään. Kehittyneimmän tekniikan kääntöpuolena on hinta. Lisäksi sen käyttäminen vaatii usein korkeaa osaamista, tosin joskus tekniikka voi ainakin näennäisesti helpottaa analyysin suorittamista.

Tekniikan kehittyessä laitteet pienenevät ja aiemmin laboratoriossa suoritettuja mittauksia on mahdollista tehdä kentällä, millä voi olla suotuisia vaikutuksia mm. näytteen ajalliseen ja paikalliseen edustavuuteen. Kentällä tapahtuva mittaaminen vaatii kuitenkin aina kokeneen asiantuntijan, joka tuntee mitattavan kohteen lisäksi mittaustekniikan erityispiirteet. Mittausten haastavuudesta saa kuvan tarkastelemalla näennäisesti yksinkertaista ulkolämpötilan mittausta.

Ulkolämpömittari on lähes joka taloudessa, mutta vain harvassa se on sijoitettu siten, että sen lukema on kaikissa olosuhteissa luotettava, päinvastoin; usein se on auringossa eteläseinällä. Harva on kalibroinut mittariaan ja vielä harvemmassa taloudessa mittaasepävarmuus on tiedossa. Oikeiden johtopäätösten tekemisen kannalta nämä ovat välttämättömiä tietoja. Muussa tapauksessa tulokset ovat suuntaa-antavia: esim. ”tänään on kova pakkanen”. Kentällä tapahtuvien mittausten yhteydessä liiketoiminta ei usein rajoitu pelkästään mittaajan toimittamiin tuloksiin vaan myös niistä tehtäviin johtopäätöksiin sekä toimenpide-ehdotuksiin. Kentämittausten, kuten laboratorioanalyysienkin tulokset vaativat usein usean eri parametrin tulkintaa yhdessä, jotta tarkasteltavan systeemin tilasta voidaan tehdä johtopäätöksiä.

Kentällä tapahtuvat jatkuvatoimiset ns. on-line mittaukset tuovat laboratoriomittauksiin verrattuna ajallisen ulottuvuuden. Esimerkiksi kaupunkien ulkoilman laatua mitataan joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta jatkuvatoimisesti. Jatkuvatoimiset mittaukset siirtävät liiketoiminnan painopistettä itse mittaamisesta mittausjärjestelmän ylläpitoon, huoltoon ja tulosten usein automaattiseen käsittelyyn. Koska laitteiden ylläpito ja huolto vaativat työvoimaa, tulevat hankintahinnaltaan edullisellakin mittalaitteella suoritettujen mittausten kokonaiskustannukset usein yksittäisiä laboratoriomittauksia kalliimmaksi. Kuitenkin teknologian kehittyessä luotettavuus paranee ja huollettavuus vähenee. On myös parametreja joita ei voida analysoida kuin paikan päällä, esimerkkinä olkoon lämpötila.

Perinteisen mittausmenetelmän korvautuminen uudella teknologialla näyttää vääjäämättömältä pitkällä aikavälillä. Kuitenkin teknologisen murroksen ajallinen ennustaminen on hankalaa, erityisesti sovellettaessa sitä kaupalliseen toimintaan. Vaikka uusi teknologia saavuttaa luotettavan tason, voi lainsäädännöllisistä syistä perinteinen mittaustapa olla edelleen pitkään käytössä. Syynä voi olla asiakkaiden tai viranomaisten halu saada mittaustulokset ”standardimenetelmällä”, johon raja-arvoja voidaan suoraan verrata. Taustalla on ajatus, että uusi ja vanha mittausmenetelmä eivät anna kaikissa olosuhteissa samaa tulosta. Mielikuva ei ole kuvitteellinen: eroa saattaa aiheutua esimerkiksi erilaisten summparametrien tapauksessa hieman poikkeavasta analyyttijoukosta jonka mittalaitte ”näkee”. Tästä huolimatta uusi teknologia voi olla kuitenkin hyödyllistä ottaa käyttöön jos se tarjoaa jotain muuta etua, esimerkiksi alhaisemman määrittämissä, erottelevuuden, nopeuden, pienemmän työn ja kemikaalien kulutuksen yhdistyessä riittävään korrelaatioon suhteessa perinteiseen mittaustapaan. Tällaista murrosta odotetaan tapahtuvaksi esimerkiksi DNA-pohjaisten menetelmien syrjäyttäessä perinteiset viljelyyn perustuvat mikrobianalyytit.

YMLI-hankkeen aikana Ramboll Analytics kaupallisena laboratoriona oli kiinnostunut eri toteuttajien kokemuksista. Näistä on hyötyä jatkossa suunniteltaessa uusia palveluja asiakkaille. Hankkeen tulosten rohkaisemana yritys tekikin investointeja korkeatasoisiin massaspektrometri-laitteistoihin. Investoinnin tuloksena avautui täysin uusia ulkomaisia markkinoita ja hankkeeseen kuluneet oppirahat on saatu maksettua korkoineen lyhyessä ajassa.

Mittausmenetelmien kehittyessä suuntana esitetään toisinaan kuvia ideaalitulosta, jossa kuka tahansa voi mitata luotettavasti edullisella mittalaitteella mitä tahansa missä tahansa ja vieläpä jatkuvatoimisesti. Tällöin laboratoriossa tapahtuvalle mittaukselle ei ole enää tarvetta. Luonnon monimuotoisuus sekä ihmisen vaikutus siihen on kuitenkin lähinnä fraktaalinen kaltainen. Kuviona fraktaali on muoto, jota voi suurentaa loputtomasti yksityiskohtien vähentymättä, samoin on mittaamisen laita. Aiempan kehitykseen viitaten näyttää olevan jatkuva tarve mitata enemmän ja tarkemmin,

jotta ilmiöiden taustalla olevat syy-seuraussuhteet saadaan paljastettua. Tiedon karttuessa mitattavien suureiden määrä kasvaa jatkuvasti ja yhä tarkempia tietoja tarvitaan. Tämä vaatii edelleen uusia menetelmiä mittausten suorittamiseen, joiden tulokset tuovat uutta tietoa ja näin tiedon ja tarpeen kehä jatkuu loppumattomiin.

Lauri Arvola, Hanna Huitu, Hanna Arola, Sirpa Thessler ja Timo Huttula
**YMPÄRISTÖN REAALIAIKAISTEN MITTAUSMENETELMIEN
HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET**

Reaaliaikaiset menetelmät parantavat ympäristön tilan muutosten seurantaa

Ympäristön tilan seurannassa ja tutkimuksessa vakiintuneet menetelmät ja lähestymistavat, jotka perustuvat pääosin manuaalisesti tehtäviin fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin mittauksiin, eivät enää riitä. Manuaaliset menetelmät eivät tuota informaatiota, joka antaisi riittävästi tietoa ilmiöistä ja prosesseista sekä niiden keskinäisistä vuorovaikutussuhteista riittävän nopeasti. Tuotettu informaatio on luonteeltaan pikemminkin staattista kuin prosesseja ja vuorovaikutussuhteita ilmentävää. Uusien mittasensorien ja -tekniikoiden käyttö on kehittynyt viime vuosina nopeasti. Etenkin teollisuudessa on siirrytty tuotantoprosessien reaaliaikaiseen hallintaan, jonka perustana on prosessin mallintaminen ja prosessin eri vaiheista kerätyn tiedon tehokas analysointi. Tämä mahdollistaa nopeat korjaustoimenpiteet, jos prosessin jossakin vaiheessa ilmenee ongelmia. Ympäristösektori on vasta muutamina viime vuosina hyödyntänyt uusia teknisiä mahdollisuuksia kuten reaaliaikaisia automaattisia mittaussuureita ja järjestelmiä, jotka mahdollistavat usein toistuvan näytteenoton ja/tai mittaamisen sekä mittaustiedon välittämisen suoraan kentältä tutkijalle, viranomaiselle ja kansalaiselle. Uudet mittaussuureet sekä sensori- ja tiedonsiirtoteknologia mahdollistavat jopa kymmenien ja satojen erilaisten mittausten teon samanaikaisesti minimaalisella aikaviiveellä ympäristössä tapahtuviin muutoksiin nähden. Kertyneen tiedon reaaliaikainen analysointi avaa täysin uudenlaiset mahdollisuudet seurata ympäristön tilaa sekä erilaisia luonnon ilmiöitä ja prosesseja sekä mallintaa vuorovaikutuksia, jolloin tuloksena on aiempaa luotettavampi lähtökohta päätöksenteolle.

Mittausten laatu tutkimuksessa ja ympäristönsuojelussa

Mittaustarkkuus ja tulosten toistettavuus ovat peruslähtökohtia arvioitaessa tulosten käyttökelpoisuutta. Lisäksi korostuvat yhä enemmän tulosten saannin nopeus, mittaustapahtumien toistettavuus ja automatisointi sekä määrittysten ja mittausten hinta. Mittaustarkkuus ja tulosten luotettavuus ovat keskeisiä ominaisuuksia mm. sen takia, että monen kiinnostuksen kohteena olevan aineen ja yhdisteen pitoisuudet ovat äärimmäisen pieniä. Toisaalta mittausten toistettavuus ja luotettavuus ovat avainasemassa, kun verrataan erilaisia näytteitä ja arvioidaan pitoisuuksien muutoksia esimerkiksi ajan suhteen. Mittausten ja määrittysten nopeus on tärkeä ominaisuus mm. terveydellisistä ja taloudellisista syistä. Myös ympäristön kannalta nopeudella on suuri merkitys esimerkiksi tilanteissa, joissa teollisuusprosesseissa ilmenevät häiriöt aiheuttavat haitta-aineiden leviämisen ympäristöön. Terveyden osalta esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi talousveden mikrobiologisen ja kemiallisen tilan seuranta reaaliajassa mahdollisten epidemioiden ja/tai myrkytysten ennaltaehkäisemiseksi. Saastumisen nopealla toteamisella voi olla myös suuri taloudellinen merkitys. Esimerkiksi vesitorni, joka odottaa ”puhtaita papereita” viikkokaupalla, tulee yhteiskunnalle kalliiksi. Suuri mittaustarkkuus ja tulosten luotettavuus ovat avainasemassa yhtä lailla piilevän vaaran paljastamisessa kuin väärän hälytyksen välttämisesäkin.

YMPANA-osahanke pohjautui sekä olemassa olevien mittaussuureiden tuloksiin, että uusiin, hankkeen aikana vuokralle hankittuihin järjestelmiin. Uusien sensorien hankinnassa pääpaino oli biologisten prosessien kannalta keskeisten muuttujien mittaamisessa. Näitä ovat klorofylli,



Kuva 1. Vanajanselän toinen mittausasema kesällä 2010.

happi, liuennut orgaaninen aine sekä nitraatti-typpi. Uusi laitteistokokonaisuus sijoitettiin Vanajavedelle Kanta-Hämeeseen. Alueellisella ja valtakunnallisella tasolla yhteistyötä on tehty mm. MMEA-TEKES (SHOK) ja GIS-BLOOM Life+ -hankkeiden kanssa.

Tässä artikkelissa kerrotaan Helsingin yliopiston Lammin Biologisen aseman (HY-LBA), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) toiminnasta ja tuloksista YMLI/YMPANA-hankkeessa. Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) osuudesta YMPANA-hankkeessa kerrotaan Jussi Horellin, Timo Talvitien ja Arttu Tammisen artikkelissa. Luode consulting Oy oli aktiivisesti mukana YMPANA-osahankkeen toteutuksessa. YMPANA oli suhteellisen itsenäinen kokonaisuus YMLI-hankkeessa. Kahden muun osahankkeen tarjoamaa laitteistoa ja asiantuntemusta hyödynnettiin analysoimalla Vanajanselän sedimenteistä ympäristömyrkyjä sekä selvittämällä virtaveden denitrifikaatiobakteerien DNA-pohjaista tunnistusta ja bakteerien denitrifikaatioaktiivisuuden mittausta (Tirola et al. 2011).

Automaattisen ympäristön seurannan laitteet ja mittausjärjestelyt HY-LBA:n laitteet ja mittausjärjestelyt

Yksi kehittämishankkeista on ollut kahden jatkuvatoimisen fysikaalis-kemiallisesti painottuvan vedenlaadun mittausjärjestelmän sekä hankkeen käyttöön vuokratun uuden biologisesti painot-



Kuva 2. Mittausta S::can-mittalaitteella keväällä 2009.

tuvan järjestelmän käytännön testaaminen Vanajanselän vaativissa olosuhteissa. Näiden lisäksi testattiin erityisesti jokivesistön fysikaalis-kemiallisten olosuhteiden seurantaan soveltuvan optisen mittalaitteen käyttöä Lammin Pääjärveen laskevista joista. Vanajanselän mittalautoilla (kuva 1) ja Pääjärven puroseurannassa (kuva 2) selvitettiin seuraavien mitta-antureiden toimintaa ja niiden antamia tuloksia: lämpötila (ilma ja vesi), tuulen suunta ja voimakkuus, sademäärä, suhteellinen kosteus, pH, sähkönjohtokyky, happipitoisuus, sameus, nitraatti-typpi, kokonaisorgaaninen hiili, liuennut orgaaninen hiili, klorofylli a -fluoresenssi sekä fykosyaniini-fluoresenssi (taulukko 1).

S::can-mittalaite

Virtavesien fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien seurannassa käytetyt mittalaitteet (kolme S::can mittausyksikköä) toimivat joitakin poikkeustilanteita lukuun ottamatta moitteettomasti. Joni Kaitaranta teki aiheesta pro gradu -työn (Kaitaranta 2009) ja Taru Hämäläinen viimeistelee insinööriopintensa opinnäytettään. Käyttökokemukset vahvistavat S::can-laitteiden soveltuvuuden valuma-alueen kuormitustutkimuksiin. Laitteet pystyvät mittaamaan luotettavasti sameuden, nitraatti-typen sekä orgaanisen hiilen pitoisuusalueilla, jotka ovat tyypillisiä virtavesissä. Käytettävissä olevista kahdesta laitetypistä (5 mm ja 35 mm valotiellä varustetut S::can-laitteet) lyhyemmällä valotiellä varustetut kaksi mittalaitetta soveltuivat parhaiten ko. mittauksiin. Pitkä valotie aiheuttaa ongelmia, jos sameus ja/tai veden sisältämien humusaineiden määrä on suuri.

Tällöin laite ei pysty reagoimaan pitoisuusmuutoksiin, koska mittausalue ylittyy. Vastaavasti hyvin pienissä pitoisuuksissa 5 mm laitteen mittausherkkyyys joutuu koetukselle. Saatujen tulosten valossa 5 mm laitteen suositeltavat mittausalueet ovat seuraavat: nitraatti 1–10 mg N L⁻¹, liuennut orgaaninen hiili 1–60 mg C L⁻¹. 35 mm laitteen osalta suositeltavat mittausalueet ovat suurimpien pitoisuuksien osalta kertaluokkaa alempia.

S::can-laitteen yhtenä vahvuutena on kvartsi-ikkunoiden puhdistusmekanismi, joka perustuu paineilmaan. Käyttökokemusten perusteella paineilmapuhdistus pitää ikkunat varsin hyvin puhtaina pitkiäkin aikoja. Joissakin olosuhteissa ikkunoihin voi muodostua ohut kemiallinen tai biologinen kalvo, joka ei puhdistu paineilamalla. Tämän takia ikkunoiden puhdistaminen on syytä varmistaa myös mekaanisesti (käsini). Laitteen asentaminen virtaveteen vaatii harkintaa ja tarkkuutta. Ennen muuta on pidettävä mielessä, mikä on mittauksen tarkoitus. Jos laite asennetaan liian lähelle pohjaa, seurauksena voi olla laitteen hautautuminen osin pohjasedimentin sisään. Jos taas laite sijoitetaan liian ylös, uomassa oleva veden pinta saattaa laskea niin alas, että laite jää ilmaan eikä enää mittaa veden laatua. Mittaustilheyden tulee olla sitä suurempi, mitä pienemmästä vesimäärästä on kyse. Suurissa joissa veden määrän ja laadun muutokset ovat yleisesti ottaen selvästi hitaampia kuin pienissä joissa ja puroissa. Keväällä ja voimakkaiden ukkoskuurojen aikana veden määrän ja laadun muutokset voivat olla erityisen voimakkaita. S::can-laitteista on mahdollista siirtää tietoa GSM-yhteydellä suoraan mittauspaikalta tiedon käyttäjälle. Tämä mahdollistaa tilanteen reaaliaikaisen seuraamisen ja muun näytteenoton toteuttamisen kulloisenkin tilanteen ja tarpeen mukaisesti. S::can-laitteet tallentavat mittaustiedot Excel-pohjaiseen taulukkoon. Sisäiseen kalibrointiin perustuen laite antaa pitoisuusarvot sekä ilmoittaa, jos mittaustulokseen liittyy ongelmia. Tämän lisäksi laite kirjaa koko mittausalueelta (200–750 nm) mitatut absorbanssit toiseen Excel-taulukkoon.

Vanajanselän vedenlaadun mittausasemat

Vanajanselällä oli käytössä kolme toisistaan hieman poikkeavaa vedenlaadun mittausasemaa (taulukot 1 ja 2). Kesällä 2009 käytössä oli vain Luode Consulting Oy:n toimittama laitekokonaisuus, joka sijoitettiin toukokuun lopulla järven eteläosassa sijaitsevaan Ruskeenkärkeen. Laittekokonaisuus sisälsi erillisen sääaseman sekä kaksi fluorometriä, joista toinen on herkkä klorofylli a -pigmentille ja toinen sinibakteerien fykosyaniinille. Mittausasema jatkoi toimintaansa aina marraskuun puoliväliin saakka, jolloin asema siirrettiin talvisäilytykseen. Asema palautettiin samaan paikkaan seuraavan toukokuun alussa ja tuotiin pois järveltä uudelleen marraskuun alussa. Kahden mittauskesän aikana asema toimi teknisesti moitteettomasti. Mittausdataa kerättiin 30–60 min välein ja tulokset siirrettiin kaksi kertaa vuorokaudessa Luode Consulting Oy:n kotisivulle. Kesällä 2009 molemmat Trios-fluorimetrit kalibroitiin kertaalleen. Fluorometriiden ohella mittauspaikasta mitattiin myös veden lämpötila.

Ruskeenkärjen mittauspaikka sijaitsi lähellä rantaa. Näin mittalaitteille saatiin turvattua verkovirta. Fluorometriiden paineilmapuhdistuksesta huolehti kompressori. Siten painepulloja ei tarvittu, mikä helpotti laitteiden huoltoa. Kvartsi-ikkunoiden paineilmapuhdistus oli tehokas, koska mittausjaksojen aikana ei havaittu selkeää ”taustapitoisuuden” nousua (=drift). Kahden muun mittausaseman osalta kokemukset rajoittuvat kesään ja syksyyn 2010. Laitteet saatiin toimintakuntoon vasta juuri ennen juhannusta. Mittausasemista toinen oli sijoitettuna järven itäpuolelle ja toinen länsipuolelle. Veden syvyys oli molemmissa mittauspaikoissa yli 10 m.

