



Vesijärven automaattiasemien vertailunäytteenotto

KALIBROINTIRAPORTTI MITTAUSKAUSILTA 2010 ja 2011

Raportin laatijat: Mirva Ketola, Kirsi Kuoppamäki ja Timo Kairesalo

Näytteenottajat ja laboratorioanalyysit: Tuukka Rynnänen, Perttu Tamminen, Juhani Järveläinen, Viljami Viippola, Grażyna Bręk-Laitinen, Santeri Savolainen, Marianne Lehtonen ja Jukka Pellinen

TIIVISTELMÄ

Mittaustekniikan ja tiedonsiirron kehittymisen myötä vedenlaadun seuranta voidaan nopeuttaa ja tehostaa sekä havaintojen määrää kasvattaa moninkertaiseksi perinteiseen vesinäytteenottoon ja laboratorio-mittauksiin verrattuna. Esimerkiksi klorofylli *a* -pigmentin fluoresenssin automaattinen mittaus mahdollistaa levämäärien reaaliaikaisen *in situ* -seurannan vesistöissä. Vesijärven Enonselällä tällaisia antureita on kaikkiaan viidessä eri pisteessä ja lisäksi Kajaanselällä yhdessä pisteessä, joten Vesijärveltä saadaan tietoa paitsi ajallisesta myös alueellisesta levämäärien vaihtelusta. Aiemmin yhdellä lautalla (Ruoriniemi) ja mittauksella 2011 kahdella lautalla (Harvasaari, Lankiluoto) mitataan lisäksi sinileville eli syanobakteereille ominaisen fykosyaniini-pigmentin fluoresenssia. Osana Järvien vedenlaatu palvelu -hanketta (=JVP; TEKES, Vesi-ohjelma) Helsingin yliopisto kehittää levämäärien automaattisen mittauksen kalibrointikäytäntöä ja aineiston laadunvarmennusta. Tässä raportissa yhdistetään mittauskausien 2010 ja 2011 kokemukset. Käytännössä järvestä otettiin avovesikausina vertailunäytteitä, joita verrattiin lauttojen anturien vastaavassa paikassa, vastaavina ajankohtina tekemiin mittauksiin. Myös lauttojen happi- ja lämpötilamittauksia verrattiin perinteiseen kenttämittausmenetelmään.

Lautoilla on ollut käytössä vaihtelevia kertoimia fluoresenssin muuttamiseksi klorofyllipitoisuudeksi. Aineiston analysoinnissa keskityttiin kertoimettomaan raakadataan uusien korjausyhtälöiden laskemiseksi. Lauttojen mittaama klorofyllin fluoresenssi selitti heikosti laboratorioissa saatuja klorofylli-*a* pitoisuuksia, etenkin vuonna 2010, jolloin syanobakteerit yleistyivät syksyä kohden. Fykosyaniinin fluoresenssin lisääminen selittäväksi muuttujaksi paransi vastaavuutta huomattavasti. Vuonna 2011 syanobakteerien määrä oli vähäinen, ja klorofyllin fluoresenssi vastasi paremmin laboratorioissa mitattuja arvoja kuin vuonna 2010. Silti fykosyaniinin huomioiminen korjausyhtälössä paransi vastaavuutta. Valon lisääntyminen keskipäivällä vaikutti klorofyllin fluoresenssiin alentavasti. Yhteys ei kuitenkaan ollut yhtä voimakas loppukesällä kuin alkukesällä, ja myös vuosien välillä oli eroavaisuuksia. Valon vaikutus ei ole vakio ja se on vain yksi monista fluoresenssia häiritsevistä tekijöistä. Jos valaistus halutaan poistaa mahdollisena virhetekijänä, varminta on käyttää yöaikana saatuja mittaustuloksia. Antureiden puhdistusväli oli myös oleellinen mittauksiin vaikuttava tekijä. Etenkin keväällä 2011 puhdistusväli oli liian pitkä, mikä ilmeni fluoresenssin nousuna ja selvänä tason laskuna heti puhdistuksen jälkeen. Tästä syystä osa kevään aineistoa oli hylättävä.

Happi ja lämpötila mittausasemilla vastasivat kokonaisuudessaan varsin hyvin vertailunäytteitä. Osa Enonselän happiantureista näytti kuitenkin liian suuria pitoisuuksia, johtuen mittausvasteen muutoksista tai anturin kalvossa olleista vaurioista. Näitä ongelmia ilmeni etenkin syksyllä kerrostumisen purkauduttua. Syvimpien anturien riesana olivat puolestaan pohjakosketukset lauttojen liikkeessä, etenkin vuonna 2010.

1. TAUSTAA

Laadunvarmennus tarkoittaa kaikkia niitä toimenpiteitä, joita ympäristön tilan seurannassa ja tutkimuksessa on tehtävä, jotta tulokset vastaisivat todellista tilannetta (tarkkuus, absoluuttisesti oikeat arvot) ja olisivat keskenään vertailukelpoisia. Oikeat mittaukset mahdollistavat ympäristössä tapahtuvan ajallisen ja alueellisen vaihtelun seurannan. Mittaustuloksiin liittyy aina eri tekijöistä johtuvaa epävarmuutta, mikä on otettava huomioon ja arvioitava. Aineiston keräämisessä edellä mainitut näkökohdat ovat keskeisiä ympäristövalvonnan kannalta. Ne ovat tärkeä edellytys myös ympäristömallinnukseen käytettävän syöttödatan luotettavuuden selvittämiseksi. Osana Järvien vedenlaatu palvelu -hanketta (TEKES, Vesi-ohjelma) Helsingin yliopisto kehittää erityisesti klorofylli *a* -mittauksen kalibrointikäytäntöä (Vakkilainen ym. 2010; Anttila ym. 2012a ja b).

Upotettavilla fluorometreillä vesiekosysteemien klorofyllipitoisuuksia on tutkittu jo 1960-luvulta lähtien (Lorenzen 1966). Menetelmällä on saatu erinomainen vastaavuus laboratorioissa mitattuihin klorofyllipitoisuuksiin nähden erityisesti silloin, kun fluoresenssi mitataan useilla eksitaatio- ja emissioaallonpituuksilla (Gregor ym. 2005). Toisaalta on myös havaittu, että fluoresenssin eikä aina edes klorofyllin avulla voida välttämättä luotettavasti arvioida kasviplanktonin biomassaa (Kruskopf & Flynn 2006). Fluoresenssi on klorofyllin fluoresenssin suuruus, ei suoraan klorofyllin pitoisuus saatikka kasviplanktonin biomassaa. Jo lähes 40 vuotta sitten havaittiin, ettei fluoresenssi ole vakio vaan vaihtelee lajiston, valaistuksen, ravinteiden saatavuuden ja solukoon mukaan (referoitu julkaisussa Richardson ym. 2010). Levämäärien tulkinta fluoresenssin perusteella on haastavaa eikä yksinkertaisia mittaustulkintoja ole, vaikka sellaisten käyttö olisikin houkuttelevaa (ACT 2005). Fluoresenssin mittaustulokseen vaikuttavat kasviplanktonin fysiologia, ulkoiset ympäristötekijät, sensorin eksitaatiotyyppi, sekä eri kasviplanktonilajien vaste erilaisille eksitaatio-spektreille (Seppälä & Balode 1998; ACT 2005).

Kasviplanktonin lajikoostumus muuttuu voimakkaasti kasvukauden aikana. Esimerkiksi sinilevillä eli syanobakteereilla suurin osa klorofylli *a* -pigmentistä sijaitsee ei-fluoresoivassa fotosysteemi I:ssä. Tämä voi johtaa klorofyllipitoisuuden aliarvioon aikoina, jolloin kasviplanktonissa vallitsevat syanobakteerit (Campbell ym. 1998; Seppälä ym. 2007; Lepistö ym. 2010). Ilmiötä on yritetty korjata ottamalla klorofylli-*a* fluoresenssin ja vertailunäytteiden välisessä regressiossa selittäväksi tekijäksi syanobakteereille tyypillisen fykosyaniini-pigmentin fluoresenssi (Seppälä ym. 2007; Lepistö ym. 2010). Fykosyaniini on syanobakteereille tyypillinen yhteyttämisen apupigmentti. Juuri fykosyaniini antaa syanobakteereille niiden tyypillisen sinertävän värin, mikä on havaittavissa solujen tai levämässän hajotessa. Fykosyaniinin fluoresenssia voidaan mitata klorofyllin fluoresenssin tapaan käyttäen eri aallonpituusalueita. Klorofyllin ja fykosyaniinin emissiospektrit ovat kuitenkin osittain päällekkäisiä (Seppälä ym. 2007), joten klorofyllipitoisuuden ollessa korkea esimerkiksi piilevien kevätukukinnan aikana, myös fykosyaniinin fluoresenssi voi nousta, vaikkei vedessä olisikaan syanobakteereita. Fykosyaniinin fluoresenssiin vaikuttavat myös lajikoostumus sekä kasvuolosuhteet (Seppälä ym. 2007). Fykosyaniinin fluoresenssin muuntaminen syanobakteeribiomassaksi vaatii siis säännöllisiä vertailunäytteitä, mutta pitoisuuteen perustuvaa luotettavaa analyysimenetelmää ei ole saatavilla samalla tavoin kuin klorofyllille. Näin ollen vertailuun on käytetty mikroskooppilaskennalla saatua biomassaa, mikä sekään ei ole aivan ongelmaton (Seppälä ym. 2007).

Rajoitteistaan huolimatta fluoresenssi on kuitenkin hyvä apuväline arvioitaessa klorofyllipitoisuutta, kun mittaus tehdään huolellisesti ja otetaan huomioon edellä mainitut, mittaukseen vaikuttavat tekijät. Mittaustulosten kalibrointi on aina välttämätöntä ja se on suoritettava riittävän usein ja säännöllisesti otettujen vertailunäytteiden avulla (Seppälä ym. 2007; Lepistö ym. 2010; Richardson ym. 2010). Huolellisesti tehty seuranta mahdollistaa myös mallinnuksen kehittämisen, jonka avulla voidaan ennustaa esimerkiksi levien määrää ja rakentaa ns. early-warning eli alustavan varoituksen antavia signaalityyppejä hälytysjärjestelmiä (Richardson ym. 2010). Jatkuvatoiminen mittaus auttaa myös järven tilan seuranta ohjaamalla vesinäytteenotto järvestä tapahtuvien erilaisten ilmiöiden kannalta kiinnostaviin ajankohtiin, paikkoihin ja/tai syvyksiin (vrt. Lepistö ym. 2010). Esimerkiksi Vesijärven Enonselällä klorofyllipitoisuudessa on huomattavia alueellisia eroja (Horppila ym. 1998; Anttila ym. 2008), joiden syitä ja seurauksia jatkuva-toiminen mittaus voi ihannetapauksessa selventää.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Lauttojen anturit ja sijainti

Vesijärvellä on kuusi automaattista mittausasemaa. Vuonna 2010 Enonselällä mittaaslauttoja oli kaikkiaan viidessä pisteessä: Lankiluoto, Enonsaari, Myllysaari, Ruoriniemi sekä Paimelanlahti. Vuonna 2011 Ruoriniemen lautta siirrettiin Harvasaaren edustalle (Kuva 1). Kajaanselällä on yksi asema, jolla aloitettiin mitaustoiminta 9.6.2010. Kajaanselän lautan sijainti ja ankkurointi syvänteellä isolla selällä oli ongelmallinen, ja myrskytuulilla lautta saattoi siirtyä. Niinpä se laitettiin hieman matalampaan paikkaan keväällä 2011. Kalastajien pyynnöstä lauttaa jouduttiin siirtämään vielä uudelleen 8.7.2011 (Kuva 1).

Jokainen lautta mittaa tunnin välein veden lämpötilaa, happipitoisuutta ja klorofylli a – fluoresenssia. Kunkin lautan klorofylli-tulos pohjautuu lähes 2000 fluorometrimittauksen keskiarvoon 30 sekunnin havaintojaksolta (M. Kiirikki, Luode Consulting Oy, sähköpostiviestissä annettu tieto). Näitä havaintoja saadaan lautoilta tunnin välein. Kajaanselän asema mittaa edellisten parametrien lisäksi myös sameutta ja veden pinnalle tulevan valaistuksen intensiteettiä. Ruoriniemen/Harvasaaren, sekä vuodesta 2011 lähtien myös Lankiluodon mittausasemilla on lisäksi syanobakteereille ominaisen fykosyaniinipigmentin fluoresenssia mittaava anturi. Antureiden tekniset tiedot, mittaussyvytydet sekä mittausvuodet on esitetty Taulukossa 1.

Enonselän lautoilla on käytössä hieman toisistaan poikkeavia kertoimia, joilla klorofyllin fluoresenssi muutetaan klorofyllipitoisuudeksi (Lankiluoto ja Myllysaari 1,3; Ruoriniemi 1,5; Enonsaari ja Paimelanlahti 1,0). Ne perustuvat aikaisempien kesien mittaasaineistoon, josta on poistettu selvästi poikkeavat havainnot (M. Kiirikki, tiedonanto). Vuonna 2009 klorofyllin vertailunäytteitä on otettu Lankiluodosta 8 kpl, Myllysaaresta 4 kpl ja muilta asemilta 3 kpl. Kajaanselän mittaaslautan klorofyllille käytetään tehdasasetuksia (kerroin 1). Jotta lauttoja voitaisiin verrata paremmin keskenään ja mahdollisesti laskea niille uudet kertoimet, käsiteltiin lauttojen fluoresenssi-aineisto kertoimettomana raakadatana.