Taulukko 1. Ruskeenkärjen mittausaseman laitteistot.

Muuttuja	Asema Luode / Laite	Mittaus alkoi
Sademäärä	Vaisala WTX520	2009
Ilman lämpötila	Vaisala WTX521	2009
Tuuli (nopeus/suunta)	Vaisala WTX520	2009
Säteily (näkyvä)	Vaisala WTX521	2009
Suhteellinen kosteus	Vaisala WTX520	2009
Ilmanpaine	Vaisala WTX520	2009
Veden lämpötila	Trios Micro chl	2009
Fykosyaniini	Trios Micro blue	2009
Klorofylli a	Trios Micro chl	2009

Taulukko 2. Vanajanselän kahden mittausaseman laitteistot.

Muuttuja	Asema VAN4/Laite	Mittaus alkoi	Asema VAN2/Laite	alkoi
Sademäärä	Vector T302 with 405E3		Skye 2012	2010
Ilman lämpötila	Vector A100L2.WR, Vector W200P-WR	2010	Vector A100L2.WR, Vector W200P-WR	2010
Tuuli (nopeus/suunta)	Kipp & Zonen CNR1	2010		2010
Säteily (kokonais)	LI-190-SA. Licor	2010	LI-190-SA, Licor	2010
Säteily (näkyvä)	Skye 2012	2010		2010
Suhteellinen kosteus	Druck PCDR1830	2010	Druck PDCR1830	2010
Ilmanpaine		2010		2010
Veden lämpötila	Platinum Resistance Sesnors	2010	Platinum Resistance Sensors	2010
Veden lämpötila (termistoriketju)		2010	Hydrolab Data Sonde X4	2010
Happi			Hydrolab Data Sonde X5	2010
pH			Hydrolab Data Sonde X5	2010
Sähkönjohtokyky			Hydrolab Data Sonde X6	2010
Fykosyaniini	Minitracka mk II. Chelsea Technologies Group Ltd		Minitracka mk II. Chelsea	2010
Klorofylli a	Macam SD105B	2010		
UV-B säteily	Licor LI192SZ	2010		
Vedenalainen säteily		2010		

Kesän 2010 myrskyt osoittivat havainnollisesti, ettei lauttojen paikallaan pitäminen avoimella järvenselällä ole yksinkertaista. Usean pisteen ankkuroinnista huolimatta molemmat lautat pääsivät liikkumaan kahdesti kesän aikana. Tämän seurauksena pohjaan saakka ulottuneet lämpötilalokkeriketjut (lokkeri=tiedonkeruulaite) sekoittuvat ankkuriköysiin ja vaarana oli lokkereiden menettäminen. Tämä onnistuttiin välttämään, mutta ankkuriköysiin sekoittumisen tuloksena lokkereiden alkuperäiset syvyydet muuttuivat ja lämpötilaprofilitiedot jäivät näin kyseisiltä ajanjaksoilta saamatta.

Järven länsipuolella sijainneen mittausaseman happi-, pH- ja johtokykymittalaitteet eivät toimineet aivan koko aikaa toivotulla tavalla. Siten niiden antamaa tietoa ei voida kaikilta osin hyödyntää. Kesällä 2010 kokeiltiin jatkuvatoimista hapen mittausta Ruskeenkärjen mittauspaikalla, jonne asennettiin YSI 6150 ROX optinen happianturi. Laite toimi moitteettomasti. Mittaustulosten mukaan happipitoisuus vaihteli suuresti vuorokaudenaikojen ja myös eri päivien välillä. Happipitoisuus ja levien määrä vaihteli suuresti paitsi vuorokaudenajan myös veden virtausten mukaan.

Vanajanselän kahdelle mittausasemalle oli sijoitettuna monipuoliset ilmastoasemat, jotka keräsivät kesän ja syksyn ajan tietoa ilman lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta, tuulesta sekä auringon säteilystä (kokonaissäteily, PAR ja UVB). Kyseiset laitteet toimivat hyvin. Molemmilla lautoilla oli myös klorofylli a -herkät fluorometrit (Chelsea Inst.)

MTT:n mittaustoiminta hankkeessa

Maasää – reaaliaikainen havaintoverkosto Karjaanjoen valuma-alueella

Maasää-verkko on automaattisista sääasemista ja niihin liitetyistä antureista sekä sameus- ja ravinneasemista koostuva havaintoverkosto Karjaanjoen valuma-alueella (valuma-alueen pinta-ala on 2045 km², metsämaan osuus on 62 %, maatalouden 19 % ja haja-asutuksen 5 %). Alueella on sekä ravinneköyhiä että reheviä järviä. Yläjuoksulla valuma-alue on pääosin metsäistä, alajuoksulla peltoviljelykset ovat hallitsevia. Mittausverkoston omistavat MTT ja SYKE. YMLI/YMPANA-hankkeessa verkoston tuottamaa mittaustietoa tarkasteltiin lähinnä maatalouden sovellusten näkökulmasta, jolloin käytössä olivat lähinnä MTT Vakolan tutkimustilan pellot Vihdissä. Maasää-mittausverkostoa ja sen käyttöä sovelluskehityksessä on kuvattu tarkemmin MTT Kasvu 8 -julkaisussa (Huitu 2009).

Maasää-havaintoverkosto on perustettu vuosien 2007–2008 aikana. Se tuottaa ympärivuotista mittaustietoa paikallisäädästä ja veden laadusta. Mittausasemat sijaitsevat pääosin yksityisten viljelijöiden mailla ja tulokset ovat heidän käytössään. Mittausaineistoa käytetään MTT:ssä ja SYKE:ssä tehtävässä tutkimuksessa, joka kattaa peltoviljelyn operatiivisten sovellusten suunnittelua ja pilotointia, kasvitautilrisi- ja korjuuaikamallien kehittämistä, vesiensuojellisuuden kosteikon toiminnan monitorointia sekä vesistökuormituksen arviointia ja mallintamista.

Havaintoverkko koostuu 67 mittausasemasta, joista 52 mittaa säämuuttujia (sääasemat), 4 veden nitraattipitoisuutta, sameutta, lämpötilaa ja veden pinnan korkeutta (ravinnemittausasemat) ja 11 veden sameutta (sameusmitta-asemat). Lisäksi sääasemiin on lisätty sameusantureita siten, että kokonaisuudessaan verkko havainnoi veden sameutta yhteensä 20 anturilla (taulukko 3).

Mittauksia tehdään asemasta riippuen 15 min tai tunnin välein. Asemat lähettävät mittaustiedon reaaliaikaisesti GSM-tekniikkaa käyttäen palveluntarjoajien (a-Lab Oy ja Luode Consulting Oy) tietokantaan.

Anturiverkon ylläpito sisältää huollon, puhdistuksen sekä veden laadun mittaussasemien osalta tarvittavat talviaikaiset ylösnostot ja takaisinasennukset. Kaikki asemat huolletaan kaksi kertaa vuodessa (syksyisin ja keväisin) sekä tarvittaessa esim. laadunvarmistusjärjestelmän hälyttäessä tai maaomistajan ilmoittaessa huollon tarpeesta. Antureilta tallentuu tietokantoihin päivittäin yli 30 000 mittauksia. Mittauksille on kehitetty automaattisesti toimiva laadunvarmistus- ja hälytysjärjestelmä, joka käy mittaukset läpi kerran vuorokaudessa. Mittaustiedon jakelun pohjana käytetään a-Lab Oy:n ja Luode Consulting Oy:n internetpohjaisia datapalveluita. Lisäksi säätiedot ovat ladattavissa Ilmatieteen laitoksen Helsinki Testbedin sivujen kautta. Verkko on ollut toiminnassa ja tuottanut mittauksia koko YMLI/YMPANA-hankkeen toiminta-ajan. Verkon laaja maantieteellinen kattavuus valuma-alueella on tuottanut kiinnostavaa aineistoa mm. maatalouden mikroilmaston spatioalisesta vaihtelusta, sekä mahdollistanut sateiden ja niihin liittyvien vesistön kuormitusvasteiden alueellisen vaihtelun tarkastelun. Yksittäisten asemien suuri määrä suhteellisen laajalla alueella edellyttää kuitenkin merkittäviä resursseja huolto- ja ylläpitotoimenpiteisiin. Ylläpitoon kiinnitettiin huomiota jo asemien asennusvaiheessa. MTT:ssä kehitettiin mm. kiinnitystapoja, joiden avulla anturit pysyvät luotettavasti paikoillaan ja ovat helppoja ja turvallisia puhdistaa.

Sääasemat ovat toimineet hyvin ja niiden huoltotarve on ollut vähäinen. Eniten ongelmia ovat aiheuttaneet sadepönttöjen tukkeutuminen lintujen jätöksistä ja lehdistä. Alkuvaiheessa asemia myös kaatui vetyneillä pelloilla, mutta ongelma ratkaistiin kehittämällä sääaseman kiinnitystä. Myös sameus- ja ravinnemittausasemat ovat toimineet hyvin. Suurimmassa osassa asemia käytetään automaattista puhdistusta, joka perustuu joko paineilman tai mekaanisen puhdistusharjan käyttöön. Manuaalisen puhdistuksen määrä on vaihdellut asemakohtaisesti kunkin mittausspaikan ominaisuuksien mukaan. Likaantumisen lisäksi eniten huoltokäyntien tarvetta aiheuttavat

Taulukko 3. Maasää-verkon automaattiset mittalaitteet.

Mittattava muuttuja	Laite (merkki, malli)	Laitteiden lukumäärä	Mittaus alkoi
Ilman lämpötila (C)	Pt100	52	2007
Ilman suhteellinen kosteus (%)	AST2 Vaisala HMP50	52	2007
Sademäärä (mm)	Davis Rain Collector	52	2007
Tuulen suunta (aste)	Davis Anemometer	52	2007
Tuulen nopeus (m/s)	Davis Anemometer	52	2007
Veden sameus (NTU)	OBS3+	16	2008
Veden pinnankorkeus (cm)	Keller 0.25 bar	7	2008
Veden nitraattityppipitoisuus (mg/l)	S::can Nitro::lyser	4	2008
Veden sameus (FTU)	S::can Nitro::lyser	4	2008
Veden pinnankorkeus (cm)	Keller PR36	4	2008
Veden lämpötila (C)	Luode omaa tuotantoa	4	2008

akkujen vaihdot. Ukkonen on vaurioittanut ravinmittausasemia kahdesti. Ilkivalta ei ole juurikaan aiheuttanut ongelmia; vain yksi sääasema on varastettu neljävuotisen mittauskauden aikana. Mittausasemat on asennettu pääasiassa maataloille, mikä vähentää asemien alttiutta ilki-vallalle. Mittausverkoston toimintavarmuudesta ja huoltotarpeesta löytyy lisätietoja julkaisusta Kotamäki et al. (2009).

SYKE:n toiminta hankkeessa

Savijoki

Savijoen valuma-alueen mittaustoimintaa on edelleen kehitetty YMLI/YMPANA-hankkeessa. Alue kuuluu SYKE:n pienten valuma-alueiden verkostoon. Savijoella on mitattu valuntaa ja veden laatua manuaalinäyttein vuodesta 1971. Automaattinen näytteenotin alueella on ollut 1990-luvulta alkaen, pinnankorkeusmittari vuodesta 2006 sekä S::can nitro:lyser kesäkuusta 2007. Savijoki on tyypillinen eteläsuomalainen peltovaltainen valuma-alue. Siten mittaukset antavat arvokasta tietoa kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ajallisesta jakautumisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Valuma-alueen pinta-alasta 36 % on peltoa, 3 % kesantoa ja loppu pääosin metsää. Savijoen mittauspaikka sijaitsee Savijokeen rakennetulla betonisella mittapadolla (kuva 3.).

Joen rannalla on verkkovirtaan kytketty ja lämmitetty mittalaitteekoppi sekä patoaltaan päälle ulottuva laituri, joihin mittalaitteet on asennettu (taulukko 4). Lisäksi mittalaitteekopin sisälle asennettu automaattinen näytteenotin (ISCO 3700) otti vesinäytteitä patoaltaasta. Vesinäytteitä otettiin myös manuaalisesti.



KUVA JARMO LINJAMA, SYKE

Kuva 3. Savijoen mittapato.

YMLI/YMPANA-hankkeen aikana mittauksia jatkettiin ja analysoitiin saatua aineistoa. Suurimmat ainepitoisuudet joessa tulivat kesäsateiden yhteydessä. Nitraattipitoisuudet olivat huipussaan kesäkuussa 2008 esiintyneen sateen aikana. Tosin nitraattikuormitus jäi tuolloin vähäiseksi pienen valunnan takia. Suurimmat sameusarvot mitattiin talvella 2007–2008 ja loppusyksystä 2008, jolloin kiintoainekuormitus oli myös huipussaan. Talvi oli merkittävin kuormitusjakso. Jaksolla kesäkuusta 2007 kesäkuuhun 2008 yli 90 % kiintoaine- ja nitraattityypikuormituksesta tuli loka- ja huhtikuun välisenä aikana ja vuoden kokonaiskuormasta kolmannes tuli neljän lyhyen kuormituspiikin aikana talvella (Linjama et.al. 2009).

Paineanturi sekä lämpötila-anturit toimivat moitteettomasti koko jakson ajan. Sademittari likaantui herkästi tuulen mukana keräinsuppiloon kulkeutuneiden lehtien ja roskien takia. S::can-laitteen nitraatti/sameusanturissa oli automaattinen kompressoritoiminen paineilmapuhdistus. Siitä huolimatta anturin valotiehen jäi välillä roskia, jotka vääristivät yksittäisiä havaintoja. Talvisin jäätyminen aiheutti ongelmia S::can-mittauksiin, mutta anturin siirto syvemmälle ratkaisi ongelman. Kesäaikaan paineilmapuhdistus ei ollut riittävä ja huoltoväliä jouduttiin tihentämään. Korkeat sameuslukemat aiheuttivat ongelmia nitraattityypen mittauksessa ja muutaman suurimman sameuspiikin aikana laite ei kyennyt mittaamaan nitraattityyppiä. Savijoen kaltaisessa ravinteikkaassa vedessä OBS3+sameusanturin mittauspäässä on myös oltava harjapesuri, jotta saadut tulokset ovat luotettavia.

Mittaukset paljastivat, että virheellinen, mutta ”oikeannäköinen”, data on haitallisempaa kuin kokonaan puuttuva tai pahasti virheellinen mittaustiedoksi. Syynä on se, että ”oikeannäköinen” virheellinen data voidaan erehdyksessä tulkita laadullisesti päteväksi mittaustiedoksi. Tämän takia automaattisten mittalaitteiden huoltoon, datan laadun tarkkailuun ja vertailunäytteisiin on varattava kunnolla resursseja. Jatkuvatoimiset mittaukset eivät voi kokonaan korvata perinteistä näytteenottoa ja laboratorioanalytiikkaa.

Automaattiset anturit soveltuvat erityisen hyvin ravinnekuormituksen ajallisen vaihtelun selvittämiseen. Lyhyiden ja voimakkaiden kuormituspiikkien toteaminen perinteisellä näytteenotolla on liki mahdotonta.

Taulukko 4. Savijoen automaattiset mittalaitteet.

Mitattava muuttuja	Laite (merkki, malli)	Laitteiden lukumäärä	Mittaus alkoi
Veden sameus (NTU)	OBS3+	1	2007
Veden nitraattityypipitoisuus (mg/l)	S::can Nitro::lyser	1	2007
Veden sameus (FTU)	S::can Nitro::lyser	sama laite kuin yllä	2007
Ilman lämpötila (C)	EHP-tekniikka	1	2006
Veden lämpötila (C)	EHP-tekniikka	1	2006
Sademäärä (mm)	Davis Rain Collector	1	2006
Veden pinnankorkeus (cm)	STS	1	2006

JARMO LINJAMA, SYKE



KUVA JARMO LINJAMA, SYKE

Kuva 4. Mittausaseman valmistelua Puttaanjoella.

Puttaanjoki

Toinen SYKE:n kohde oli Puttaanjoella Vehmaan kunnassa (kuva 4). Kyseessä on karjatalousvaltainen pieni valuma-alue, jonka mittaustoiminta aloitettiin vuonna 2008 SYKE:n SeMaTo-hankkeen puitteissa. Myöhemmin Varsinais-Suomen Ely-keskuksen vetämä TEHO-hanke on vastannut Puttaanjoen seurannasta. YMLI-hanke hyödyntää tämän mittauskohteen aineistoja eri tavoin. Puttaanjoen mittauspaikka sijaitsee lähellä Vehmaan keskustaaajamaa, Vinkkilän rautatiesillan kupeessa.

Mittauspaikan yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala on 29 km², josta peltoa on noin 36 % ja järvisyysprosentti on noin 3. Alueella on runsaasti sikoja ja siipikarjaa, jonka vuoksi lietelantaa muodostuu paljon. Puttaanjoen mittauspaikalla on verkkovirtaan kytketty lämmitetty koppi (taulukko 5).

Puttaanjoen sameus- ja ravinnemittauksissa on ollut haasteita. Alkuvaiheessa mitta-anturin toimintaa häiritseviä veden vähyys. Tilannetta korjattiin väliaikaisella pohjapadolla. Myöhemmin mittauspaikka muutettiin yläjuoksulle ruopattuun paikkaan. Mitta-aineiston laadun valvonnassa oli myös alkuvaiheessa ongelmia. Myöhemmin laitteen huolto siirrettiin laitetoimittajan palvelusopimuksen piiriin ELY-keskuksen huoltotiimin vastuulle ja datan laatu parantui oleellisesti. Luode Consulting Oy on kehittänyt YMLI/YMPANA-hankkeessa mm. Puttaanjoen aseman tarkia uuden datan automaattisen laadunvarmistusjärjestelmän. SYKE hyödyntää mittausaineistoa mm. automaattisen mittaustoiminnan kehittämisessä.

Mittausten laatu ja maatalouden sovellukset

Peltoviljely mittaustiedon hyödyntäjänä

Peltoviljelyssä automaattiset ympäristömittaukset ovat osa suurempaa tiedonhallintakokonaisuutta. Muuttuvaa olosuhdetietoa yhdistetään muihin aineistoihin, joita käytetään peltoviljelyn suunnittelussa ja toteutuksessa. Tiedonsiirto tilalla ja tuotantoprosesseissa tulee lähitulevaisuudessa automatisoitumaan, jolloin tieto saadaan siirtymään helposti ja luotettavasti traktorin, työkonen ja tilan tietojärjestelmien välillä sekä lisäksi tilan ulkopuolelle mm. elintarviketietojen tai valvontaan. Esimerkiksi instrumentoidut traktori-työkoneyhdistelmät toimivat jo tiedonkeruulaitteina mitaten mm. kasvuston biomassaa ja sadon valkuaisainepitoisuutta.

Viljely ja siihen liittyvä päätöksenteko ovat riippuvaisia ympäristöolosuhteista kuten lämpötilan, sateen ja maan kosteuden vaihtelusta ajassa ja paikassa. Viljelyssä ohjataan ja hyödynnetään vesi-, ravinne- ja kemikaalivirtoja peltolohkoilla, jolloin olosuhteista riippuen ympäröiville alueille syntyy kuormitusta kiintoaineen, ravinteiden ja kemikaalien muodossa. Koska viljelyn ja ympäristön välillä on vahva kytkös, on peltoviljelyssä ja erityisesti täsmäviljelyssä tehtävä kehitystyö myös ympäristömittausten kehittämisen kannalta tärkeä ja kiinnostava osa-alue.

Kun ympäristömittauksia yhdistetään malleihin, voidaan viljelijälle tuoda päätöstukea esimerkiksi sääpalveluiden, kasvitautiriskimallinnusten ja korjuu-aikannusteiden muodossa. Esimerkiksi kasvinsuojeluruiskutus voidaan suorittaa oikea-aikaisesti ja tarpeen mukaisesti, kun tautiriski on mallinnettu paikallisiin säämittauksiin ja malleihin perustuen. Uusien mittausten menetelmien tuottamaa tietoa arvioitaessa yhtenä keskeisenä kriteerinä voidaan pitää sitä, pystytäänkö tietoon perustuen tekemään aiempaa parempia päätöksiä tilan talouden ja/tai ympäristön näkökulmasta. Tilan päätöksenteon lisäksi automaattisiin ympäristömittauksiin on kiinnostusta myös tilan ulkopuolella, esimerkiksi elintarvikkeiden tuotantoketjussa.

Peltoviljelyyn rakennetuissa sovelluksissa käytetään useimmiten hyödyksi sääolosuhteiden kuten lämpötilan, sateen ja ilmankosteuden paikallista seuranta. Sovellustasolla myös valunnan ja veden ravinne- ja kiintoainepitoisuuden jatkuvat mittaukset voivat tuottaa tietoa siitä, miten hyvin ravinteet pysyvät maaperässä. Peltoympäristössä mittaustuloksista on kuitenkin vaikea saada palautetta viljelyn toimenpiteitä varten, sillä suuri osa havaitusta vaihtelusta selittyy viljelystä riippumattomilla tekijöillä, erityisesti sääolosuhteilla. Lisäksi edustavan mittauksen järjestäminen on

Taulukko 5. Puttaanjoen mittaukset.

Mitattava muuttuja	Laite (merkki, malli)	Laitteiden lukumäärä	Mittaus alkoi
Veden nitraattityppipitoisuus (mg/l)	S::can Nitro::lyser	1	2008
Veden sameus (FTU)	S::can Nitro::lyser	sama laite kuin yllä	2008
Ilman lämpötila (C)	Luode omaa tuotantoa	1	2008
Veden lämpötila (C)	Luode omaa tuotantoa	1	2008
Veden pinnankorkeus (cm)	Keller PR36	1	2008

JARMO LINJANA, SYKE

usein mahdotonta muualla kuin vartavasten tutkimukseen suunnitelluilla alueilla, koska veden liikkeet maaperässä eivät ole tiedossa, ja salaoja- ja ojaverkostossa kulkevassa vedessä tapahtuu sekoittumista eri lähtöalueilta tulevan veden kanssa.

Kokemuksia peltolohkotason sovelluspilotoinnista

MTT käyttää Maasää-verkoston ja MTT Vakolan muun peltotutkimusinfrastruktuuriin muodostamaa kokonaisuutta tutkimusympäristönä maatalouden sovellusten kehittämisessä ja pilotoinnissa. Tutkimuksen keskeiset teemat Vakolassa ovat peltoviljelykoneiden automaatiojärjestelmien ja tiedonhallinnan kehittäminen. Yhtenä tavoitteena on tiedon siirron automatisointi koko tuotantoketjussa, jolloin mittausdata eri mittausantureilta (ympäristö ja työkoneyhdistelmät) saadaan päätöskäytökseen asti. Pilottien avulla mittauksia käyttäviä sovelluksia voidaan tutkia pellolla toimenpiteiden yhteydessä, käyttäen aitoa mittauksietoa.

Kun käytössä on useita laitteita, suuri datamäärä ja erilaisia tietoa käyttäviä sovelluksia, mittausten laadun hallinta ja laadusta viestiminen nousevat keskeisesti esille. Kokemuksen mukaan mittausdatan laatu vaihtelee johtuen katkoista tiedonsiirrossa, anturien likaantumisesta ja muista häiriöistä tai luonnonolosuhteista. Ongelmista huolimatta datan tulisi mahdollistaa monistettavien ja häiriönkestävien sovellusten rakentaminen.

Maasää-verkostolle on kehitetty SYKE:ssä Matlab-pohjainen päivittäinen testausmittausarvoille sekä mittausarvojen laatulippu mukailleen Ilmatieteen laitoksen käyttämää konseptia (Vejen, F. 2002). Sen avulla tieto ongelmista tulee huoltoon päivittäin. Laadunvalvonta-algoritmit liittävät mittausarvoon laatulippukoodin, joka auttaa datan käytön automatisoinnissa.

MTT:ssä on pilotoitu mittauksien käyttöä traktori-työkoneyhdistelmässä. Pilotoinnin kohteena oli kasvinsuojeluruiskutus oikea-aikaisesti, ympäristöä ja tehoaineita säästäten. Pilotissa kasvitautien ennaltaehkäisy ja ympäristön olosuhdemittausten perusteella määritettiin oikea-aikainen ruiskutusajankohta. Tämän lisäksi pellon tarkkaa olosuhdetietoa ja lähituntien paikkakohtaista sääennustetta käytettiin hyväksi tankkiseoksen ja ruiskutusparametrien valinnassa. Ruiskutuksen aikana järjestelmä antoi kuljettajalle tietoa pizaroiden tuulikulkeutumarisistä reaaliaikaiseen tuulimittaukseen perustuen. Lisäksi reaaliaikaisia sääennusteita ja sade-ennusteita käytettiin hyväksi työn etenemisen suunnitteluun. Tavoitteena oli, etteivät ruiskutettavat tehoaineet huuhtoutuneet ruiskutuksen jälkeen maastoon äkillisen sateen takia.

Kasvinsuojeluruiskutuksen pilotissa käytettiin jo tuotteistamisvaiheessa olevaa sovelluskohdetta kasvitautien riskien ennaltaehkäisyä. Ennustemalli on rakennettu toimimaan viljelysuunnitteluohjelman lisäominaisuutena. Sovellus tarjoaa viljelijälle päätöskäytökseen tautien torjuntaan. Ohjelma käyttää lohkon kasvustotietoja (viljelykierto, muokkaus- ja lajiketiedot) sekä mitattua paikallissääää (lämpötila ja sade) lähtötietoina tautiriskin arvioinnissa. Koska paikallisia säämittauksia ei ole aina saatavissa, sovelluksessa on mahdollisuus käyttää Ilmatieteen laitoksen sääennusteita. Pilotit perustuvat kuitenkin pitkälti paikallisiin säämittauksiin. Saatujen kokemusten perusteella maatalouden sovellukset asettavat mittausten laadulle erilaisia teknisiä vaatimuksia. Mittausten on kerrottava siitä, mitä mitataan ja tulosten on oltava käyttökelpoisia päätöksenteon kannalta. Jotta monistettavia sovelluksia voidaan rakentaa, tulisi mittausten olla säännönmukaisia. Mittausten tarkkuuden ja niihin sisältyvien virheiden on oltava hallinnassa. Yhtenä haasteena on ajantasai-



KUVA RAIMO LINKOLEHTO, MTT

Kuva 5. Kasvinsuojeluruiskutusta Vihdissä.

sen laatu tiedon viestiminen mittausten yhteydessä. Tiedon operatiivista hyödyntämistä ja siirtoa tietojärjestelmien välillä vaikeuttaa myös standardien ja tietonsiirtoformaattien moninaisuus.

Automaattisen sameusmittauksen opas

Keväällä 2010 esiteltiin YMLI/YMPANA-hankkeen piirissä ajatus automaattisen sameusmittauksen oppaan laatimisesta. Opas on laatuaan ensimmäinen ja se on tarkoitettu laajaan käyttöön. Ajatus herätti heti kiinnostusta ja loppuvuodesta 2010 aloitettiin varsinainen oppaan suunnittelu ja työryhmän kokoaminen. Opas tulee kattamaan kuvaukset automaattisen vedenlaadun mittaustoiminnan historiasta, laite-esittelyt ja anturitelinet, anturin- ja paikanvalinnan, kalibroinnin, valvonnan ja huollon, laadunvarmistuksen, aineiston käsittelyn ja arkistoinnin sekä yleisimmät ongelmat ja ratkaisut niihin. Se tulee olemaan perusteos niin aloittelijalle kuin jo hieman kokeneemmallekin automaattisen sameusmittausaseman perustajalle. Opasta laativa työryhmä koostuu YMLI/YMPANA-hankkeeseen osallistuvista toimijoista sekä muiden tahojen asiantuntijoista. Jotta opas kattaisi mahdollisimman luotettavasti kaikki osa-alueet, työryhmässä on mukana myös tilastotieteen asiantuntija ja kemisti. Opas valmistuu kesällä 2011 ja se julkaistaan SYKE:n raporttina.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Sensorit, mittalaitteet ja tiedonsiirtoteknologia ovat kehittyneet tasolle, joka mahdollistaa ympäristön tilan tehokkaan reaaliaikaisen tai lähes reaaliaikaisen seurannan monien fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten muuttujien osalta. Sensorien ja mittalaitteiden huolto ja ylläpito ovat ratkaisevassa roolissa laadukkaiden mittaustulosten tuottamisessa. Tulosten laatu muodostuu kokonaisuudesta, joka koostuu laajasta kirjosta teknisiä ja inhimillisiä tekijöitä.

Paikallisten sääasemien tuottamaa mittaustietovirtaa hyödynnetään jo nyt maatalouden automaattisissa päätöstukisovelluksissa. Käytäntöön levinneitä sovelluksia on kuitenkin vasta muutamia. Aktiivinen tutkimus alalla tuo lisää tietoa reaaliaikaisen mittausdatan käytöstä ja automatisoinnista. Käyttökohteesta riippuen (esim. ympäristön monitorointi ja maatalous) vaatimukset mittauksille ja niiden laadulle vaihtelevat. Kun tietoa käytetään sovelluksessa, mittausten laatua voidaan arvioida myös mittauksista saatavan hyödyn perusteella.

Automaattisten mittausjärjestelmien kustannuksia arvioitaessa tulee huomioida myös niiden huollon ja ylläpidon, ml. vertailunäytteiden, aiheuttamat kulut. Rahaa ei säästy, sillä jokaisella mittauspaijalla ja -laitteella on oltava vastuuhenkilö. Rahalla ja työpanoksella saatava ympäristötiedon määrä kuitenkin kasvaa. Ongelmien tai työn määrä ei vähene. Sen sijaan ongelmien määrä suhteessa saatavaan tietomäärään vähenee.

Automaattiset veden laadun ja virtaaman mittaukset soveltuvat erityisesti pienimpien vesistöalueiden kuormitustutkimuksiin, maatalouden toimenpiteiden vesistövaikutusten tutkimiseen ja nopeiden vesistöä kuormittavien tapahtumien seurantaan.

Lähteet

- Huitu, H. 2009 (toim). Automatisoidun mittausverkon kehittäminen ympäristön seurantaan. MTT Kasvu 8: 58 s.
- Kaitaranta J. 2009. Nopeat vedenlaadun muutokset maatalousvaikutteisessa purossa – automaattinen veden laadun mittaus pitoisuuksien ja kuormituksen arvioinnissa. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- Kotamäki N, Thessler S., Koskiaho J., Hannukkala A O., Huitu H., Huttula T, Havento J and Järvenpää M. 2009. Wireless in-situ sensor network for agriculture and water monitoring on a riverbasin scale in Southern Finland, *Sensors*, 9: 2862–2883.
- Linjama J., Puustinen M., Koskiaho J., Tattari S., Kotilainen H. and Granlund K. Implementation of automatic sensors for continuous monitoring of runoff quantity and quality in small catchments. *Agricultural and Food Science* 2009; 18 (3–4): 417–427.
- Tiirola, M.A., J. Rissanen, A.J., Sarpakunnas, M., Arvola, L. & Nykänen, H. 2011. Stable isotope profiles of nitrogen gas indicate denitrification in oxygen-stratified humic lakes. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 25:1–6.
- Vejen, F.; Jacobsson, C.; Fredriksson, U.; Moe, M.; Andresen, L.; Hellsten, E.; Rissanen, P.; Pálsdóttir, Þ.; Arason, Þ. 2002. Quality Control of Meteorological Observations – Automatic Methods Used in the Nordic Countries. DNMI Klima report. 2002, 8.

Jussi Horelli, Timo Talvitie ja Arttu Tamminen

REAALIAIKAISEN YMPÄRISTÖMITTAUSDATAN TALLENTAMISEEN JA SIIRTOON SEKÄ HANKITUN TIEDON VISUALISOINTIIN LIITTYVÄT UUDET RATKAISUT

Taustaa

Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK) kehitti YMPANA-osahankkeessa ympäristömittalaitteiden etätiedonkeruun ratkaisuja, joissa eri mittalaitteilta ja mittausasemilta maastosta kerätään keskitetylle palvelimelle reaaliaikaista dataa, joka visualisoidaan ja saatetaan kuluttajaystävälliseen muotoon. Kehitystyö kohdistui Vanajanselällä olevien kahden jatkuvatoimisen fysikaalis-kemiallisesti painottuvan vedenlaadun mittausjärjestelmän yhteydessä tapahtuvaan tiedonkeruun ja -visualisoinnin pilotointiin. Käytännössä tämä tarkoitti Vanajavesi-sivuston toteuttamista ja kehittämistä, sen yhteyteen toteutettavan informaatioportaalin suunnittelua, mittaustiedon visualisointiratkaisujen pilotointia, mittausedon siirto-ohjelman edelleen kehittämistä, liikkuvan tiedonsiirron testausta ja vesimittausedon videomonitoroinnin suunnittelua ja toteutusta. YMPANAssa toteutettiin ja pilotoitiin joustavia tiedonkeruuratkaisuja kiinteistä ja liikkuvista kohteista sekä tapoja yhdistää eri lähteistä kerättyä dataa. Näihin toimintoihin kytketyt liiketoimintamahdollisuudet ja ympäristömittausdatan uudenlaiset käyttötilanteet ovat myös olleet kiinnostuksen kohteena.

Toimijakenttä ja liiketoimintamallit

Erilaista ympäristödataa kerää Suomessa useiden yksityisten toimijoiden lisäksi suuri joukko julkisia toimijoita. Suurelta osin data on kerätty viranomaismääräysten valvontaan tai tieteelliseen tutkimukseen liittyen. Kerätystä datasta myös huomattava osa on sisällöltään julkista ja ainakin osittain potentiaalista ”raaka-ainetta” myös kuluttajille suunnattaviin palveluihin. Haasteena ympäristödatan hyödyntämisessä kuluttajamarkkinoilla on toisaalta kerätyn datan eräänlainen ”siiloutuminen” eri toimijoiden omiin tietovarastoihin sekä toisaalta informaation pukeminen merkitykselliseen ja havainnolliseen muotoon.

Vaikka osa tutkimustarkoituksessa toteutetuissa ympäristödatan tietovarastoissa sisältää jonkinasteiset rajapinnat tiedonsiirron mahdollistamiseksi muihin palveluihin, mitään yhteisiä muotomääritteitä datalle ei kuitenkaan ole olemassa. Julkisen sektorin toimijoilla on kuitenkin parhailaan havaittavissa kehitystä tietovarantojen hyödyntämisen parantamiseksi. Hallitus onkin tehnyt periaatepäätöksen, jossa on laadittu tavoitteellinen aikataulu julkisten tietovarantojen saattamiseksi mahdollisimman avoimeen käyttöön (Virtaniemi, 2011). Tämänsuuntainen kehitys tulee jatkossa helpottamaan myös ympäristötiedon käyttöä erilaisissa sovelluksissa.

Ympäristömonitoroinnin liiketoimintamallit ovat vielä nykyisellään rajoittuneet pitkälti mittauspalveluihin ja niihin liittyvään konsultointiin. Kaupallisten palvelujen tarjonnan rajallisuuteen vaikuttanee runsas julkisten toimijoiden verkosto, joka tarjoaa kaupallisia tai siihen verrattavia palveluita tutkimuksen sivutuotteena. Ympäristömonitoroinnin potentiaalinen asiakaskunta on sinällään laaja muodostuen hyvin erilaisista lähtökohdista nouseviin tarpeisiin.

Karkeasti alan asiakaskunnan voi jakaa kolmeen segmenttiin:

- 1) julkiseen sektoriin
- 2) teollisuuteen, yrityksiin ja ammatinharjoittajiin
- 3) yksittäisiin kuluttajiin

Julkinen sektori huolehtii pitkälti sille asetettujen tehtävien hoitamisesta ja vastaa nykyisin osin myös kuluttajasektorin tarpeiden tyydyttämisestä. Suurin osa julkisen sektorin tarvitsemasta tiedosta on sen itse tuottamaa. Teollisuuden, yritysten ja ammatinharjoittajien tarpeet syntyvät ensisijaisesti lakisääteisten velvoitteiden hoitamisesta, joskin ympäristötietoja käytetään myös prosessien hallintaan ja optimointiin. Osa toiminnasta perustuu myös vastuullisuuteen ja julkisuuskuvaan. (Vanhanen 2007). Kuluttajamarkkinat ovat toistaiseksi vielä varsin pienet, mutta niiden kasvupotentiaali on suuri. Koska osa julkisesti tuotetuista palveluista on ollut ilmaista, ei niiden markkinointiin ole panostettu, jolloin kysyntäkin on jäänyt laimeaksi. Lisäksi erityisesti tieteellisessä tutkimuksessa kertyneiden tietovarastojen osalta kenenkään intresseissä ei ole ollut tuottaa dataa helposti kuluttajien lähestyttävään muotoon.