Fykosyaniinin fluoresenssin palvelun tuottaja Luode Consulting Oy muuntaa kertoimella syanobakteerien biomassaksi. Kerroin perustuu Hiidenvedellä tehtyyn mittaukseen, näytteenottoon ja mikroskooppilaskentaan. Hiidenveden syanobakteeriyhteisö oli ollut kalibroinnin aikaan *Aphanizomenon*-dominoitu (M. Kiirikki, tiedonanto). Koska kaikki Luoteen toimittamat fykosyaniinifluorometrit ovat samassa biomassaskaalassa, voidaan fluoresenssi-dataa pitää eräänlaisena raakadatana. Oikean biomassatason varmistaminen ja tarvittaessa korjaaminen Vesijärven syanobakteeribiomassaa vastaavaksi edellyttää vertailunäytteiden mikroskooppista laskentaa.

2.2. Vertailunäytteenotto

Mittaasemien tuottaman klorofylli-aineiston kalibroinnin kehittämiseksi otettiin mittauskaukilla 2010 sekä 2011 klorofyllin vertailunäytteet kahden viikon välein kaikilta automaattiasemilta 1 m:n syvyydestä, jossa lauttojen fluoresenssianturit sijaitsevat (Liitteet 1 ja 2). Syksyllä järvelle ei päästy joka viikko mm. kovan tuulen takia, joten syys-lokakuulta näytteitä on harvemmin. Alkukesästä 2010 Lankiluodosta näytteitä otettiin myös 2 m:n syvyydeltä, jossa anturit olivat sijainneet aikaisempina vuosina. Klorofyllipitoisuudessa ei ollut eroa näiden syvyyksien välillä, joten jatkossa vertailunäytteitä otettiin vain nykyiseltä 1 m:n anturisyvyydeltä (vrt. Kalibrointiraportti 2010). Vuonna 2010 Lankiluodon ja Kajaanselän mittaaslautan vierestä otettiin aina kolme rinnakkaista näytettä ja muilta lautoilta yksi, paitsi 8.-9.6.2010, jolloin otettiin kaksi rinnakkaista näytettä. Kesän 2010 aikana otettujen rinnakkaisnäytteiden klorofyllipitoisuuksien välillä oli vain vähäistä hajontaa (vrt. Kalibrointiraportti 2010), joten vuonna 2011 otettiin kulloinkin vain yksi vertailunäyte ja toinen rinnakkainen näyte satunnaisesti yhdeltä lautalta. Näytteet määritettiin laboratorioissa standardimenetelmin (SFS 5772). Kesäkuussa 2010 Helsingin yliopiston AlmaLab-laboratoriokokonaisuus osallistui Suomen ympäristökeskuksen järjestämään laboratorioiden interkalibrointiin. Tulosten mukaan klorofylli a -pigmentin määrittystarkkuus yliopiston laboratorioissa oli erinomainen kaikissa testatuissa pitoisuusluokissa. Vuonna 2011 järjestettiin neljä veden vaihtoa ja ristiin analysointia Jyväskylän yliopiston kanssa (Jonna Kuha). Vesijärven (Lankiluoto) näytteiden osalta laboratorioiden klorofylli-määritykset erosivat toisistaan ke-

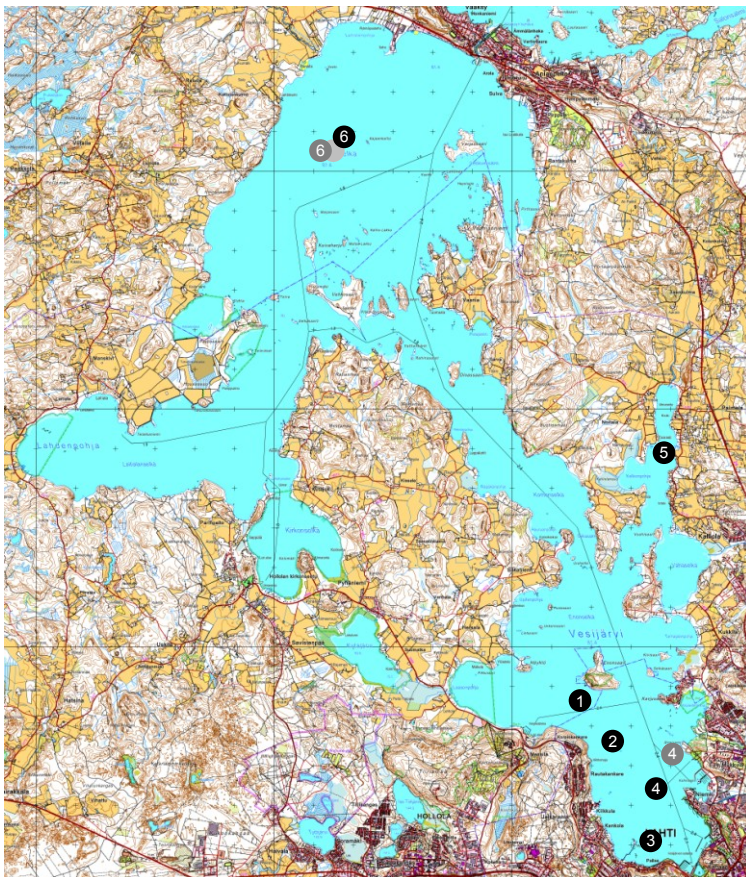
säkuussa 0 %, heinäkuussa 1 %, elokuussa 1 % ja syyskuussa 8 %. Elokuun näytteiden analysoinnissa tapahtui virhe (A750 ei nollattu), joka korjattiin jälkikäteen laskennallisesti. Ristiin analysoinnin perusteella virheen vaikutus tuloksiin arvioitiin niin pieneksi, että tuloksia voitiin käyttää.

Fykosyaniinifluoresenssin kalibroimiseksi syanobakteeribiomassaa vastaavaksi otettiin antureiden vierestä (2010 Ruoriniemi; 2011 Harvasaari ja Lankiluoto) kahden viikon välein kasviplanktonnäytteet. Näytteet säilöttiin happamaan Lugol-liuokseen, ja ne säilytettiin kylmiössä. Syanobakteereiden biomassa määritettiin näytteistä mikroskooppilaskennalla (Liite 3).