Informaation jalostaminen

Tärkeässä roolissa HAMKin osuudessa YMPANA-osahankkeessa ovat olleet vesistön mittaukset ja niiden tulosten hyödyntämisenäkökulmat. Hankkeessa käytetyt järjestelmäratkaisut ovat kattaneet koko ketjun anturoinneista tiedonkeruupalvelimeen ja osittain sen www-liittymiin asti. Näiden valmiiden toteutusten rinnalla on pilotoitu vaihtoehtoisia tiedonkeruun, datan visualisoinnin ja ”mashup”-tyyppisen lähestymistavan ratkaisuja.

Mashupeissa on kyse siitä, että verkossa yhdistellään dataa yhdestä tai useammasta lähteestä ja esitetään ne yhdessä uudessa paikassa ja mahdollisesti asiayhteydessä. Ideaalitalanne on, että uusi yhdistelty tietokokonaisuus on enemmän kuin osiensa summa, ja käyttäjälle on kyetty tarjoamaan mashup-prosessin myötä jotakin merkityksellistä lisäarvoa (de Vrieze et al., 2011). Mashup on lähtenyt liikkeelle erilaisten julkisten informaatiolähteiden yhdistelystä, mutta on saamassa jalansijaa myös suljetummissa rakenteissa, kuten yritysten tietojärjestelmissä, joissa toimijoiden tilannetietoisuutta pyritään edistämään tarjoamalla jalostettuja tietoyhteenvetoja hyvinkin kirjavista taustajärjestelmistä. Mielenkiintoisena esimerkkinä julkisesta mashup-toteutuksesta voidaan mainita *tilannebuone.fi* -palvelu, jossa yhdistellään viranomaisjärjestelmistä tarjottavia hälytystietoja Googlen karttaan ja lisäksi tarjotaan palvelun käyttäjille mahdollisuus tuottaa lisäinformaatiota esitettyihin tietoihin.

Kyseisen kaltaiset yhteisölliset palvelut, joissa julkisista lähteistä kerättävän pohjatiedon tueksi voidaan liittää käyttäjien kommentteja, lisätietoja ja mediaelementtejä, tulevat yleistymään monilla aloilla. Ympäristötiedon alueella on samankaltaisille palveluille luvassa kysyntää, tapahtuuhan koko ajan kehitystä myös erilaisissa mobiileissa päätelaitteissa (älypuhelimet, tablet-pc:t jne.), joilla tietoa voidaan entistä monipuolisemmin tuottaa ja hyödyntää paikasta riippumatta. Yhteisöllisyyden laajempi hyödyntäminen ympäristödatan keruussa ja täydentämisessä saattaisi avata myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Laadulliset haasteet

Ympäristömittauksiin, kuten mihin tahansa mittaustietoon liittyy aina kysymys kerätyn datan laadusta. Esimerkiksi tutkimus- ja viranomaiskäyttö luonnollisesti edellyttävät mittaustiedon laadun huolellista ja jatkuvaa varmistamista. Toisaalta potentiaalisia ympäristötiedon tuottajia on koko ajan kasvava joukko. Tyypillisiä esimerkkejä yksityisestä informaation tuottamisesta ovat erilaiset maatilojen sääasemat, joilla voidaan tuottaa säädataa myös yhteisiin sääportaaleihin. Myös monet julkiset toimijat välittävät ympäristömittaustuloksiaan yhteisille palvelimille. Tämän kaltaiset palvelut eivät luonnollisesti pysty takaamaan informaation laatua tai tarkkuutta. Kuitenkin informaation määrän lisääntymisen kautta saattaisi tulevaisuudessa olla mahdollista tuottaa moneen käyttöön ”riittävän hyvää” dataa yhdistämällä riittävä määrä alueellista epätarkempaa dataa alueella mahdollisesti kerättyyn laadullisesti varmistettuun dataan.

Web-konseptien kehittäminen

Web-pohjaisessa konseptidemossa kartoitettiin, minkälaisilla tavoilla julkista ympäristödataa voitaisiin visualisoida käyttäjille. Esimerkkeinä käytettiin neljää eri aineistotyyppiä, joista kolmen data oli kotimaista alkuperää. Mukana oli yksityisiltä mittausasemilta kerättyä säädataa, eri puolilla Suomea mitattuja ilmanlaadun raja-arvojen ylityksiä, sekä Vanajavesistöstä kerättyjä vesimittausarvoja. Kansainvälistä dataa pilottitoteutuksissa edustivat maailmalta eri lähteistä kerätyt maanjäristysmittaukset (kuva 1).



Kuva 1. Esimerkki julkisista tietovarastoista koostettuun tietonäkymään. Sisältönä kansainväliset maanjäristystiedot.



Kuva 3. Näkymiä Vanajavesi-sivustoon.

Sivusto on rakennettu tunnetun Drupal-sisällönhallintajärjestelmän avulla, joka mahdollistaa vaihtamattoman sisällön luomisen ja muokkaamisen. Sisältö on pääosin asiantuntijoiden usean vuoden tutkimusten myötä jalostamaa informaatiota vesistöstä saadusta datasta. Kuvagallerioiden ja vesistön tilasta kertovien kuvaajien toteuttamisessa on käytetty nykyaikaisia JavaScript-tekniikoita, mikä mahdollistaa parhaan mahdollisen käyttökokemuksen sivuston käyttäjille sekä ylläpitäjille. Sisällönhallintajärjestelmä mahdollistaa vaivattoman käyttäjänhallinnan sekä käyttäjien kirjautumisen Facebook-palvelun tunnuksilla, mikä madaltaa käyttäjien kynnystä ottaa osaa keskusteluihin ja kommentointiin, mikä taas osaltaan edistää uuden sisällön luomista.

Kamerointijärjestelmän tarkoitus on antaa käyttäjille mahdollisuus tutustua järven ympäristöön visuaalisen datan avulla. Kamera on toiminnassa ympäri vuorokauden ja mahdollistaa erilaisia katselukulmia. Näin ollen kameralla voidaan seurata myös vesistön ympäristön tapahtumia vaihtavasti. Kameralla on mahdollista tuottaa tarkkaa kuvaa myös pimeään aikaan, jolloin mahdollisten mielenkiintoisten yöeläinten tarkkailua voidaan harjoittaa. Vaikka kamerajärjestelmän ominaisuudet vaikuttavat monipuolisilta, kamerajärjestelmä on toteutettu siten, että sen tuottama melusaaste on häviävän pieni eikä sen käyttäminen aiheuta häiriötä ympäristölle.

Kamerajärjestelmän fyysisestä sijainnista johtuen yhteys käyttäjien ja kamerasivuston välillä tapahtuu matkapuhelinverkon välityksellä, jolloin kamerasivuston tuottama kuvadata siirretään sivuston palvelimelle.

limelle matkapuhelinverkon yli, ja palvelin tarjoaa kuvadatan käyttäjille. Näin toimittuna saavutetaan paras mahdollinen hyötyosuhte kuormituksen ja käytettävyyden välille. Fyysisestä sijainnista ja hankkeen luonteesta johtuen kamerointijärjestelmä on pyritty toteuttamaan energiaa säästävänä käyttämällä aurinkokennoja ja akkuja, joiden tilaa tarkkaillaan. Tarvittaessa kamera voidaan sulkea käyttäjiltä, mikäli akkujen varaus alittaa tietyn raja-arvon.

Yhteenveto

Inhimillinen toimija kaipaa päätöksensä tueksi ajantasaisen käsityksen siitä, mitä ympärillä tapahtuu, mitä se merkitsee ja mitä tulee tapahtumaan tulevaisuudessa. Näitä tekijöitä voidaan kutsua tilannetietoisuudeksi. Mitä parempi on tilannetietoisuus, sitä suurempi todennäköisyys on myös tehdä onnistuneita päätöksiä.

Ympäristödataa kerätään hyvin erilaisin menetelmin ja hyvin erilaisista lähteistä. Eri lähteistä kerättyä informaatiota yhdistelemällä voidaan löytää uusia tai todentaa jo tunnettuja syy-seuraussuhteita. Mitä avoimemmiksi erilaiset ympäristötieto sisältävät tietovarastot saadaan, sitä todennäköisemmin voidaan sensorifuusion tyypillisesti tietoja yhdistelemällä löytää monitahoisempia keinoja havainnollistaa luonnon ilmiöiden riippuvuuksia ja tätä kautta saattaa yksityiset ihmiset paremmin ymmärtämään luonnon monimuotoisuutta.

Esitellyssä YMPANA-osahankkeen projektissa on kartoitettu ja pilotoitu keinoja ympäristötiedon saattamiseksi joustavammin ja monipuolisemmin yleisesti hyödynnettäväksi ja samalla lisäämään yleistä tietoisuutta ympäristömme monimuotoisuudesta.

Lähteet

Vanhanen, J., Mikkanen, P., Nikula, J., Hiltunen, J. (2007). Ympäristömittauksen ja -monitoroinnin arvoketjujen tuotteistaminen. SITRA, 39–41.

Virtaniemi, A. (2011). Julkisen tietoaineiston saatavuudesta periaatepäätös. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavilla osoitteessa <http://www.lvm.fi/web/fi/tiedote/view/1234053>

de Vrieze, P., Xu, L., Bouguettaya, A., Yang, J., Chen, J. (2011). Building enterprise mashups. Future Generation Computer Systems (Vol. 27, Issue 5), s. 637–642.

Jarmo Ritari, Kaisa Koskinen, Lars Paulin ja Petri Auvinen

METAGENOMIIKKA JA DNA-MIKROSIIRUT YMPÄRISTÖN MIKROBIEN MÄÄRITTÄMISESSÄ

Johdanto

Ympäristömme koostuu monimuotoisesta eliöiden kirjosta, josta näkyvimpänä ovat suuret eläimet kuten nisäkkäät, linnut, kalat ja kasvit. Elävistä organismeista runsaslukuisimmat eli mikrobit ovat kuitenkin suurelta osin paljain silmin näkymättömissä. Maapallolla on arvioitu olevan 5×10^{30} mikrobia ja niiden lisäksi 10 kertaa suurempi määrä viruksia (Kyrpides 2009). Mikrobit ovat läsnä käytännössä kaikissa luonnollisissa ja ihmisen rakentamissa ympäristöissä, ja jo pelkästään ihmisen ruoansulatuskanavankin mikrobifloora on solulukumäärällisesti kymmenkertainen ihmisen omiin soluihin nähden.

Suurinta osaa mikrobeista ei pystytä nyky menetelmillä viljelemään laboratorio-oloissa, mutta niiden perimän (genomin) materiaalia DNA:ta voidaan kuitenkin eristää ja analysoida tarkasti. Genomii-kassa selvitetään perimän rakennetta nukleiinihappojen emäsjärjestystä sekvensoimalla ja nykyisin jo tuhansien mikrobien perimän sekvenssi tunnetaan. Kaikkien näiden tuhansien mikrobien geenit voidaan paikantaa ja suurimmalle osalle voidaan ennustaa mitä ne tekevät. Yllä kuvatun kaltainen perinteinen genomiiikka keskittyy yksittäisten lajien genomien kuvaamiseen. Sen sijaan metagenomiikaksi kutsuttu biologian haara tutkii näytteen koko eliöyhteisön ”yhteisögenomia”. Metagenomiikka (metagenomics, environmental genomics, ecogenomics, community genomics) on verrattain uusi tieteenala vaikka terminä se on ollut olemassa jo yli kymmenen vuotta (Handelsman ym. 1998). Metagenomiikan laajamittaisen ja tehokkaan tutkimuksen vauhdittajana on ollut viime vuosien DNA-sekvensointitekniikoiden nopea kehitys, joka on tuonut metagenomisen tutkimuksen entistä useampien tutkimusryhmien käyttöön. DNA-sekvensoinnin vallankumouksen työjuhtina olevat nk. seuraavan sukupolven sekvensointitekniikat (next generation sequencing, NGS) eivät perustu enää kloonaukseen, vaan näytteestä eristetty DNA voidaan sekvensoida suoraan, jolloin sekvenssiaineisto kuvaa huomattavasti luotettavammin näytteen eliöyhteisön rakennetta ja toimintaa. Näytettä myös tarvitaan merkittävästi vähemmän kuin ennen näiden teknologioiden käyttöönottoa.

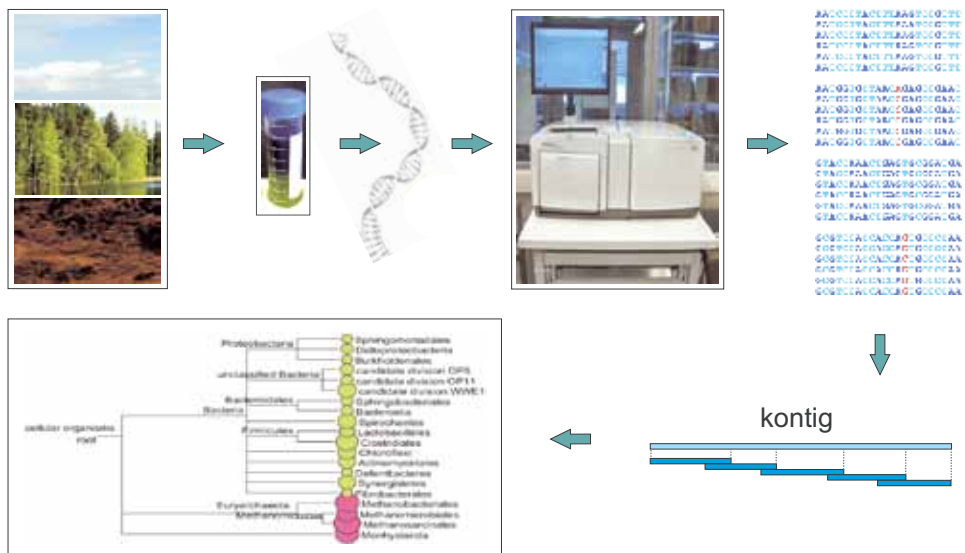
YMLI-hankkeen YMPGEN-osaprojektissa on tutkittu metagenomiikan avulla järvisedimentin mikrobilajiston koostumusta ja muutosta vasteena happipitoisuutta muuttavalle käsittelylle. Saadun sekvenssiaineiston perusteella on tunnistettu mikrobiyhteisön toiminnallisia muutoksia sekä pyritty suunnittelemaan SIRMI-projektin puitteissa DNA-testi jolla happitilanteen indikaattorimikrobien läsnäoloa voi mitata näytteestä.

Metagenomiikkatutkimuksen kulku ja sovelluksia

Metagenomiikassa on tavoitteena sekvensoida kaikkien tietyssä ympäristössä läsnä olevien eliöiden genomit ja näin tunnistaa, mitä eliöitä näytteessä on sekä selvittää millaisia toimintoja (geenejä) näillä eliöillä on. Käytännössä kaikkien eliöiden genomien sekvensointi ei onnistu täydellisesti edes näillä erittäin tehokkailla menetelmillä, etenkin jos kyseessä on monimuotoinen ympäristö kuten esimerkiksi maaperä. Sekvenssitiedon määrästä riippuen saatetaan kuitenkin yleisimpien eliöiden koko genomi saada sekvensoitua ja koottua, mikä on erityisen hyödyllistä jos kyseessä on vaikkapa bakteeri, jota ei ole pystytty kasvattamaan laboratoriossa.

Rochen 454-sekvensointilaitte (Margulies ym. 2005) on tällä hetkellä metagenomiikassa paras käytössä oleva menetelmä sen tuottamien pitkien sekvenssifragmenttien vuoksi (keskimäärin 400 nukleotidia), mutta myös lyhyitä sekvenssifragmentteja (100–150 nukleotidia) tuottavaa Illuminan sekvensointilaitteita (Bentley 2006) käytetään laajasti metagenomiikassa. Yhtä lailla laboratoriotekniikoiden kehittymisen myötä myös käytettävät analyysimenetelmät ovat kehittyneet ja suuren sekvenssimäärän hallintaan tarvittavia työkaluja on parannettu. Metagenomiikalla on saatu tietoa näytteen mikrobiston fylogeneettisen eli evolutiivisten sukulaisuussuhteiden kuvauksen lisäksi mikrobien toiminnasta (kuva 1). Kun pystymme kartoittamaan millaisia geenejä mikrobeilla on perimässään, saadaan lisätietoa ko. lajien toiminnallisista mahdollisuuksista ja voidaan ymmärtää mikrobien toimintaa erilaisissa ympäristöissä eri prosessien aikana. Metagenomiikkaa onkin sovellettu laajasti maaperän, vesistöjen ja esimerkiksi ihmisen mikrobiomin tutkimuksessa (Tringe ym. 2005, DeLong ym. 2006, Venter ym. 2002, Gill ym. 2006). Nopeasti kasvanut sekvenssitieto on mahdollistanut myös aiempaa tehokkaammat DNA-pohjaiset diagnostiikkatyökalut mikrobiyhteisöjen koostumuksen ja toiminnan tarkkailuun.

Tutkimus alkaa näytteen ottamisella ja kokonais-DNA:n eristämällä. Näytteen DNA pilkotaan pieniksi osiksi ja saadut fragmentit sekvensoidaan. Tavoitteena on saada tietoa näytteen kaikkien eliöiden kaikista geneista. Metagenomiikan ehdoton etu on, ettei kloonausvaihetta



Kuva 1. Metagenomiikka-projektin kulku näytteestä käsiteltyyn dataan. Näytteestä eristetään DNA (tai RNA) josta tehdään kirjasto sekvensointia varten. Sekvensointi tuottaa lukuisia sekvenssifragmentteja näyteaineistosta. Sekvenssit käsitellään luokittelemalla ne suhteessa tunnettuihin tietokantasekvensseihin ja toisiinsa. Metatranskriptomiikassa lähtömateriaalina on RNA jonka eristys tehdään käyttäen erityisiä menetelmiä hyvälaatuisen RNA:n saamiseksi (McGrath ym. 2008). Kontigi = ryhmä samasta eliöstä tai geenistä olevia osittain päällekkäisiä sekvenssejä jotka on tietokoneavusteisesti koottu yhteen.

tai PCR-reaktiota tarvita, kun tutkitaan näytteen kokonais-DNA:ta. Näin voidaan välttää perinteisempiin sekvensointitekniikoihin liittyvät suurimmat virhelähteet. Laajemmin määriteltynä metagenomiikalla voidaan tarkoittaa myös näytteen kaikkien eliöiden tietyn geenin tutkimista. Ns. amplikonisekvensoinnissa kiinnostuksen kohteena oleva geeni monistetaan PCR-reaktiossa ja amplikonit sekvensoidaan. Näin voidaan tutkia esimerkiksi tietyn ympäristön mikrobiyhteisön taksonomiaa ja monimuotoisuutta (kuva 1).

Bioinformatiikka on yksi metagenomiikan tärkeimmistä osa-alueista. Valtavien sekvenssiaineistojen analysointi on metagenomiikassa aikaa vievä työvaihe eikä se onnistu ilman toimivia bioinformatiikkaohjelmia ja laskentakapasiteetiltaan suuria tietokoneita. Metagenomiaineiston analysointi aloitetaan huonolaatuisten sekvenssien poistamisella ja osittain päällekkäisten sekvenssien yhdistämisellä pidemmiksi jatkuviksi DNA-alueiksi, kontigeiksi. Samassa kontigissa olevat geenit ovat peräisin samasta eliöstä, ja uutta tietoa voidaan saada esimerkiksi vierekkäisistä geneistä, operonien toiminnasta, metaboliareiteistä tai yhdistää tietty toiminto tiettyyn eliöön jos kontigi sisältää taksonimisen merkkigeenin. Myös yksittäisiä sekvenssejä voidaan verrata erilaisiin tietokantoihin ja verrata esimerkiksi eri näytteiden geeniprofiileja.

Amplikonisekvenssiaineiston käsittely alkaa myös huonolaatuisten sekvenssien poistamisella, minkä jälkeen sekvenssien linjatauksessa samanlaiset geenien osat asetetaan päällekkäin. Linjaus toimii etäisyysmatriisin kanssa pohjana sekvenssien samankaltaisuuden kuvaamisessa ja sekvenssit voidaan ryhmitellä samankaltaisuuden perusteella laji- tai sukutasoa vastaaviin OTUihin (operational taxonomic unit) ja arvioida eri indeksien avulla näytteiden monimuotoisuutta. Etäisyysmatriisi kertoo kuinka kaukaista tai läheistä sukua lajit ovat toisilleen. OTUjen taksonominen tunnistus perustuu näytteestä saatujen sekvenssien tietokantavertailuihin ja tämän tiedon perusteella voidaan arvioida mitä mikrobeja näytteessä on.

Metagenomista lähestymistapaa voidaan soveltaa muun muassa uusien taudinaiheuttajien tai toistaiseksi tuntemattomien viruksien, bakteerien ja muiden eliöiden etsimiseen ja mahdolliseen tunnistamiseen. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää globaalisti mehiläispesästä vaivannutta nk. Colony collapse disorder (CCD) -ilmiötä, jonka takia mehiläispesä on tuhoutunut eri puolilla maailmaa eikä syytä tähän ongelmaan tiedetty. Asiaa lähdettiin tutkimaan keräämällä yhteisö-DNA näytteitä ”terveistä” ja ”sairaista” pesistä sekä muista materiaaleista, ja näytteet sekvenssoitiin 454-tekniikalla (Cox-Foster ym. 2007). Analyysien perusteella voitiin tunnistaa virussekvenssi, joka esiintyi usein infektoituneissa pesissä. Tällä hetkellä selvitetään tämän aikaisemmin jo tunnetun viruksen osuutta tuhoon.

Kohti ympäristön mikrobien geenien toiminnan tutkimista

Metagenomiikan ohella kiinnostusta on herättänyt metatranskriptomiikan käyttö mikrobiologiassa. Transkriptomiikalla tarkoitetaan näytteen RNA:n tutkimista eli selvitetään mitkä näytteen geneistä ovat aktiivisia ja tuottavat proteiineja (valkuaisaineita) tutkittavassa ympäristössä tietyllä hetkellä. Metatranskriptomiikassa tutkimuksen kohteena on yhteisön kaikkien kyseisellä hetkellä aktiivisten geenien tuottamat RNA:t. Sekvenssiaineisto tuotetaan RNA:ta lähtömateriaalina käyttäen, jolloin voidaan tutkia sekä mikrobiyhteisön rakennetta että saada viitteitä mikrobien toiminnasta (Ulrich ym. 2008). Metatranskriptomin tutkiminen on merkittävästi vaikeampaa kuin DNA:n (metagenomiikka) tutkiminen, koska RNA-molekyylien eristäminen on ainakin

tällä hetkellä paljon haastellisempaa. Kun verrataan keskenään näytteen metagenomia (DNA) ja metatranskriptomia (RNA) voidaan havaita, kuinka merkittävästi koko mikrobiyhteisön rakenne eroaa näytteen aktiivisen yhteisön rakenteesta (Gilbert ym. 2008, Frias-Lopez ym. 2008), sillä vain osa näytteen mikrobeista on aktiivisia tietyllä ajan hetkellä.

DNA-mikrosiru mikrobilajiston analyysissä

DNA-mikrosirut koostuvat useista erillisistä yksijuosteisia DNA-koettimia sisältävistä täplistä, jotka on kiinnitetty esim. lasi- tai piilevyn pinnalle. Jokaisessa täplässä voi siten tapahtua oma DNA-juosteiden välinen hybridisaatioreaktion, jossa yksijuosteiset DNA-molekyylit kiinnittyvät toisiinsa kaksijuosteiseksi, mikäli niiden sekvenssit ovat toisilleen komplementaarisia (kuva 2B). Koska tietty koetin sitoo komplementaarista kohdejuostettaan, voidaan sellaiset täplät tunnistaa joihin on sitoutunut koetinta vastaavaa leimattua DNA:ta. Näin hybridisaatiossa näytteestä erottuvat omiin täpliinsä sen sisältämät DNA-molekyylit, jotka havaitaan skannatessa siru leiman ominaisella aallonpituudella (kuva 2A ja 2B). DNA-mikrosirualustoja voidaan valmistaa eri tekniikoilla jotka tuottavat tiheydeltään erilaisia siruja. Valmiit DNA-molekyylit voidaan kiinnittää lasin pinnalle pieninä pisaroina, tai molekyylit voidaan syntetisoida suoraan alustalla. Ensimmäinen tapa mahdollistaa hyvin vaihtelevan pituisten koettimien kiinnityksen alustalle suhteellisen halvalla, mutta sirun laatu ja tiheys ovat tyypillisesti heikompia. Jälkimmäinen tapa taas mahdollistaa suuren tiheyden korkealaatuiset sirut, mutta hinta on kalliimpi ja koettimet lyhyempiä.

DNA-mikrosiruja on käytetty noin 15 vuotta pääasiassa toiminnallisen genomiikan perustutkimuksessa (Hoheisel 2006). Kun tutkittavan kohteen perimän sekvenssi on saatu selvitettyä, voidaan sekvenssitiedon perusteella suunnitella kutakin geeniä vastaava koetin ja koostaa näin saaduista koettimista mikrosiru. Tällaisella sirulla on mahdollista tutkia geenien toimintaa so. ilmenemistä erilaisissa olosuhteissa. Tyypillisessä koeasetelmassa tutkittavasta näytteestä ja vertailunäytteestä eristetään kummastakin lähetti-RNA, joka käännetään käänteistranskriptioentsyymillä komplementaariseksi DNA:ksi (cDNA) ja samalla se leimataan fluoresoivalla leimamolekyylillä. Kun näytteet leimataan eri leimoilla ja hybridisoidaan samalle mikrosirulle, voidaan kussakin täplässä leimojen suhteellisten emission intensiteettiarvojen avulla päätellä täplää vastaavan geenin ilmenemisen voimakkuus ja suhteellinen ero näytteiden välillä.

Geeniekspression tutkimisen ohella mikrosirut ovat viime vuosina alkaneet vallata alaa mikrobiagnostiikan parissa. Taudinaiheuttajien läsnäoloa voidaan selvittää tehokkaasti DNA-sirulla, sillä näytteen sekvensointi on vielä liian hidasta ja kallista. Erilaisten ympäristöjen mikrobiyhteisöjen koostumusta ja toimintaa selvittäessä sen sijaan vaaditaan huomattavasti tehokkaampia menetelmiä koska yhteisöt ovat tyypillisesti monimuotoisia ja ennalta tuntemattomia. Tämän vuoksi hyvin suuren määrän koettimia ja taksonomisia tasoja ja ryhmiä sisältävät mikrosirut ovat olleet pääasiallinen lähestymistapa (Brodie ym. 2006, DeSantis ym. 2007). Toinen tapa on ensin käyttää metagenomista tehosekvensointia näytteen analyysiin ja suunnitella sekvenssiaineiston perusteella pienemmän tiheyden siru kyseisen ympäristön tutkimiseen. Näin on toimittu myös YML:ssä, jossa hankittuja sekvensointituloksia on siirretty SIRMI-osaprojektiin mikrobien tunnistamiseen tähtäävää DNA-mikrosirun kehitystyötä varten.

Käytännössä ongelmana kaikissa sirutekniikoissa on se, että kovin samanlaisia sekvenssejä on vaikea erottaa luotettavasti toisistaan riittäväällä herkkyydellä koska mikrobiyhteisöt sisältävät monia

toisilleen läheistä sukua olevia lajeja. Koettimien pituuden kasvattaminen lisää herkkyyttä, mutta vähentää tarkkuutta sillä pidemmät koettimet sietävät hybridisaatiossa enemmän vaihtelua sitomansa kohdesekvenssin suhteen. Lyhyiden koettimien erottelevuus taas on parempi mutta herkkyys huonompi.

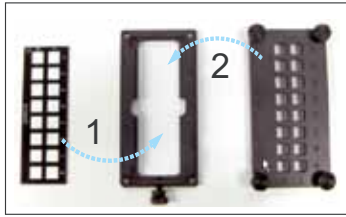
Sekä kliinisessä että ympäristömikrobi diagnostiikassa mikrosirutekniikkaa on pyritty kehittämään paremmaksi, koska käytännössä hyvin suuren tiheyden sirut olisivat liian kalliita rutiininomaiseen käyttöön näytteiden analyysissä. Eräs tapa on käyttää entsyymattiseen reaktioon perustuvaa tunnistusta (Barany 1991). Ns. ligaatio-menetelmässä (Ligation Detection Reaction; LDR) kaksi koetinta sitoutuu kohde-DNA-juosteeseen peräkkäin, jolloin ne tulevat samalla liitettyksi kovalenttisesti yhteen ligaasi-entsyymien katalysoimana (kuva 2C). Toinen koettimista on leimattu ja toiseen on kiinnitetty osoitesekvenssi. Jos koettimien kohde-DNA on läsnä reaktiossa, ligaatio tapahtuu ja ligoituneet koettimet havaitaan leiman avulla niiden sitoutuessa osoitesekvenssinsä mukaisesti tiettyyn sirun täplään. LDR-sirumenetelmää on käytetty monimuotoisten ympäristömikrobiryhmien tutkimiseen (Candela ym. 2010, Hultman ym. 2008) ja sitä on kehitetty myös YMLI-projektin puitteissa.

Kuva 2. DNA-mikrosirutekniikan periaate.

A) DNA-mikrosiru on käytännössä useimmiten lasilevy jolle liuoksessa oleva tutkittava DNA hybridisoidaan suljetussa kammiossa. Lasi ja kammio voivat olla jaettuna useampaan erilliseen osioon joissa jokaisessa voidaan tutkia eri näytettä. Hybrisaation jälkeen lasi pestään ja asetetaan skanneriin jossa fluoresenssisignaali luetaan.

B) DNA-mikrosiru koostuu suuresta määrästä lasin tai muun alustan pinnalle kiinnitettyjä mikroskooppisia DNA-täpliä. Jokainen täplä sisältää tietynlaista yksijuosteista DNA-koetinmolekyyliä, joka vastaa sekvenssiltaan tiettyä kohde-DNA:n sekvenssiä. Kohde voi olla jonkin geenin lähetti-RNA:ta tai lajille ominainen geenimuoto sovelluksesta riippuen. Tutkittaessa näytettä materiaalista eristetty DNA leimataan fluoresoivalla leimamolekyyllillä ja hybridisoidaan sirulle. Hybridisaatiossa sekvensseiltään toisiaan vastaavat DNA-juosteet kiinnittyvät toisiinsa, jolloin tutkittavassa näytemateriaalissa olevat DNA-molekyylit kiinnittyvät omiin täplänsä sirulla ja näkyvät eksitoitaessa leimaa laser-skannauksessa.

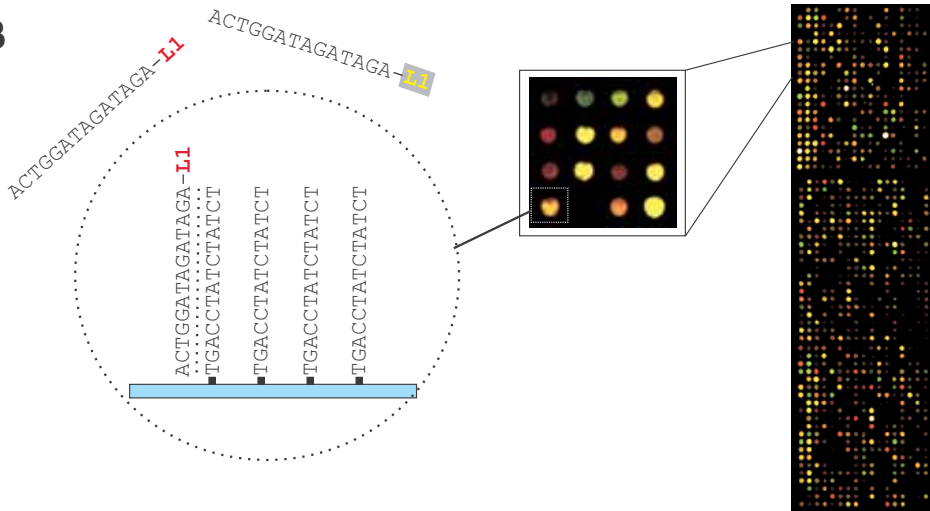
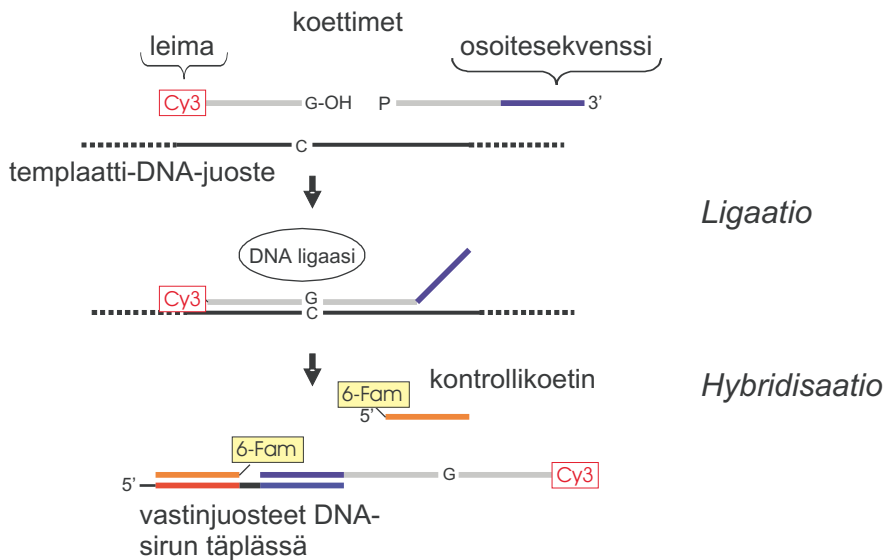
C) Ligaatio-mikrosirumenetelmän periaate. LDR-menetelmässä kohteen tunnistaminen perustuu kahteen koettimeen jotka sitoutuvat peräkkäin kohde-DNA:han ja liittyvät toisiinsa ligaasi-entsyymien katalysoimana. Kun toinen koettimista sisältää leiman ja toinen osoitesekvenssin, voidaan mikrosirulla havaita vain sellaiset koettimet jotka ovat onnistuneesti ligoituneet yhteen. Jokaisella kohdespesifillä koetinparilla on oma osoitesekvenssinsä, jolle on olemassa vastinsekvenssinsä tiettyssä mikrosirun täplässä. Sitoutuneet ja ligoituneet koettimet havaitaan fluoresenssisignaalin avulla. Jokaiseen täplään sitoutuu myös eri leimalla varustettu kontrollikoetin, jonka avulla signaalit voidaan normalisoida (Ritari ym. 2009).

A

DNA-siru ja hybridisaatiokammio



Siruskanneri

B**C**

Lähteet

- Barany F. (1991). Genetic disease detection and DNA amplification using cloned thermostable ligase. *Proc Natl Acad Sci USA*. 88(1):189–93.
- Bentley DR. (2006). Whole-genome re-sequencing. *Curr Opin Genet Dev* 16: 545–52
- Brodie EL, Desantis TZ, Joyner DC, Baek SM, Larsen JT, Andersen GL, Hazen TC, Richardson PM, Herman DJ, Tokunaga TK, Wan JM, Firestone MK. (2006). Application of a high-density oligonucleotide microarray approach to study bacterial population dynamics during uranium reduction and reoxidation. *Appl Environ Microbiol*. 72(9):6288–98.
- Candela M, Consolandi C, Severgnini M, Biagi E, Castiglioni B, Vitali B, De Bellis G, Brigidi P. (2010). High taxonomic level fingerprint of the human intestinal microbiota by ligase detection reaction-universal array approach. *BMC Microbiol*. 10:116.
- Cox-Foster DL, Conlan S, Holmes EC, ym. (2007). A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science* 318: 283–7
- DeLong EF, Preston CM, Mincer T, ym. (2006). Community genomics among stratified microbial assemblages in the ocean's interior. *Science* 311: 496–503
- DeSantis TZ, Brodie EL, Moberg JP, Zubieta IX, Piceno YM, Andersen GL. (2007). High-density universal 16S rRNA microarray analysis reveals broader diversity than typical clone library when sampling the environment. *Microb Ecol*. 53(3):371–83.
- Frias-Lopez J, Shi Y, Tyson GW, ym. (2008). Microbial community gene expression in ocean surface waters. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105: 3805–10
- Gilbert JA, Field D, Huang Y, ym. (2008). Detection of large numbers of novel sequences in the metatranscriptomes of complex marine microbial communities. *PLoS ONE* 3: e3042
- Gill SR, Pop M, Deboy RT, ym. (2006). Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome. *Science* 312: 1355–9
- Handelsman J, Rondon MR, Brady SF, ym. (1998). Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: a new frontier for natural products. *Chem Biol* 5: R245-9
- Hoheisel JD. (2006). Microarray technology: beyond transcript profiling and genotype analysis. *Nat Rev Genet*. 7(3):200–10.
- Hultman J, Ritari J, Romantschuk M, Paulin L, Auvinen P. (2008). Universal ligation-detection-reaction microarray applied for compost microbes. *BMC Microbiol*. 8:237.