Mittauslauttojen happi- ja lämpötilatuloksia verrattiin kenttämittarilla (vuonna 2010 malli YSI 52; vuonna 2011 malli YSI Pro ODO) saatuihin tuloksiin. Happipitoisuus ja lämpötila mitattiin kenttämittarilla kahden viikon välein kunkin lautan jokaiselta anturisyvytydeltä. Lankiluodossa kenttämittaukset tehtiin myös perusseurantanäytteenoton yhteydessä, joten sieltä happi- ja lämpötila-aineistoa on käytössä viikon välein. Vuonna 2010 otettiin lisäksi vesinäytteitä, joista happipitoisuus määritettiin laboratoriossa jodometrisellä titrauksella (SFS-EN 25813) (Liite 4). Koska Suomen ympäristökeskuksen järjestämä laboratorioden interkalibrointi ei sisältänyt hapen määrittystä, järjestettiin kesäkuussa 2010 Ruoriniemen rinnakkaisten näytteiden vertailu Ramboll Analyticsin kanssa. Laboratorioden määrittystulokset vastasivat hyvin toisiaan.

Kajaanselän lautalla on lisäksi veden sameutta sekä veden pinnalle tulevaa valaistusta mittaavat anturit. Klorofyllinäytteenoton yhteydessä otettiin sameusanturin syvytydeltä sameusnäytteet laboratoriossa analysoitavaksi (WTW; Turb 555 IR; Liitteet 4 ja 5). Sameusnäytteet otettiin myös Lankiluodosta kaukokartoituksen kalibrointia varten, vaikkei siellä sameusanturia olekaan. Näytteenoton yhteydessä tarkistettiin joka kerta myös mittausasemien antureiden puhtaus. Jos ylin anturi näytti likaiselta, kaikki anturit puhdistettiin.

Aineiston käsittelyyn käytetyt menetelmät (lähinnä regressioanalyysi) sopivat hyvin riippuvuussuhteiden kuvaamiseen. Raportissa esitettyjä tilastollisia merkitsevyyksiä on kuitenkin pidettävä osittain vain suuntaa-antavina, sillä kaikissa tapauksissa oletukset aineiston normaalisuudesta eivät täyttyneet.



Kuva 1. Vesijärven mittauslauttojen sijainti vuonna 2010 ja 2011. 1) Enonsaari, 2) Lankiluoto, 3) Myllysaari, 4) Ruoriniemi 2010 (musta); Harvasaari 2011 (harmaa), 5) Paimelanlahti ja 6) Kajaanselkä 2010 (musta), 2011 (harmaa, alkukesä vaalean harmaalla). Kartta Maanmittauslaitoksen avoimesta tietoaaineistosta 5/2012.

Taulukko 1. Vesijärven mittauslauttojen anturit, fluoresenssiantureiden eksitaatio- ja emissio-aallonpituudet, mittaus-syvyydet tutkimusvuosina 2010 ja 2011, sekä lauttojen kaikki mittausvuodet. *Ruoriniemen asema siirrettiin Harvasaareen mittauskaudeksi 2011.

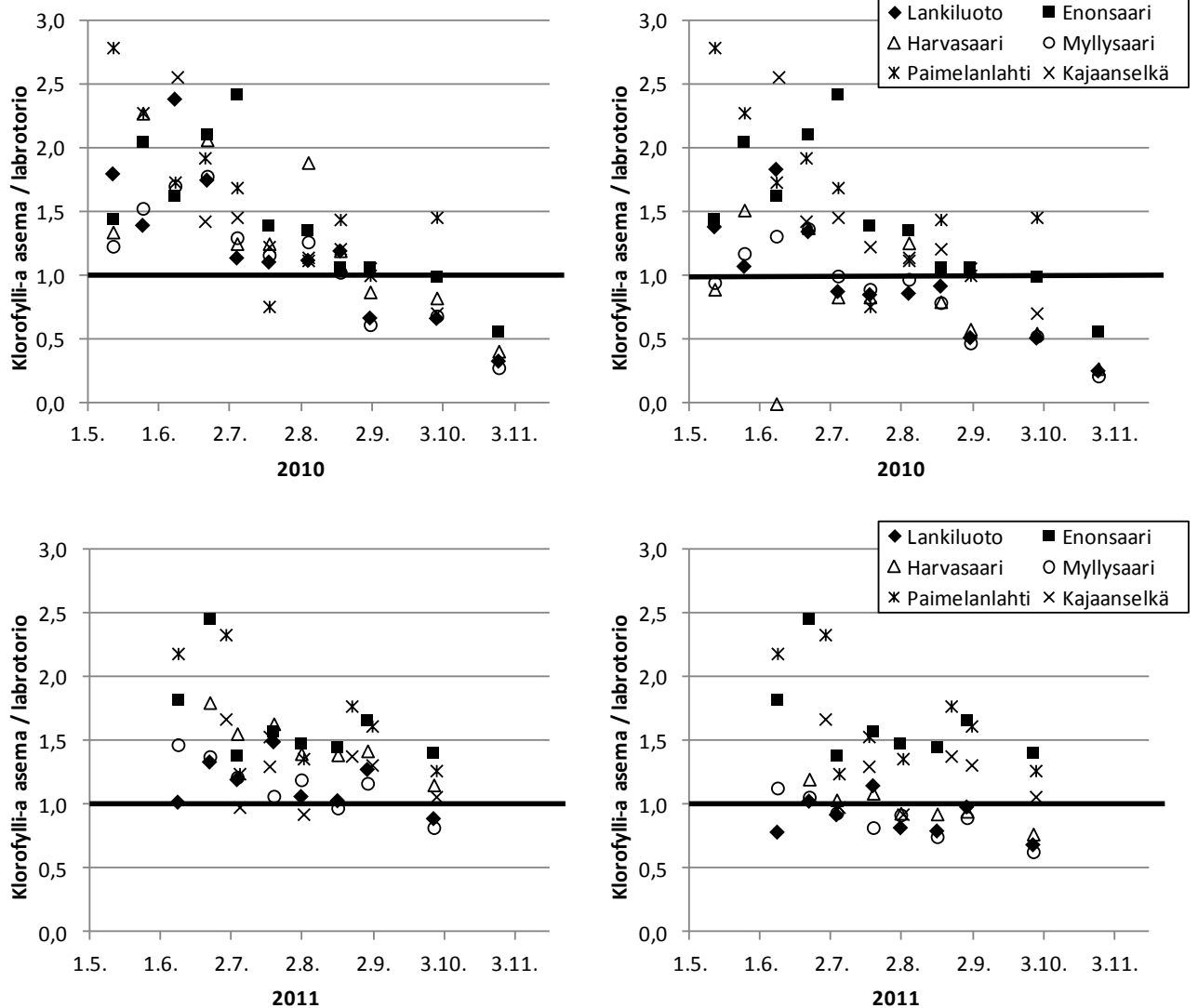
Anturi	Valmistaja	Tyyppi	Sijainti	Vuosi
Chl-a	TriOS	Micro Flu chl fluoresenssi 470/685 nm	Enonsaari (1m) Lankiluoto (1m) Myllysaari (1m) Paimelanlahti (1m) Ruoriniemi (1m) *Harvasaari (1m) Kajaanselkä (1m)	2009-2011 2008-2011 2008-2011 2009-2011 2008-2010 2011 2010-2011
Fykosyaniini	TriOS	Micro Flu blue fluoresenssi 620/655 nm	Ruoriniemi (1m) *Harvasaari (1m) Lankiluoto (1m)	2008-2010 2011 2011
O ₂	Marvet WTW	lyijy-nikkeli FDO 700 IQ	Enonsaari (10, 20, 32 m) Lankiluoto (10, 20, 30 m) Myllysaari (5, 10, 13m) Paimelanlahti (5, 10, 13 m) Ruoriniemi (5 m) *Harvasaari (1 m) Kajaanselkä (1, 12, 25, 31 m) Kajaanselkä (1, 5, 15, 25 m)	2009-2011 2008-2011 2009-2011 2009-2011 2008-2010 2011 2010 2011
Lämpötila	Luode Consulting Oy WTW	lämpövastus NTC	Enonsaari (10, 20, 32 m) Lankiluoto (10, 20, 30 m) Myllysaari (5, 10, 13m) Paimelanlahti (5, 10, 13 m) Ruoriniemi (5 m) *Harvasaari (1 m) Kajaanselkä (1, 12, 25, 31 m) Kajaanselkä (1, 5, 15, 25 m)	2009-2011 2008-2011 2009-2011 2009-2011 2008-2010 2011 2010 2011
Sameus	McVan	Nep 9500	Kajaanselkä (1 m)	2010-2011
Valon määrä	Apogee Instru- ments Inc.	Silicon-cell pyranometer SP-110	Kajaanselkä (ilma)	2010-2011

3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1. Klorofylli *a* – fluoresenssin kalibrointi

Mittausasemien tuottama klorofyllin fluoresenssi ei ollut, etenäkään vuonna 2010, suorassa suhteessa laboratoriossa määritettyihin klorofyllipitoisuuksiin nähden. Vuonna 2010 touko-elokuussa automaattiasemien mittaamat klorofyllipitoisuudet olivat yleisesti laboratoriotuloksia korkeampia (Kuva 2). Tilanne kääntyi päinvastaiseksi syys-lokakuussa, kun näytteistä mitattiin laboratoriossa selvästi suurempia pitoisuuksia kuin mitä automaattiasemat olivat rekisteröineet. Samalla tavoin vuonna 2011 asemat antoivat alkukesällä suhteessa korkeampia pitoisuuksia kuin laboratoriossa mitatut. Suhde laski syyskesää kohden, muttei yhtä selkeästi kuin vuonna 2010.

Kun laboratoriotulosten ja lauttojen klorofylli-fluoresenssin välille laskettiin lautta-kohtaiset lineaariset regressioyhtälöt koko kesän aineistolla, vuonna 2010 klorofyllin fluoresenssi ei selittänyt klorofyllipitoisuudessa havaittua vaihtelua lainkaan (Taulukko 2). Kajaanselällä selitysaste oli korkein ($R^2 = 0,44$), mutta sielläkään suhde ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Sen sijaan vuonna 2011 klorofyllin fluoresenssi selitti klorofyllipitoisuudessa havaittua vaihtelua tilastollisesti merkitsevästi kaikilla lautoilla, Kajaanselällä jopa 89 % (Taulukko 2).



Kuva 2. Automaattiaseman mittaaman klorofyllipitoisuuden suhde laboratoriossa mitattuun klorofyllipitoisuuteen mittauskausilla 2010 (ylhäällä) ja 2011 (alhaalla). Vasemmalla laboratoriomittaustulosten suhde lautoilla käytössä olevilla kertoimilla korjattuun dataan ja oikealla kertoimettomaan raakadataan. Mitä lähempänä suhdeluku on yhtä, sitä paremmin havainnot vastaavat toisiaan. Alkukesällä automaattiasemien tulokset olivat jopa yli kaksinkertaisia laboratoriomäärittäisiin nähden. Loppukesällä automaattiasemien tulokset olivat laboratoriotuloksia alaisempia, etenkin vuonna 2010.

Eron syynä ovat todennäköisesti muutokset kasviplanktonin lajikoostumuksessa. Klorofyllin fluoresenssin mittaaminen vain yhdellä aallonpituudella ei välttämättä pysty seuraamaan lajistoltaan vaihtelevan kasviplanktonin biomassaa niin hyvin kuin useilla eksitaatio- ja emissio-aallonpituuksilla mitattaessa (vrt. Gregor ym. 2005). Syanobakteereilla suurin osa klorofyllistä sijaitsee ei-fluoresoivassa fotosysteemissä I, joten klorofyllin fluoresenssi saattaa antaa aliarvion todellisesta klorofyllipitoisuudesta silloin, kun syanobakteerit vallitsevat kasviplanktonissa (Campbell ym. 1998; Seppälä ym. 2007). Sen sijaan spektrofotometrisesti laboratoriossa saadaan mitattua syanobakteerien klorofylli-*a* -pigmenteistä myös fluoresoimaton osa. Fykosyaniinin fluoresenssin perusteella vuonna 2010 syanobakteerit runsastuivat syksyä kohden, kun taas vuonna 2011 syanobakteerien määrä pysyi alhaisena (Kuva 3).