- Kyrpides NC. (2009). Fifteen years of microbial genomics: meeting the challenges and fulfilling the dream. *Nat Biotechnol* 27: 627–32
- Lander ES, Linton LM, Birren B, et al. (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature* 409: 860–921
- Margulies M, Egholm M, Altman WE, et al. (2005). Genome sequencing in microfabricated high-density picolitre reactors. *Nature* 437: 376–80
- McGrath KC, Thomas-Hall SR, Cheng CT, et al. (2008). Isolation and analysis of mRNA from environmental microbial communities. *J Microbiol Methods* 75: 172–6
- Ritari J, Paulin L, Hultman J, Auvinen P. (2009). Application of hybridization control probe to increase accuracy on ligation detection or minisequencing diagnostic microarrays. *BMC Res Notes*. 2:249.
- Tringe SG, von Mering C, Kobayashi A, et al. (2005). Comparative metagenomics of microbial communities. *Science* 308: 554–7
- Urich T, Lanzen A, Qi J, et al. (2008). Simultaneous assessment of soil microbial community structure and function through analysis of the meta-transcriptome. *PLoS One* 3: e252
- Venter JC, Remington K, Heidelberg JF, et al. (2004). Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. *Science* 304: 66–74

Heidi Jääskeläinen, Joonas Nurmi,
Martin Romantschuk ja Jukka Kurola

LENTOAIKAMASSASPEKTROMETRIAN MAHDOLLISUUDET YMPÄRISTÖN HAITTA-AINEANALYTIIKASSA

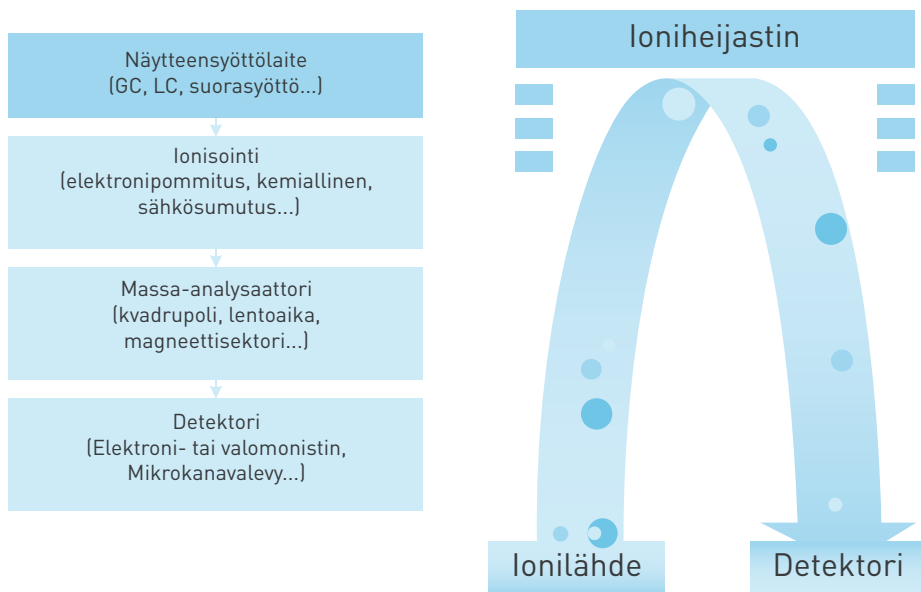
Johdanto

Kemiallinen ympäristöanalytiikka tukee vahvasti useita ympäristön tutkimusaloja kuten vesistöjen ja maaperän tutkimusta, ekotoksikologiaa ja biotekniikkaa. Lisäksi se tarjoaa tietoa mm. viranomaisille ympäristön tilan seurantaan ja ympäristövaikutusten arviointiin. Kemiallinen ympäristöanalytiikka on muuttumassa enenevässä määrin jatkuvatoimiseksi monitoroinniksi, ja yksi sen suurimmista haasteista on mitata yhä pienempiä ainemääriä komplekseista ja vaikeista näytematriiseista. Kiinnostus uusien ja potentiaalisesti luonnolle haitallisten aineiden tunnistamiseen ja määrittämiseen on myös lisääntynyt perinteisten ympäristömyrkköjen kuten dioksiinien, kloorifenolien, PCB-yhdisteiden tai öljyjen tutkimuksen rinnalla. YMLI-hankkeen yksi päätavoitteista oli kehittää ja tuottaa uutta nopeavasteista ympäristön kemiallista haitta-aineanalytiikkaa, ja vastata siten ympäristöalan tulevaisuuden haasteisiin.

Ennen ympäristönäytteiden kemiallista analyysiä, ne tarvitsevat lähes poikkeuksetta esikäsittelyjä. Erilaisilla uutto- ja puhdistusmenetelmillä päästään eroon analyysiä häiritsevistä tekijöistä ja parannetaan sen herkkyyttä. Esikäsittelyn lisäksi tutkittavat yhdisteet täytyy vielä erottaa toisistaan niiden tunnistuksen varmistamiseksi. Neste- ja kaasukromatografia ovat yleisimmät kemialliset erotusmenetelmät orgaanisille yhdisteille. Kaasukromatografilla (eng. *gas chromatography*, GC) erotetaan toisistaan suhteellisen herkästi haihtuvat yhdisteet. Nestekromatografia puolestaan (eng. *liquid chromatography*, LC) soveltuu sekä epäorgaanisille että orgaanisille aineille. LC onkin erittäin tärkeä erotusmenetelmä suurimolekyylisille yhdisteille (mm. proteiinit, aminohapot, lipidit, lääkeaineet). Näiden erotustekniikoiden yhdistämisellä eri detektoreihin voidaan parantaa kemiallisen analyysimenetelmän selektiivisyyttä ja herkkyyttä. Eräs hyvä yleisdetektorina kaasu- ja nestekromatografille on massaspektrometri (MS). Sen avulla näytteen sisältämät yhdisteet tunnistetaan niille ominaisen massaspektrin avulla.

Taulukko 1. Kolmen eri yhdisteen molekyylimassat laskettuna yksikkömassoilla ja tarkoilla massoilla.

yhdiste	Molekyylimassa laskettuna alkuaineen yksikkömassoilla (nominaalimassa)	Molekyylimassa laskettuna alkuaineen tarkoilla massoilla (tietyn isotoopin tarkkamassa)
N ₂	2 × 14 = 28	2 × 14,0031 = 28,0062
CO	12 + 16 = 28	12,0000 + 15,9949 = 27,9949
C ₂ H ₄	2 × 12 + 4 × 1 = 28	2 × 12,0000 + 4 × 1,0078 = 28,0312



Kuva 1. Massaspektrometrin päävaiheet ja lentoaikamassa-analysaattorin periaate.

Massaspektrometrit nimetään niiden analysaattorin mukaan. Lentoaikamassa-analysaattorissa (eng. *time-of-flight*, TOF) erimassaiset ionit erotetaan niiden lentoajan perusteella – ”mitä raskaampi ioni, sitä pidempi lentoaika” (kuva 1). TOF:n periaate esitettiin jo 1940-luvun puolessa välissä, mutta vasta nopeampien ja tehokkaampien tietokoneiden myötä TOF-massadetektorista on tullut yksi nykypäivän tärkeimmistä MS-analysaattoreista. Kuvassa 1 on kuvattu MS-tekniikan eri päävaiheet.

YMLI-hankkessa käytetyt GC/LC-TOF-laitteet (kuvat 2 ja 3) olivat ns. tarkan massan MS-detektoreja. Näillä laitteilla saadaan määritettyä tutkittaville aineille molekyyli- ja atomimassat neljän desimaalin tarkkuudella, ja sitä kautta voidaan selvittää eri yhdisteiden alkuainekoostumus (esimerkki taulukossa 1). TOF-laitteiden ohjelmistoon oli myös liitetty laaja massaspektrikirjasto, jota voitiin hyödyntää sekä tunnettujen että tuntemattomien yhdisteiden tunnistuksessa ja seulonnassa (skriinauksessa).

YMLI-hankkeen TOF-massaspektrometrit yhdistettynä kaasui- tai nestekromatografiin, sekä laajan massaspektrikirjastoon tarjosivat tehokkaan ja tarkan työkalun kemiallisen ympäristöanalytiikan kehitystyöhön. Seuraavassa on lyhyet kuvaukset YMLI-hankkeen aikana kehitetyistä ja sovelletuista uusista GC/LC-TOF-MS-analyysimenetelmistä ympäristön tilan seurantaan ja tutkimukseen.



Kuva 2. Kaasukromatografi-TOF-massaspektrometri.

Orgaaniset tinayhdisteet ja niiden hajoamistuotteet

Orgaanisia tinayhdisteitä on käytetty mm. veneiden ja laivojen pohjamaaleissa (*antifouling*-maalit) estämään levien ja pieneliöiden kasvua. Aineita on käytetty myös limantorjuntaan kiertovesisysteemeissä, puutavaran suojauksessa sekä muoviteollisuudessa (mm. stabilisaattori PVC-muovissa). Aluksi riskittöminä pidetyt kemikaalit ovat kuitenkin osoittautuneet haitallisiksi ympäristömyrkyiksi. Yleisimmin käytössä ovat olleet butyyli- ja fenyylitinayhdisteet, joista erityisesti tributyyli- ja trifenyylitina (TPhT) ovat aiheuttaneet merkittäviä ympäristöongelmia. Orgaaniset tinayhdisteet ovat erittäin haitallisia vesieliöille jo hyvin pieninä pitoisuuksina. Yhdisteet hajoavat ympäristössä sekä kemiallisesti että biologisesti, mutta kylmissä olosuhteissa ja hapettomissa sedimenteissä hajoaminen on erittäin hidasta.

YMLI-hankkeen aikana analysoitiin orgaanisia butyyli- ja fenyylitinayhdisteitä vesi- ja sedimentinäytteistä (mm. Itämeren sedimenttinäytteistä). Menetelmät perustuivat ISO-standardeihin 23161 (2009) ja 17353 (2004). GC-TOF-MS-laitteiston avulla TBT, TPhT sekä niiden hajoamistuotteet onnistuttiin analysoimaan hyvin pieninä pitoisuuksina (Dahl 2011).

Lentoaikamassaspektrometria vesistöjen kemikalisoitumisen tutkimuksessa

Globaalin vaurastumisen myötä maapallon teollinen tuotanto, maatalous ja jokapäiväinen arkielämä perustuvat yhä enemmän erilaisten kemikaalien käyttöön. Kemikalisoitumisella tarkoitetaan lisääntyvää kemikaalien käyttöä ja sitä kautta niiden päätymistä ympäristöön. Suomessakin näitä kemian teollisuuden tuotteita on käytössä kymmeniä tuhansia. Onkin todennäköistä, että ympäristöön päätyy jatkuvasti yhdisteitä, joita ei vielä ole edes tunnistettu ja joiden vaikutuksesta luontoon ei tiedetä mitään.

YMLI-hankkeen TOF-massaspektrometrien avulla kehitettiin monijäämämenetelmä orgaanisten haitta-aineiden kvalitatiiviseen tunnistamiseen vesinäytteistä (Nurmi ja Pellinen 2011). Monijäämämenetelmät ovat analyttisiä menetelmiä, joilla analysoidaan kymmeniä, jopa satoja yhdisteitä näytteestä yhdellä analyysillä. Menetelmän kehitystyössä käytettiin torjunta- ja lääkeaineiden malliaineseosta, joka sisälsi yhteensä 86 yhdistettä. Tutkittavana matriisina ja näytteenä käytettiin jäteveden puhdistamolta lähtevää puhdistettua jätevettä. Näytteiden esikäsittelyssä käytettiin kiinteäfaasiuuttoa, joka optimoitiin malliaineiden avulla. Analyysit suoritettiin LC-TOF-MS-laitteistolla. Menetelmän kvantitatiivista suorituskykyä arvioitiin määrittämällä pitoisuudet näytteessä havaituille haitta-aineille.

Lisäksi kehitettiin GC-TOF-MS-laitteistolle soveltuva uusi monijäämämenetelmä. Malliaineina tässä kehitystyössä käytettiin palonestoaineita, kuten bromattuja fenoleita ja organofosfaattiyhdisteitä. Menetelmän herkkyyttä parannettiin käyttämällä suuren tilavuuden injektointia. Näin voidaan moninkertaistaa laitteeseen syötetyn näytteen määrä ja samalla mahdollistetaan yhä pienempien pitoisuuksien mittaaminen. Myös tämän menetelmän esikäsittely perustui kiinteäfaasiuut-



Kuva 3. Nestekromatografi-TOF-massaspektrometri.

toon. Molempien monijäämämenetelmien käytettävyyden, prosessiin vaikuttavien parametrien ja tunnistustulosten luotettavuuden arviointi on tutkimuksen lähitulevaisuuden päätavoite.

Yhdyskuntien jätevesien mikropollutantit

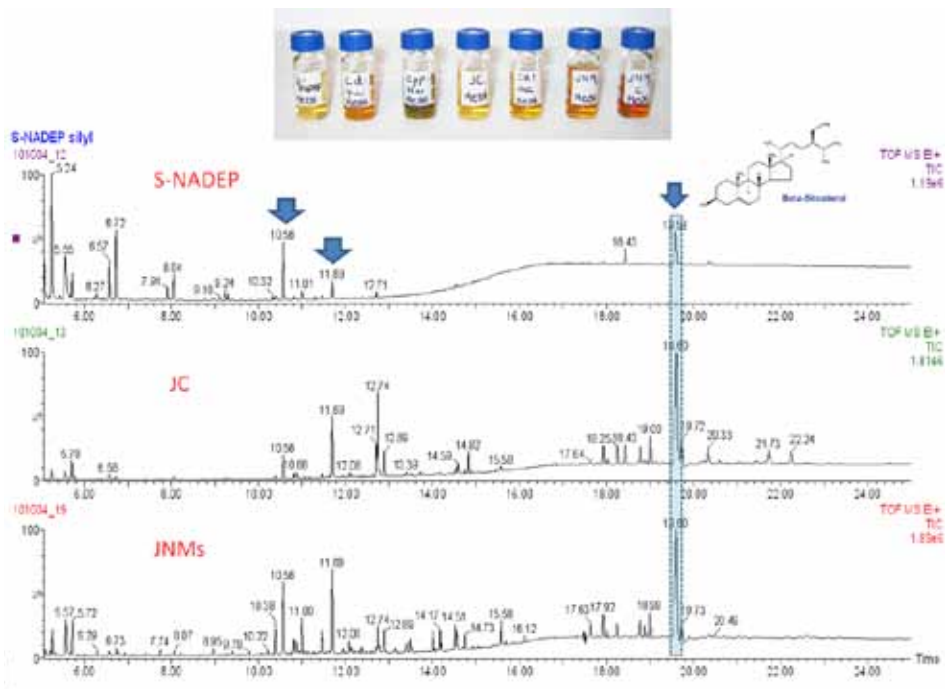
Yhdyskuntien jätevesien puhdistuksessa keskitytään lähinnä ravinteiden ja orgaanisen kiintoaineen poistoon. Jätevedet sisältävät kuitenkin myös paljon erilaisia haitta-aineita, jotka ovat peräisin niin kotitalouksista kuin teollisuudesta. Monet haitta-aineet esiintyvät jätevesissä alhaisina pitoisuuksina (*mikropollutanteja*), eivätkä ne täysin häviä puhdistusprosesseissa vaan päätyvät lopulta ympäristöön. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi erilaiset torjunta- ja lääkeaineet, raskasmetallit, polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet), palonestoaineet, kosmeettiset aineet ja hormonit.

YMLI-hankkeen aikana kehitettiin TOF-laitteille soveltuvaa analytiikkaa jätevesien mikropollutanttien tunnistamiseksi ja pitoisuuksien määrittämiseksi. Tarkoitukseen soveltuvia näytteitä saatiin projektista, jossa tutkittiin monivaiheisen biofilmiprosessin tehokkuutta haitta-aineiden poistamiseen jätevedestä. Biofilmin mikrobit (mm. bakteereja, sieniä) käyttävät haitta-aineita hiilen lähteenään samalla hajottaen ne pienemmiksi yhdisteiksi. Monivaiheisen puhdistusprosessin ensimmäinen vaihe poistaa jäteveden sisältävän helposti hajoavan aineksen, jolloin sarjan loppupäähän on mahdollista valikoitua pienissä pitoisuuksissa esiintyviä haitta-aineita hajotettavia mikrobeja. Tavoitteena oli arvioida jätevesiprosessin eri biofilmien puhdistustehokkuutta käyttäen apuna kahta malliainetta – bisfenoli A:ta (BPA) ja galaksolidia (HHCB). BPA on muoviteollisuuden laajasti käyttämä raaka-aine, joka on herättänyt paljon huomiota haitallisten vaikutustensa ansiosta (mm. hormonaaliset häiriöt). HHCB puolestaan on yksi eniten käytetty keinotekoinen hajuste pesuaineissa ja kosmetiikassa. Näitä molempia yhdisteitä on mitattu kunnallisissa jätevesissä µg/l -tasoa. Tutkimuksessa näytteet uutettiin kiinteäfaasiuutolla, ja BPA-määrittystä varten tehtiin silylointi ennen varsinaista GC-TOF-MS-analyysiä. Näytteistä määritettiin myös kiintoaineeseen ja biofilmin kantaja-aineeseen sitoutunut osuus (Mononen ym. 2010). Jatkossa menetelmää tullaan edelleen kehittämään, jotta kirjallisuudesta saatujen tietojen ja massaspektrikirjastoa hyödyntäen kyetään tunnistamaan BPA- ja HHCB:n hajoamistuotteita.

Kompostien bioaktiivisten yhdisteiden tunnistus GC-TOF-MS-analyysin avulla

Komposti on maanparannusaine, joka vaikuttaa maaperän ja kasvualustan ravinnepitoisuuteen, orgaaniseen ainekseen, vedenpidätyskykyyn ja mm. kasvitautien esiintymiseen. Kompostien käyttöä kasvitautien torjunnassa on Suomessa tutkittu vähän. Ilmiön selittäjiksi on ehdotettu erilaisia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia mekanismeja, kuten kompostien mikrobiyhteisöjen aikaansaamaa loisintaa tai niiden tuottamia antibioottisia yhdisteitä.

YMLI-hankkeen GC-TOF-MS-laitteiston avulla selvitettiin, onko Intiassa (ja Suomessa) tuotetuissa komposteissa spesifisiä kemiallisia yhdisteitä, joilla on kasvien juuristotauteja vähentäviä ominaisuuksia. Intiasta kerätyt ja kylmäkuivatut kompostinäytteet uutettiin uudestaan ja silyloitiin ennen GC-TOF-MS-analyysiä. Kompostinäytteet profiloitiin niille tyypillisten intensiivisten analyyttipiikkien ja kromatogrammien perusteella (kuva 4). Tulokset osoittivat, että GC-TOF-MS-laitteistot soveltuvat hyvin ennalta tuntemattomien kompostien orgaanisten yhdisteiden



Kuva 4. Kompostinäytteiden vertailuun valittiin karakteristisia yhdisteitä. Aineiden tunnistuksessa käytettiin hyväksi TOF-laitteistoon liitettyä massaspektrikirjastoa.

tunnistamiseen ja karakterisointiin (Mehta ym. 2011). Analyysin perusteella intialaisista komposteista tunnistettiin mm. *Pseudomonas* sp. bakteerien sekundaarimetaboliin tuottaman antibiootin 2,4-DAPG:n esiaste floroglusini. Jatkossa sekä suomalaisten että intialaisten kompostien bakteri- ja sieniyhteisöjä tutkitaan vielä tarkemmin molekyylibiologisten menetelmien (qPCR, DGGE ja DNA paralleelisekvensointi) avulla.