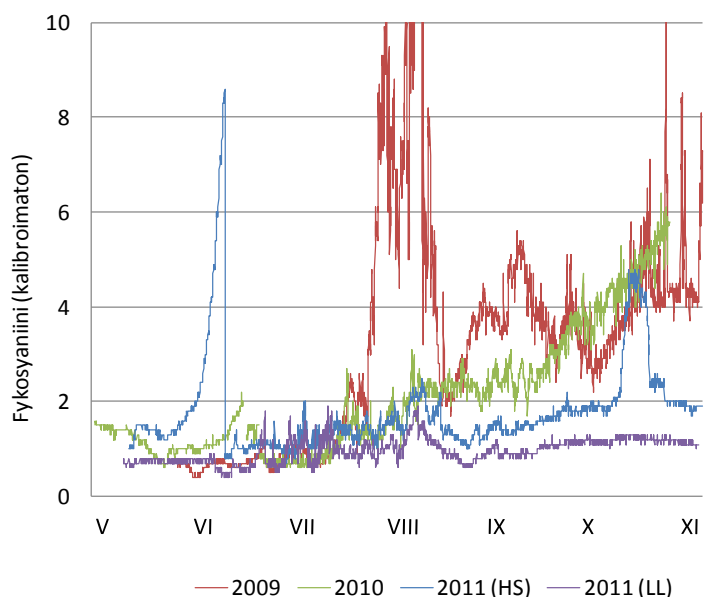
Taulukko 2. Selitysasteet (R^2) lineaarisille regressiomalleille, joissa selitettävänä muuttujana on laboratoriossa määritetty klorofyllipitoisuus ja selittävänä muuttaja joko mittaustautan klorofyllin fluoresenssi (Chl a fl), fykosyaniinin fluoresenssi (PC fl) tai molemmat yhdessä (Chl a & PC fl). Vuosien välisen vertailun helpottamiseksi fykosyaniinin fluoresenssina on käytetty molempina vuosina Ruoriniemen / Harvasaaren 24 h keskiarvoa. Mallien tilastollinen merkitsevyys on ilmaistu tähdillä: $p \leq 0,05^*$, $p \leq 0,01^{**}$, $p \leq 0,001^{***}$

Vuosi	Asema	Chl a fl	PC fl	Chl a & PC fl
2010	Enonsaari	0,039	0,554**	0,887***
	Lankiluoto	0,002	0,422*	0,736**
	Myllysaari	0,024	0,474*	0,836***
	Ruoriniemi	0,000	0,454*	0,580*
	¹⁾ Ruoriniemi (p. 8.6.2010)	0,076	0,447*	0,807**
	Paimelanlahti	0,009	0,418*	0,420
	Kajaanselkä	0,443	0,768**	0,864**
2011	Enonsaari	0,466	0,102	0,517
	¹⁾ Enonsaari (p. 22.6.2011)	0,800**	0,003	0,903*
	Lankiluoto	0,749**	0,064	0,891**
	Myllysaari	0,544*	0,321	0,861*
	Harvasaari	0,731*	0,079	0,898**
	Paimelanlahti	0,743**	0,463	0,983***
	Kajaanselkä	0,885**	0,575*	0,974***

¹⁾Ruoriniemi 2010 ja Enonsaari 2011 laskenta on tehty koko kesän aineistolla, sekä poistamalla yksi poikkeava arvo.

Seuraavaksi selvitetiin fykosyaniinin fluoresenssin (Kuva 3) ottamista selittäväksi tekijäksi klorofyllipitoisuudelle. Fykosyaniinia mitattiin vuonna 2010 Ruoriniemen lautalla ja 2011 Harvasaaren ja Lankiluodon lautoilla. Tulosten soveltaminen muille lautoille ei ole ongelmattonta. Tilannetta yritettiin parantaa käyttämällä fykosyaniinin fluoresenssille 24 tunnin keskiarvoa. Tämän toivottiin ilmaisevan syanobakteerien yleis-tilannetta Enonselällä paremmin kuin yksittäinen 1 tunnin arvo. Silti on arveluttavaa soveltaa tuloksia muualla kuin Enonselällä, esimerkiksi Paimelanlahdella, tai Kajaanselällä jossa syanobakteerien biomassat ovat huomattavasti alhaisempia kuin Enonselällä (Keto ym. 2005).

Kuva 3. Fykosyaniinin fluoresenssi heijastelee sinilevätilan muuttoksia Vesijärvellä. Vuonna 2009 sinilevät runsastuivat kukinnaksi saakka heinä-elokuussa. Vuonna 2010 sinilevät runsastuivat syyskuun kohden. Vuonna 2011 sinilevien määrä pysyi alhaisena koko kesän. Fluoresenssin nousu Harvasaaren (HS) asemalla keväällä 2011 johtuu anturin likaantumisesta, jolloin puhdistus näkyy selvänä tason laskuna. Syksyn tilanne ei ole yhtä selvä, mutta todennäköisesti piikki johtuu samasta syystä, sillä Lankiluodossa (LL) nousua ei havaita.



Vuonna 2010 fykosyaniinin fluoresenssi selitti jopa yksinään (ja tilastollisesti merkitsevästi) enemmän klorofyllipitoisuudessa havaitusta vaihtelusta kuin klorofyllin fluoresenssi. Paras selitysaste Vesijärven aineistoon saatiin kuitenkin ottamalla yhtälöön sekä klorofyllin että fykosyaniinin fluoresenssit (Taulukko 2). Tämä usean muuttujan regressioyhtälö selitti parhaimmillaan yli 80 % klorofyllipitoisuudessa havaitusta vaihtelusta. Vuonna 2011 syanobakteereita oli vähemmän, ja klorofyllin fluoresenssi selitti yksinäänkin yli 70 % klorofyllipitoisuudessa havaitusta vaihtelusta lähes kaikilla lautoilla. Fykosyaniinin fluoresenssi ei selittänyt yksinään merkittävästi klorofyllipitoisuutta, mutta sen sisällyttäminen yhtälöön yhdessä klorofyllin fluoresenssin kanssa paransi selitystasetta kaikilla lautoilla noin 90 %:iin (Taulukko 2).

Lauttakohaisia usean muuttujan regressioyhtälöitä käytettiin lauttojen tuottaman raakadatan korjaamiseen (Taulukot 3 ja 4; Kuvat 4 ja 5). Samaa korjausmenetelmää on käytetty aiemmin mm. Itämerellä (Seppälä ym. 2007) ja Säkylän Pyhäjärvellä (Lepistö ym. 2010). Eryteisesti Pyhäjärvellä tilanne oli hyvin samankaltainen kuin Vesijärvellä 2010: touko-heinäkuussa klorofyllin fluoresenssi selitti todellista klorofyllipitoisuutta, mutta loppukesällä ja syksyllä syanobakteerien vallitessa fluoresensitulokset olivat aliarvioita. Parhaat korjausyhtälöt mittauslauttojen aineistolle oli alun perin tarkoitus laatia yhdistämällä kahden vuoden tutkimusaineistot. Ruoriniemen lautan siirto Harvasaareen lähemmäs rantaa sekä uuden fykosyaniinianturin hankkiminen Lankiluodolle vuonna 2011 muuttivat kuitenkin tilannetta siten, että aineistot pidettiin pääosin erillään. Vuoden 2010 aineisto korjattiin vuoden 2010 korjausyhtälöillä, jolloin käytössä oli vain Ruoriniemen fykosyaniini-anturi (Taulukko 3; Kuva 4). Silti juuri Ruoriniemen korjausyhtälö jäi heikoksi (vrt. kalibrointiraportti 2010). Syyksi paljastui poikkeava tulos 8.6.2010 (ilm. anturin likaantumisen johtuva), jonka poisto paransi Ruoriniemen korjausyhtälöä huomattavasti. Vuoden 2010 aineistolla Paimelanlahdelle ei saatu tilastollisesti merkitsevää korjausyhtälöä (vrt. Kalibrointiraportti 2010). Heikon tuloksen saattaa selittää Enonselästä poikkeava syanobakteerien dynamiikka, josta ei kuitenkaan ole tarkempaa tietoa fykosyaniini-mittauksen puuttuessa Paimelanlahdelta. Edelleen muita lauttoja heikompi, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitsevä korjausyhtälö Paimelanlahdelle saatiin yhdistämällä kahden vuoden aineistot (2010+2011; fykos. Ruoriniemi/Harvasaari), ja tätä yhtälöä käytettiin vuoden 2010 aineiston korjaamiseen.