Muita mahdollisuuksia ympäristöalan TOF-analyysimenetelmien kehitystyöhön

Klooratut dioksiinit ja furaanit ovat tunnettuja ympäristömyrkyjä. Vaikka ne ovat erittäin pysyviä kemiallisesti ja biologisesti, tietyt mikrobit voivat suotuisissa olosuhteissa irrottaa klooriatomeja dioksiini/furaani-molekyyli-rungosta. Yhdisteiden myrkyllisyys pienenee, kun kloorien määrä vähenee. YMLI-hankkeen aikana näiden ns. dekloraatumistuotteiden analytiikassa hyödynnettiin TOF-massaspektrometrin ominaisuuksia.

Organoklooripestisidit (torjunta-aineita) analysoitiin GC-TOF:lla biologisista näytteistä vertailumenetelmänä GC-ECD-tekniikalle. ECD (eng. *electron capture detector*) on erittäin herkkä ja

selektiivinen menetelmä halogeneja sisältäville yhdisteille. Polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet ovat perinteisiä ympäristön haitta-aineita, joita määritetään rutiinisti eri näyttematriiseista. PAH-yhdisteiden hajoamistuotteita kuitenkin tutkitaan vähemmän. GC-TOF-MS-menetelmällä pyrittiin tunnistamaan kyseisiä metaboliatuotteita testinäytteiden avulla.

Ekotoksikologisten testien perusteella esimerkiksi sedimentti on voitu havaita haitalliseksi eliölle. Toksisuuden aiheuttajia voi olla yhden kemikaalin sijasta useita. Sedimentin ns. skriinauksella eli seulonnalla voidaan päästä selville kyseisistä yhdisteistä. Seulonnassa näytteen esikäsittelyllä ja uuttomenetelmillä on suuri merkitys, mm. uuttoliuottimen väärellä valinnalla saadetaan menettää tärkeitä analyyttejä. YMLI-hankkeessa TOF-laitteistojen ominaisuuksia tuntemattomien aineiden seulontaan ja tunnistamiseen hyödynnettiin mm. järvisedimenttinäytteille.

Yhteenveto

YMLI-hanke mahdollisti korkean teknologian TOF-laitteistojen hankinnan ja sisäänajon, mikä loi pohjan uusien ympäristökemiallisten LC/GC-TOF-MS-sovellutusten kehittämistyölle. Laitteistojen avulla määritettiin ja tunnistettiin onnistuneesti useiden eri ympäristöjen tuntemattomia tai potentiaalisia kemiallisia haitta-aineita erittäin pieninä pitoisuuksina. TOF-laitteistot laajensivat ja vahvistivat Helsingin yliopiston tutkimusosaamista ja verkostoitumismahdollisuuksia ympäristötutkimuksessa. Useita YMLI-hankkeessa kehitettyjä TOF-menetelmiä voidaan jatkokehittää kaupalliseen analytiikkaan ja luoda uutta liiketoimintaa.

Lähteet

- Dahl, M. 2011. Orgaanisten tinayhdisteiden analytiikka ja akuutti toksisuus vesiympäristössä (Pro gradu -työ, esitarkastuksessa). Helsingin yliopisto, Ympäristötieteiden laitos.
- Nurmi, J. ja Pellinen, J. 2011. Multiresidue method for the analysis of emerging contaminants in waste water by ultra performance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry. (käsikirjoitus)
- Mehta, C.M., Yu, D., Srivastava, R., Kurola, J., Gupta, V., Jääskeläinen, H., Sharma, A.K., Romantschuk, M. 2011. Microbial diversity and bioactive substances in disease suppressive compost from India. (käsikirjoitus, valmisteilla)
- Mononen, T., Coloma, S., Lehtonen, A., Kapanen, A., Vikman, M., Itävaara, M., Romahtschuk, M. 2010. Biodegradation of BPA and HHCB from waste water by multi-stage biofilm process. Pp 156–163 in (eds. F. Kaczala, S. Arzur, I. Tjäder, W. Hogland) Proceedings of the Linnaeus ECO-TECH '10, Kalmar, Sweden

Silja Kostia ja Carola Fortelius

KEHITTÄMISTÄ, KOULUTUSTA JA LIIKETOIMINTAA - YMLIN MAHDOLLISUUDET AMMATTIKORKEAKOULUOPISEKELIJALLE JA -OPETTAJALLE

Lähtökohtia YMLI-hankkeessa mukana ololle

Lahden ja Metropolia ammattikorkeakoulun mukana olo YMLI-hankkeessa perustui ajatukseen, että tieto uusien mittaus- ja analyysimenetelmien mahdollisuuksista liikkuisi näin nopeammin insinöörikoulutuksen sisällöksi. Uusien teknologioiden ja menetelmien yleistymisen haasteena on usein tiedon siirto tutkimusorganisaatioista yrityksiin ja julkisorganisaatioihin. Tätä matkaa voidaan lyhentää jos valmistuvilla insinööreillä on tietoa ja taitoja uusista teknologioista ja menetelmistä ja niiden tarjoamista soveltamismahdollisuuksista.

Lahden ammattikorkeakoulussa on 5 000 tutkinto-opiskelijaa seitsemällä eri koulutusallalla. Henkilöstöä Lahden ammattikorkeakoulussa on noin 400, joista noin 250 on opettajia. Tekniikan koulutusalan yksi koulutusohjelmista on ympäristöteknologia, josta valmistuu insinöörejä ympäristökonsultointiin, yritysten ympäristövastaaviksi sekä erilaisiin muihin ympäristö- tai insinööriosuamista vaativiin tehtäviin. Ympäristö on yksi Lahden ammattikorkeakoulun painopistealoista. Tutkimus- ja kehityshankkeita teemaan liittyen on muun muassa uusiutuvan energiaan, biologiseen jäteveden puhdistukseen ja puhtaisiin teknologioihin liittyen. Lahden ammattikorkeakoulu on osa FUAS (Federation of Universities of Applied Sciences) liittoumaa yhdessä Hämeen ammattikorkeakoulun ja Laurea ammattikorkeakoulun kanssa.

Metropolia ammattikorkeakoulussa on 16 000 opiskelijaa ja opetushenkilöstöä noin 700. Organisaatio on jaettu seitsemään eri klusteriin, joista kolme on tekniikan klusteria. Teollisen tuotannon klusteriin kuuluvat mm. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma, missä mm. opetetaan ympäristöbiotekniikkaa ja eri ympäristötekniikan opintojaksoja, sekä kolme vuotta sitten alkanut englanninkielinen Degree Programme in Environmental Engineering.

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelmasta valmistuneet insinöörit toimivat monissa eri asiantuntija- ja johtotehtävissä elintarvikkeita ja bioteknisiä tuotteita valmistavassa teollisuudessa. Tuotantotoiminnan lisäksi bio- ja ympäristötekniikan aloilla tehdään voimakasta tutkimus-, tuotekehitys- ja laadunvalvontatyötä. Environmental Engineering koulutusohjelman painopistealueet ovat ”Renewable Energy Engineering” sekä ”Waste, Water and Environmental Engineering”.

Opetuksen ja TKI-toiminnan integroiminen

Ammattikorkeakoululaki (351/2003) edellyttää ammattikorkeakouluilta opetusta palvelevaa sekä työelämää ja aluekehitystä tukevaa sekä alueen elinkeinorakenteen huomioon ottavaa soveltavaa tutkimus- ja kehitystyötä. Ammattikorkeakouluissa varsinkin tekniikan aloilla tehdään paljon tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio (TKI) -työtä yritysten toimeksiannosta. Tällaiset toimeksiannot ovat usein lyhyitä ”täsmäprojekteja”, jossa tehdään tuotekehitystä, selvitys tai joku muu yrityksen selkeästi määrittelemä tehtävä. Usein ammattikorkeakoulun asiantuntijoilla on pitkä kumppanuussuhde toimeksiantoja tarjoavan yrityksen kanssa. Julkisen tutkimusrahoituksen

hankkeet voivat olla esimerkiksi teknologiakehittämistä tai opetusmenetelmien, koulutusraken-
teiden ja -mallien kehittämistä. Opetussuunnitelma on asiakirja, joka ohjaa koulutusta strategi-
sella tasolla. Sen pitää mahdollistaa opetuksen ja TKI-työn integrointi. Opetussuunnitelmia ke-
hitetään yhä enemmän osaamisperusteisiksi. Erilaisilla moduulimuotoisilla rakenteilla pyritään
mahdollistamaan joustavat ratkaisut ja TKI-työn integraatio opintojaksoihin.

Käytännössä ammattikorkeakouluopiskelijat osallistuvat TKI-työhön opinnäytetöiden, harjoit-
teluiden ja opintojaksoilla tehtävien projektitöiden kautta. Opetus- ja kulttuuriministeriölle
(OKM) kerätään tietoa TKI-hankkeissa suoritetuista opintopisteistä. Erilaiset pedagogiset rat-
kaisut tähtäävät paitsi parempaan oppimiseen myös mahdollisuuteen integroida TKI-työ ope-
tukseen. Opiskelijoiden osallistuminen TKI-työhön opettaa heille sekä tutkimus- ja kehittämis-
taitoja että projektityöskentelyn taitoja. Viesti yrityksistä on selvä eli projektityötaitoja tarvitaan.
Pedagogisia ratkaisuja ja niiden variaatioita on paljon ja joskus niiden väliset erot eivät näyttäydy
ulkopuoliselle kovinkaan merkittävinä. Yksi tunnetuimmista on Problem Based Learning (PBL),
jota paikallisena sovelluksena on toteutettu esimerkiksi Lahden ammattikorkeakoulun mekatro-
niikan koulutusohjelmassa menestyksekkäästi 12 vuotta. PBL on myös toteutettu yli 10 vuotta
Metropolian ympäristöanalytiikan opintojaksolla. Siinä opiskelijaryhmät hakevat työympäris-
töön liittyviä tai luonnossa esiintyviä todellisten ongelmien ratkaisuja. ”Learning by Develop-
ping” on taas Laurea ammattikorkeakoulun oppimisen toimintamalli.

Insinöörikoulutuksen CDIO-malli (Conceive – Design – Implement - Operate), eli hahmot-
taa – suunnitella – toteuttaa – hyödyntää, on noussut tärkeäksi työkaluksi monessa johtavas-
sa tekniikan yliopistoissa mutta myös nk. tavallisissa yliopistoissa maailmalla. CDIO:n tavoite
on kehittää koulutusta vastaamaan työelämän vaatimuksia. Metropolia ammattikorkeakoulussa
CDIO-projekteja on tehty jo useamman vuoden ja tulokset ovat olleet hyviä. Projektien aiheet
ovat todellisia ja lähtöisin yrityksistä. Projektien osallistujat kootaan eri koulutusohjelmista ja
sitä kautta saadaan tarvittavaa eri alojen osaamista. CDIO-projektissa opiskelija näkee koko
'ideasta tuotteeksi' -kaaren ja saa arvokasta kokemusta todellisen yritysprojektin läpiviennistä.
Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan koulutusala on hyväksytty ohjelmaan vuonna 2010.

TKI-työn ja opetuksen integrointiin liittyviä hankkeita on ollut ja tulee edelleen olemaan lukuisia.
Hankkeissa paitsi kehitetään pedagogisia ratkaisuja ja oppimisympäristöjä edistämään opiskeli-
joiden osallistumista tutkimus- ja kehitystoimintaan, myös keskitytään innovaatiotoiminnan ja
yrittäjyyden edistämiseen (esimerkiksi Toivola 2010). Yritysten kanssa tehtävät kehittämisprojektit
ja yrityskumppanuudet ovat usein keskiössä. Erilaiset ”klinikat” tai vastaavat oppimisympäristöt
auttavat viemään TKI-projektit pois ”arkisesta” kouluympäristöstä ja rauhoittamaan opiskelijoil-
le tila ja aika projektien tekemiseen. Se on myös viesti siitä, että nyt toimitaan toisella tavalla!

Ammattikorkeakouluissa on erilaisia hallinnollisia ratkaisuja TKI-toiminnalle. Usko keskitet-
tyyn malliin on luonut TKI-toiminnan keskusyksiköitä. Koska osaaminen ja opiskelijat ovat
koulutusaloilla, keskitetyt mallit johtavat usein TKI-projekteihin, jotka ovat irrallaan ammatti-
korkeakoulun koulustoittoinnasta ja hallinto korostuu toiminnan kustannuksella. Opettajien
osallistuminen hankkeisiin on tärkeää, sillä sitä kautta uusi tieto siirtyy suoraan opetuksen sis-
ällöiksi (tai ainakin pitäisi!) ja opetussuunnitelmatyöhön eikä tieto, kokemus ja verkostot ka-
toa hankkeen loputtua.

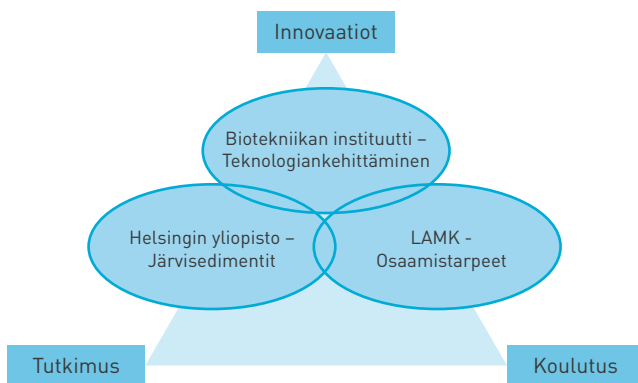
YMLI käytännössä: harjoittelua, koulutussisältöjen kehittämistä ja osallistumista

Lahden ammattikorkeakoulun toiminta YMLI-hankkeessa koostui opiskelijaprojekteista, koulutusmateriaalin luomisesta ja testaamisesta sekä aktiivisesta osallistumisesta työpajoihin ja seminaareihin. YMLI-hankkeessa oli Lahden ammattikorkeakoulusta mukana yliopettaja Silja Kostia, joka vastasi osahankkeen johdosta ja raportoinnista. Opiskelijaprojektien ohjaukseen osallistui tutkijoita ja laboratoriohenkilökuntaa Helsingin yliopiston ympäristötieteiden laitokselta ja Biotekniikan Instituutista. Kaikki opiskelijaprojektit liittyivät DNA-mikrosirun kehittämiseen. DNA-mikrosiruteknologiasta kerrotaan tarkemmin muualla tässä julkaisussa. Fyysisesti työtä tehtiin joko Lahdessa Helsingin yliopiston Ympäristötieteiden laitoksen laboratoriossa tai Biotekniikan instituutissa Helsingin Viikissä, mikä aiheutti haasteita työn organisoinnissa ja ohjaamisessa.

Verrattuna yrityksille tehtäviin suoriin toimeksiantoihin, tutkimushankkeissa tehtäviin projekteihin liittyy usein suurempi riski aikataulujen venymisestä. Näin tapahtui jokaisen opiskelijaprojektin yhteydessä. Ensimmäisessä DNA-mikrosiruprojektissa oli mahdollisuus jatkaa harjoittelijan työsuhdetta ja projektia vielä valmistumisen jälkeen. Tästä viisastuneena toinen ja kolmas projekti yhdistettiin niin, että 1. harjoittelija teki projektin alkuosan ja 2. harjoittelija loppuosan. Tämä järjestely toi mukanaan omia haasteita, mutta mahdollisti isomman projektin tekemisen.

Opiskelijaprojekteissa 2 ja 3 oli Helsingin yliopistosta mukana tutkimusryhmä, joka tutkii rehevöityneen järvisedimentin käsittelyä ja oli kiinnostunut saamaan tietoa käsittelyn ja käsittelemättömien syvänteiden mikrobiyhteisöistä (kuva 1). Biotekniikan instituutti toi projekteihin teknologiaosaamisen ja uusimmat DNA-mikrosiruihin liittyvät innovaationsa. Järvisedimentistä otetuista näytteistä selvitettiin lajisto pyrosekvensoinnin avulla ja suunniteltiin koettimet DNA-mikrosirua varten (Halttunen 2010). DNA-koettimia testattiin synteettisellä DNA:lla kahdella eri tekniikalla (Avelin 2010). Ensimmäisessä opiskelijaprojektissa oli mukana tutkimuspartnerina

Opiskelijaprojektit osaamiskolmiossa



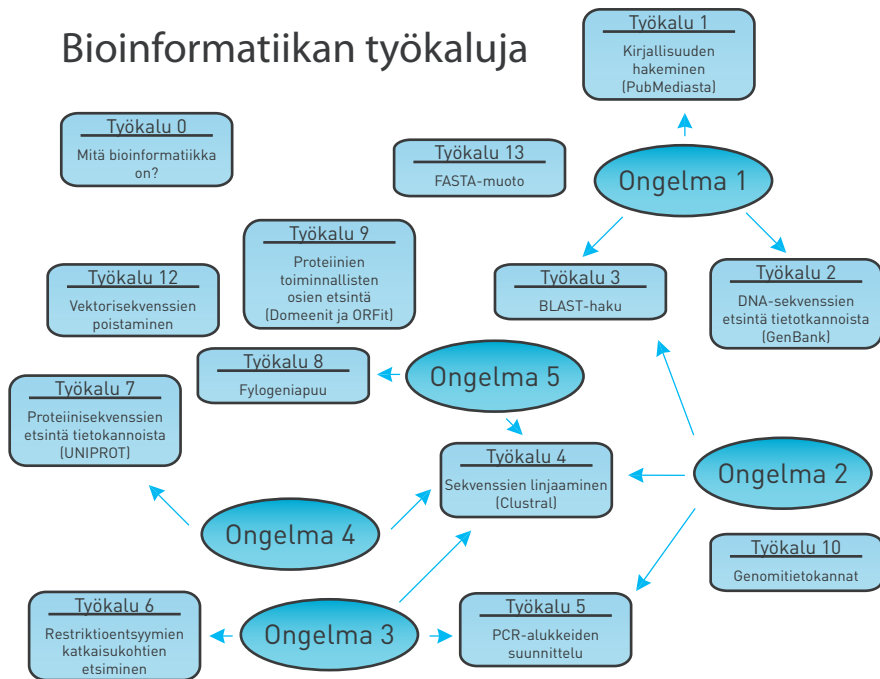
Kuva 1. Osaamiskolmion toteutuminen YMLI:n opiskelijaprojekteissa.

Terveyden- ja hyvinvoinnin laitos Kuopiosta ja sen aiheena oli hometalokroonien suunniteltujen DNA-koettimien testaaminen (Tonteri 2009).

YMLI-hankkeessa kehitettiin myös koulutusmateriaalia (kuva 2). Nykyisillä analyysimenetelmillä pystytään tuottamaan tietoa niin isoja määriä, että pullonkaulana on tuotetun tiedon käsittely. Bioinformatiikan työkalujen avulla voidaan etsiä (louhia) tietokannoista olemassa olevaa tietoa ja käyttää sitä esimerkiksi DNA- mikrosirujen kehittämiseen. Koulutusmateriaali testattiin Lahden ammattikorkeakoulun opiskelijoilla ja kehitettiin edelleen palautteen perusteella.

Opiskelijaprojektin toimijat on kuvattu osaksi osaamiskolmiota, joka yhdistää tutkimuksen, koulutuksen ja innovaatiotoiminnan (kuva 1). Osaamiskolmio (Knowledge Triangle) on perusta Eurooppalaisen korkeakoulutuksen modernisoinnille ja Euroopan kehittymiselle osaamisen huippualueeksi. Myös Tutkimus- ja innovaatiopoliittisessa linjauksessa vuosille 2011–2015 korostetaan koulutuksen, tutkimuksen ja innovaatiotoiminnan yhteyttä (Tutkimus- ja Innovaationeuvosto 2010). YMLI-hankkeessa tehdyissä opiskelijaprojekteissa yhdistyivät koulutus, tutkimus ja innovaatiot. Yritysten mukana olo aktiivisemmin olisi ollut hyvää lisä.

Metropolia ammattikorkeakoulussa tutkittiin YMLI-hankkeen puitteissa VTT:n kehittämien uusien biomateriaalien hajoamista kompostoinnin avulla (kuva 3). Komposiittimateriaalien hajoamista



Kuva 2. Bioinformatiikan koulutusmateriaalin etusivu, jossa työkalut ja ongelmat linkittyvät.



Kuva 3. Metropolia ammattikorkeakoulussa tutkittiin YMLI-hankkeen puitteissa uusien biomateriaalin hajoamista kompostoinnin avulla. Carola Fortelius hämmentää kompostia.

seurattiin fysikaalisin mittauksin samalla kuin mikrobiyhteisön koostumus kartoitettiin molekyylibiologisin keinoin ja entsyymaattisia profileja määritettiin. Hankkeen aikana tutkittiin myös eri jätteidenkäsittelylaitosten työilman laatua. Perinteisten hygieniamittausten lisäksi mitattiin ilman endotoksiinipitoisuuksia eri kompostointilaitoksilla (kuva 4). Endotoksiinit ovat Gram negatiivisten bakteerin soluseinämän myrkyllisiä lipopolysakkaridejä, jotka vapautuvat bakteerin hajotessa. Jätevesilaitoksissa ja kiinteiden jätteiden käsittelyssä endotoksiinipitoisuudet ovat selvä terveysriski työntekijöille. Ne aiheuttavat ihmisissä toksisia reaktioita kuten kuumetta, valkosolujen niukkuutta sekä korkeimmissa pitoisuuksissa endotoksiinisokin. Endotoksiinimääritykset ovat yleensä työläitä ja hankalia suorittaa. Hankkeen yksi tavoite oli kartoittaa markkinoilla olevia määrittymenetelmiä ja selvittää niiden soveltuvuutta rutiinimittauksiin.

Metropoliassa YMLI-hankkeeseen osallistui kolme suomalaista ja neljä ulkomaalaista vaihtopiskelijää Bio- ja elintarviketekniikan opettajan Carola Forteliuksen ja laboratorioinsinööri Tommi Kempaksen lisäksi. Kompostointikokeet tehtiin yhteistyössä VTT:n ja mikrobikartoitukset Helsingin yliopiston Biotekniikan instituutin kanssa.

Oppimisprosessi opiskelijalle ja opettajalle

Ammattikorkeakouluopiskelijoiden harjoittelujakso on noin puoli vuotta ja opinnäytetyö 10 viikkoa kokopäivätoimisesti työskenneltäessä. Käytännössä opinnäytetyö yhdistetään usein harjoittelujaksoon tai osaan siitä, mikä mahdollistaa paneutumisen tutkittavaan asiaan syvällisemmin. Varsinkin laboratoriomenetelmien oppiminen niin, että opiskelija voi työskennellä itsenäisesti, saattaa viedä aikaa 3–4 viikkoa tai jopa kauemmin.

Suurin osa opiskelijoista suorittaa harjoittelujakson yrityksessä. Osa opiskelijoita työskentelee harjoittelujaksonsa aikana tutkimushankkeissa joko ammattikorkeakouluissa, yliopistoissa tai muissa tutkimuslaitoksissa. Myös yrityksissä tehtävät työt voivat olla TKI-työtä. TKI-hankkeisiin hakeutuvat opiskelijat ovat usein tutkimus- ja kehittämisorientoituneita eivätkä hae harjoittelupaikkaa, jossa voi saada ”jalan oven väliin” johonkin yritykseen. Monelle opiskelijalle harjoittelujakso (ja opinnäytetyö) alan yrityksessä aukaisee oven tulevaan työpaikkaan. Toisaalta työskentely koulutus- ja tutkimusorganisaatioiden TKI-hankkeissa saattaa antaa opiskelijalle tietoja ja taitoja, joita yrityksissä ei vielä ole, mutta joita ajatellaan tulevaisuudessa tarvittavan kun kehitetään uusia palveluita ja liiketoimintaa. Joku erityinen jopa marginaalinen, TKI-hankkeessa hankittu taito saattaakin ratkaista työpaikan saannin.



Kuva 4. Isompien kompostointilaitosten työhygienian seurantaan tarvitaan monipuolisia mittauksia. Kuvassa Metropolian opiskelijat ottamassa näytteitä Helsingin veden kompostoidusta jätelietteestä Metsäpirtissä.

YMLI-hankkeen ammattikorkeakouluharjoittelijoiden ja opinnäytetyöntekijöiden kommentteja:

”Parasta antia opinnäytteen tekemisessä ja YMLI-projektissa oppimismäkökulmasta oli työskentely vaativassa ja pitkäkestoisessa projektissa, jossa oppi mm. pitkäjänteisyyttä sekä ajankäytön- ja stressinhallintaa. Lisäksi projektissa pääsi hyödyntämään aiemmin opittua ja lisäksi oppi valtavasti uusia asioita. Suurimmat negatiiviset puolet liittyivät tiedon etsintään ja sen sulatteluun. Välillä joihinkin asioihin oli todella vaikea löytää vastauksia ja tieto oli välillä melko vaikeasti ymmärrettävää. Projektin aikana oppi myös paljon itsestä.”

Atte Halttunen

”Tutkimushankkeessa työskentely kehitti itsenäistä työskentelyä sekä oppimista ja tietojen käsittely/etsimistaitoja, koska ongelmiin ei ollut valmiita ratkaisuja ja niitä piti yrittää selvittää. Hanke antoi mahdollisuuden tehdä opinnäytetyön erittäin spesifisestä aiheesta ja oppia käytännön sovelluksen kehittämistä, mitä pidän erittäin arvokkaana tulevaisuuden kannalta. Huonona puolena kokisin sen että hanke oli melko laaja ja mukana pystyi olemaan vain rajoitetun ajan, joten kysymyksiä jäi vielä ilman vastauksia ja lopputulos hieman kesken, joka oppimisen kannalta ei paras mahdollinen ratkaisu. Toisaalta se, että hanke oli laaja, oli myös hyvä asia, koska sai käsityksen laajemmasta kokonaisuudesta.”

Venla Avelin

”Oli niin mielenkiintoista työskennellä kokeneiden tutkijoiden kanssa ja nähdä miten todellinen tutkimusongelma lähdetään ratkaisemaan. Samalla koin, että minunkin työpanoksella oli merkitys, suoritin oman osuuteni isomman kokonaisuuden selvittämisestä”

Paula Maanselkä

YMLI-hanke ja muut samankaltaiset tutkimushankkeet mahdollistavat opettajalle oman osaamisen hyödyntämisen ja kehittämisen. Käytännössä tämä tarkoittaa oman substanssialan seuraamista, verkottumista, kansainvälisiä kontakteja ja mahdollisuuden osallistua oman alan konferensseihin sekä mahdollisuutta julkaisuihin. Projektit myös tuottavat sisältöä koulutukseen. Mikkelin ammattikorkeakoulussa päätoimisesti tutkimustyötä tekevän henkilöstön työtyytyväisyyttä tutkittaessa havaittiin, että oman osaamisen hyödyntäminen ja kehittäminen on tärkein työtyytyväisyyteen vaikuttava tekijä. TKI-toimintaan osallistuvat opettajat oli rajattu kyseisen tutkimuksen ulkopuolelle (Turkki 2005). Ammattikorkeakoulun opettajat osallistuvat TKI-projekteihin yleensä nk ”osa-aikaisina” eli heidän vuoden työajastaan ja palkastaan tulee esimerkiksi 15 % projektista, jolla on ulkopuolinen rahoitus. Oman alan seuraaminen ja TKI-tyo tehdään useimmiten opiskelijoiden työn kautta eli ohjaamalla projektitoita, harjoittelua ja opinnäytetoita. Haasteena on aikataulutusta eli kouluvuoden ja projektivuoden yhteensovittaminen. Arviointijaksot työllistävät usein niin, että aikaa projektille ei riitä normaalien virkatyöajan puitteissa. Tarvitaan joustoa joskus todella paljon. Yleensä resursoidut tunninit eivät riitä ja varsinkin julkaisujen kirjoittaminen täytyy enemmän tai vähemmän tehdä nk. omalla ajalla.

Osaamistarpeita ja rakenteellista kehittämistä

Yksi ammattikorkeakoulujen haasteista on varmistaa tehokas tiedon siirto yritysiltä uusista osaamistarpeista ja vanhojen päivityksestä. Sen lisäksi on varmistettava joustavilla opintosuunni-

telmilla ja ammattikorkeakoulujen sisäisten kanavien toimivuudella uusien osaamistavoitteiden integroiminen osaksi koulutuksen sisältöjä. Keinoja tiedon siirtoon ovat muun muassa työelämänneuvottelukunnat, henkilökohtaiset kontaktit sekä harjoittelijoista ja oppinäytetyöntekijöistä saatu palaute. Tärkeä osuus on myös ennakkoinnilla eli erilaisten signaalien keräämisellä, tiiviillä vuorovaikutuksella valmistuneiden ja työelämään siirtyneiden entisten opiskelijoiden kanssa ja työllistymisen seuraamisella.

TKI-hankkeet yliopistojen ja yritysten kanssa mahdollistavat kurkistuksen yritysten TKI-työhön. Osassa hankkeista yritykset ovat mukana kehittämässä itselleen uutta liiketoimintaa ja osassa taas seuraamassa missä mennään tutkimuskentällä. Jälkimmäiset hankkeet ovat useimmiten yliopistojen vetämiä, mutta partneruuksien kautta ammattikorkeakouluilla on mahdollisuus päästä mukaan. Näissä hankkeissa on mahdollisuus kerätä signaaleja tulevasta ja toimia koulutuksen kehittäjänä proaktiivisesti.

Tulevaisuudessa mittaustekniikat ovat yhä hienostuneempia, laitteistot kalliimpia ja osaaminen erikoistuneempaa. Koko toiminta tulee olemaan yhä globaalimpaa. DNA-tiedon lisäksi myös näytteet kulkevat helposti toiselle puolelle maapalloa, jos se takaa laadukkaan palvelun. Kysyntä ja käyttäjälähtöisyyden merkitys kasvaa eikä enää kehitetä teknologiaa ja myydä sitä asiakkaalle vaan etsitään asiakkaalle hänen tarpeisiinsa soveltuva ratkaisu. Tämä vaatii insinööreiltä kykyä toimia verkostomaisesti ja koulutukseen paineita opettaa uusia tapoja toimia.

Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen rakenteellinen kehittäminen tähtää isompiin yksiköihin ja osaamiskeskittyymiin (mm. Tutkimus- ja innovaatiopoliittinen linjaus 2010). Laboratorio-opetus on kallista ja tutkimusinfrastruktuurin ylläpito ja uusiminen vaativat isoja investointeja. Toisaalta laboratoriokurssit ja projektityöt tarjoavat konkreettista tekemistä ja mahdollisuuden ilmiöiden havainnollistamiseen ja omakohtaiseen tekemiseen ja oivaltamisen yhdistämiseen.

Opintojaksopalautteissaan ammattikorkeakouluopiskelijat tuovat jatkuvasti esille että he ovat valinneet tämän opiskelumuodon koska he oppivat tekemällä ja siksi teorian soveltamista käytännön laboratorioharjoitusten avulla on hyvä oppimiskeino. Kun laboratoriotyöskentely ei ole pelkästään keksittyjen harjoitustöiden suorittamista, vaan liittyy todellisiin projekteihin, saaduilla tuloksilla on suurempi merkitys ja tekeminen koetaan mielekkääksi.

Uudet tekniikat ja menetelmät vaativat tuekseen koulutusta sekä asiakkaille että tekijöille. Asiakkaan tulee ymmärtää, millaista tietoa esimerkiksi DNA-mikrosiruilla voidaan saada ja millaisiin kysymyksiin sillä taas ei voida vastata. Asiakas voi olla esimerkiksi viranomainen, konsultti tai vaikka toisen alan tutkija, joka pohtii, saisiko DNA-mikrosiruilla jotakin lisäarvoa tutkimusongelman ratkaisemiseen. Sirujen kehittäminen ja analytiikka vaativat sekä laboratorio-osaamista, laiteosaamista että bioinformatiikan työkalujen hallintaa.

Yhteenveto ja jatkoajatuksia

YMLI oli rahoittajan mukaan tutkimuspainotteisempi kuin EAKR-hankkeet yleensä. Hankkeessa olikin mukana paljon tutkijoita ja opiskelijoita. Opettajalle YMLI-hanke mahdollisti sekä mittaus- ja analyysimenetelmien kehittämiseen että kehittämisen seuraamiseen osallistumisen. Koulutuksen sisältöihin ja ennakkointiin oli mahdollisuus kerätä ideoita, saada uusia kontakteja ja verkottua.

YMLIssä kehitettiin hyvin erilaisia ja erilaisessa kehitysvaiheessa olevia menetelmiä. Tämä näkyi myös yrityspartnereiden osallistumisesta kehitystyöhön. Myös muita eroja eri menetelmien välillä on eli DNA-näyte on helppo lähettää toiselle puolelle maapalloa analysoitavaksi, mikä ei ole mahdollista esimerkiksi ilma- tai vesinäytteille. DNA-mikrosirua saatiin hankkeen aikana kehitettyä eteenpäin, mutta harmittavan paljon jäi myös kesken. Yritysedustajan mukaan asiakkaiden kyselyt DNA-menetelmiin perustuvista analyysimenetelmistä ovat lisääntyneet tasaisesti viime vuosien aikana. Ympäristöinsinöörit eivät tee itse DNA-mikrosiruanalytiikkaa tai pitkälle viety endotoksiinianalytiikkaa, mutta ideana on, että he ymmärtävät millaisiin tilanteisiin kyseiset menetelmät sopivat ja osaavat tuoda omille asiakkailleen tarvittavan tiedon. YMLI-hankkeessa mukana olo mahdollisti koulutuksen sisältöjen kehittämisen ja tulevaisuuden osaamistarpeiden kartoituksen ja voidaan siis sanoa, että mukana olo kannatti!

Lähteet

- Avelin, V. (2010). DNA-koettimien testaus ympäristösirua varten. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24539/Avelin_Venla.pdf?sequence=1
- Halttunen, A. (2010). DNA-koettimien suunnittelu järvisedimentin mikrobien tunnistamiseksi LDR-sirulla. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23445/Halttunen_Atte.pdf?sequence=1
- Tonteri, O. (2009). Testing fungal DNA on ligation detection reaction microarray. Bachelor's thesis. Lahti university of applied sciences. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/6996/Tonteri_Ossi.pdf?sequence=1
- Toivola T. (2010). Yhdessä tekemällä. 11 tapaa linkittää T&K ja oppiminen. HAAGA-HELIA ammattikorkeakoulu.
- Turkki, P. (2005). Tutkimus- ja kehityshenkilöstön tyytyväisyys palkitsemiseen ammattikorkeakoulussa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. A 18.
- Tutkimus- ja innovaatiopoliittinen linjaus 2011–2015. Tutkimus- ja innovaationeuvosto 2010. Saatavissa: http://www.minedu.fi/OPM/Tiede/tutkimus-_ja_innovaationeuvosto/julkaisut/linjaus2011-2015.pdf

Uudet ympäristömittausmenetelmät – haasteita, mahdollisuuksia ja liiketoimintaa -raportti on toteutettu osana YMLI-hanketta. YMLI (Uudet ympäristömittausmenetelmät liiketoimintamahdollisuutena) on Etelä-Suomen EAKR-ohjelman rahoittama hanke, jonka tavoitteena oli kehittää, testata ja tuotteistaa uusimpia ympäristötutkimusmenetelmiä. Koordinaatiovastuu hankkeesta oli Helsingin yliopiston (HY) ympäristötieteiden laitoksella Lahdessa. Muita toteuttajia olivat Lammin biologinen asema (HY), Biotekniikan instituutti (HY), Lahden ja Hämeen ammattikorkeakoulut ja Metropolia ammattikorkeakoulu, Suomen ympäristökeskus, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus sekä mukana olevat yritykset.

Raportissa YMLI-hankkeen toimijat kertovat tuloksista, kokemuksista hankkeessa toimimisesta ja jatkokehitysajatuksista. Raportin alussa yritysedustaja pohtii, mikä tekee mittaamisesta liiketoimintaa. Reaaliaikaisen mittaamisen haasteita ja mahdollisuuksia sekä tiedon tallentamiseen ja visualisointiin liittyvien ratkaisujen kehittämisestä kerrotaan kahdessa artikkelissa. Metagenomiikasta ja DNA-mikrosiruista ympäristön mikrobien määrittämisessä sekä lentoaikamassaspektrometrian mahdollisuuksista ympäristön haitta-aineanalytiikassa kertovat analyysimenetelmien kehittämistä. Hankkeen tavoitteena oli myös yhdistää tutkimus- ja koulutusosaamista edistämään uusien mitta- ja analyysimenetelmien tunnettuutta. Raportissa kuvataan myös ammattikorkeakouluopiskelijan ja -opettajan kehittymismahdollisuuksista YMLI-hankkeesta.



Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarjat

A Tutkimuksia

B Oppimateriaalia

C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut

ISSN 1457-8328

ISBN 978-951-827-124-9