Vuoden 2011 korjauksessa käytettiin Harvasaaren fykosyaniini-tuloksia, sekä Lankiluodossa, Enonsaarella ja Kajaanselällä uuden Lankiluodon fykosyaniinianturin tuloksia (Taulukko 4; Kuva 5). Uusien korjausyhtälöiden laskennassa käytettiin 24 tunnin keskiarvon sijasta tuntikohtaista arvoa niillä lautoilla, joilla anturit sijaitsevat, sekä myös Enonsaaren lautalla, joka sijaitsee vain noin 1 km:n päässä Lankiluodon anturista. Antureista kauempana sijaitsevilla lautoilla käytettiin edelleen 24 tunnin keskiarvoa. Enonsaaren klorofylli-aineistosta poistettiin yksi poikkeava tulos (22.6.2011), jolla korjausyhtälöä saatiin parannettua. Korjausyhtälöitä testattiin ristiin myös muiden vuosien aineistolla. Myllysaaren vuoden 2011 aineistoon perustuva korjausyhtälö antoi joitakin negatiivisia arvoja vuoden 2010 aineistolla testatessa, joten siellä lopulliseen korjaukseen valittiin kahden vuoden aineistoon perustuva yhtälö (2010+2011; fykos. Ruoriniemi/Harvasaari).

Taulukko 3. Selitysasteet (R^2), kertoimet (a,b) ja vakio (c) lauttojen klorofyllin fluoresenssin korjauksessa vuonna 2010 käytetyille lineaarisille regressiomalleille, joissa selitettävänä muuttujana on laboratoriossa määritetty klorofyllipitoisuus ja selittävänä muuttajana mittauslautan klorofyllin fluoresenssi (Chl a) ja fykosyaniinin fluoresenssi (PC). Lauttakohittaiset yhtälöt ovat muotoa $a \text{ Chl} + b \text{ PC} + c$. Mallien tilastollinen merkitsevyys on ilmaistu tähdillä: $p \leq 0,05^*$, $p \leq 0,01^{**}$, $p \leq 0,001^{***}$

Asema	R^2	a (Chl a)	b (PC)	c (vakio)
Enonsaari (2010)	0,887***	0,737***	2,613***	-4,99
Lankiluoto (2010)	0,736**	0,759*	2,506**	-1,376
Myllysaari (2010)	0,836***	0,738**	2,388***	-0,774
Ruoriniemi (2010, pois 8.6.)	0,807**	0,495**	2,014***	2,052
Paimelanlahti (2010-11)	0,481**	0,252	3,492*	2,592
Kajaanselkä (2010)	0,864***	0,578	1,622*	-1,653

Chl a=klorofyllin fluoresenssi (tuntikohtainen arvo), PC= fykosyaniinin fluoresenssi (Ruoriniemi 24 h keskiarvo)

Taulukko 4. Selitysasteet (R^2), kertoimet (a,b) ja vakio (c) lauttojen klorofyllin fluoresenssin korjauksessa vuonna 2011 käytetyille lineaarisille regressiomalleille, joissa selitettävänä muuttujana on laboratoriossa määritetty klorofyllipitoisuus ja selittävänä muuttaja mittaustalteen klorofyllin fluoresenssi (Chl a) ja fykosyaniinin fluoresenssi (PC). Lauttakohtaiset yhtälöt ovat muotoa $a \text{ Chl} + b \text{ PC} + c$. Mallien tilastollinen merkitsevyys on ilmaistu tähdillä: $p \leq 0,05^*$, $p \leq 0,01^{**}$, $p \leq 0,001^{***}$

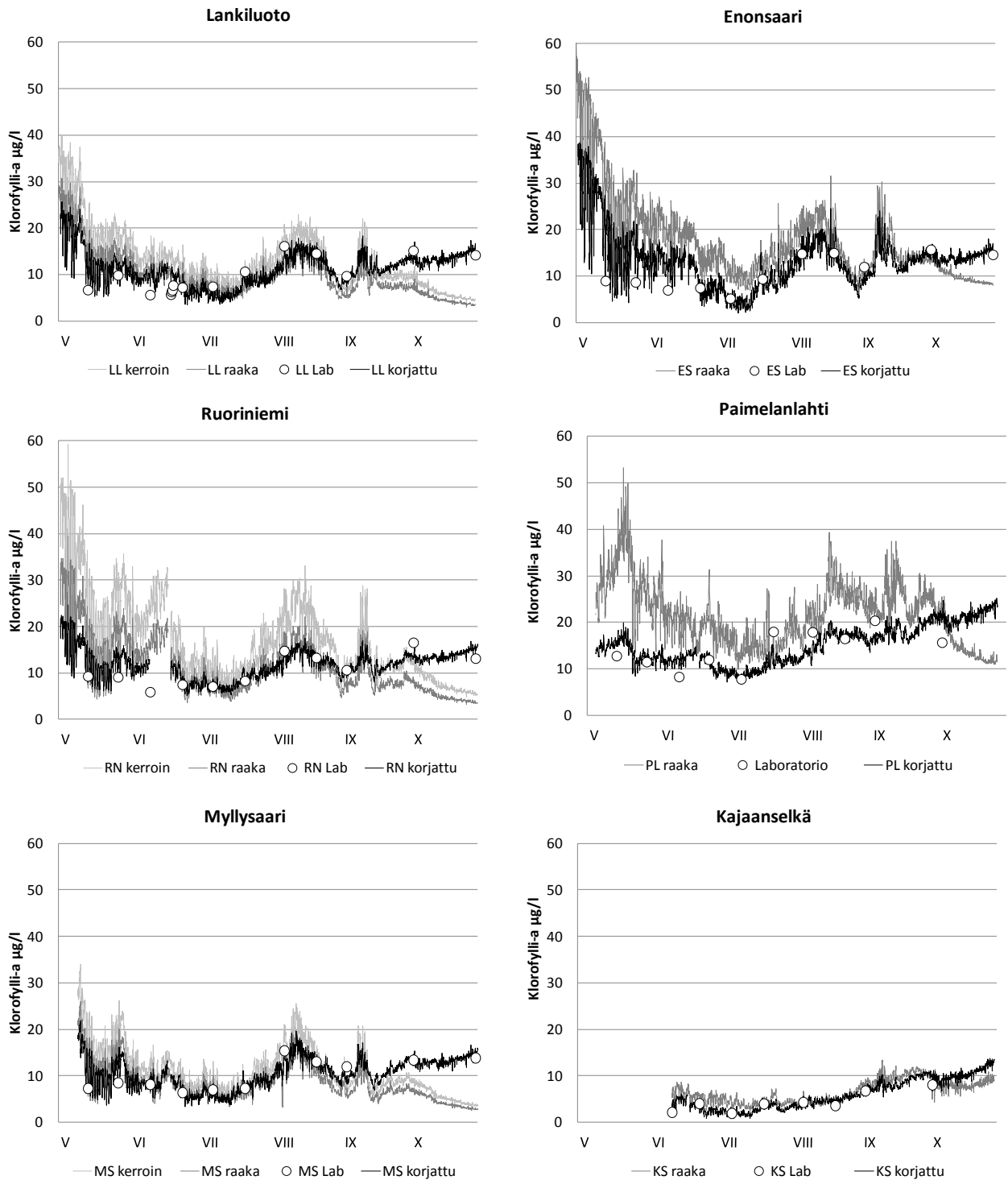
Asema	PC-anturi	R^2	a (Chl a)	b (PC)	c (vakio)
Enonsaari (2011, pois 22.6.)	LL (1 h)	0,961**	0,545***	2,985*	-1,305
Lankiluoto (2011)	LL (1 h)	0,769*	0,851**	1,953	0,526
Myllysaari (2010-11)	HS (24 h)	0,793***	0,747***	2,346***	-0,465
Harvasaari (2011)	HS (1 h)	0,927**	1,068**	4,050*	-5,828
Paimelanlahti (2011)	HS (24 h)	0,983***	0,672***	7,806**	-11,11**
Kajaanselkä (2011)	LL (24 h)	0,991***	0,841***	4,509**	-4,323**

Chl a=klorofyllin fluoresenssi (tuntikohtainen arvo), PC= fykosyaniinin fluoresenssi (HS=Harvasaari, LL= Lankiluoto)

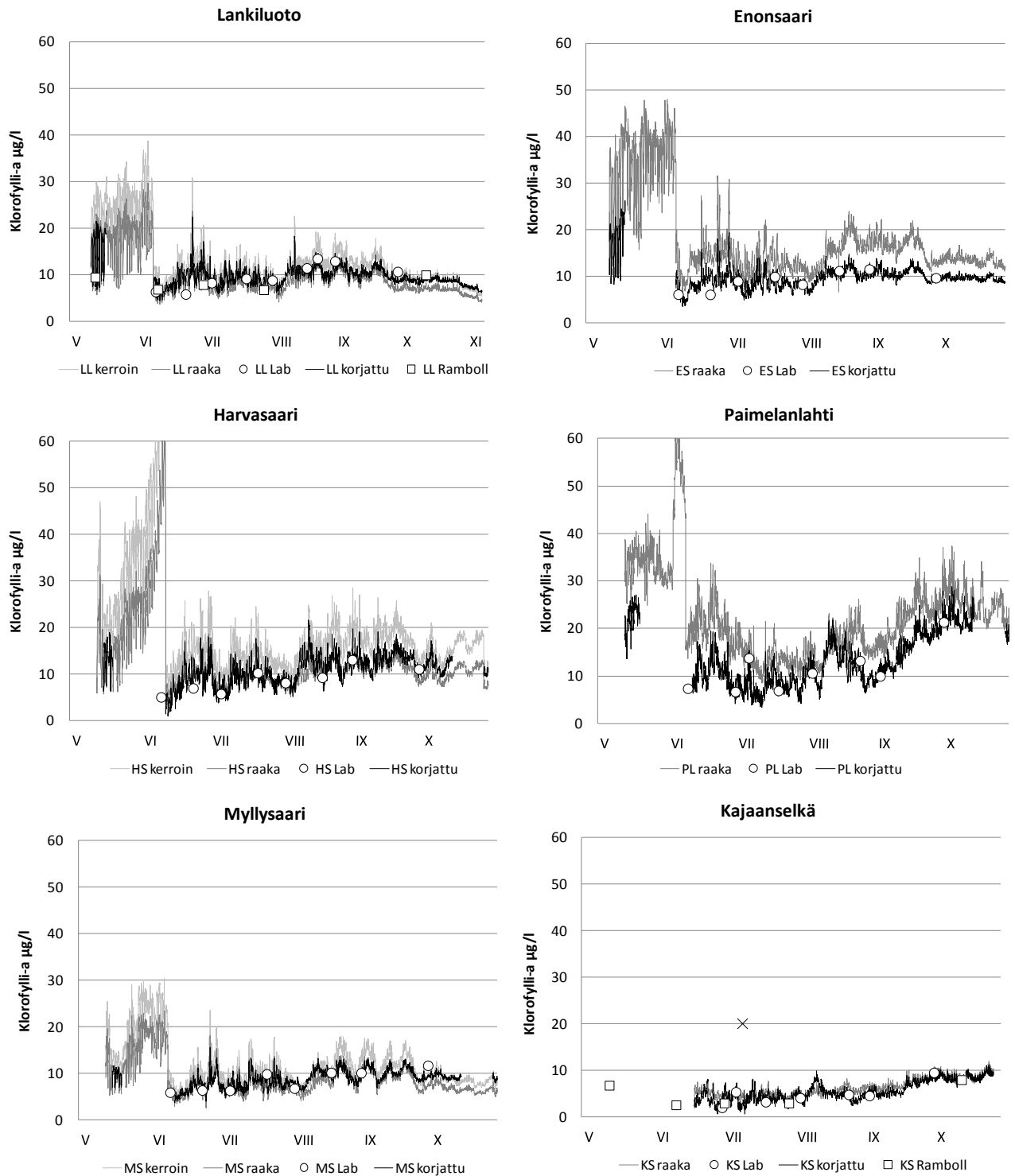
Kuvien 4 ja 5 korjatut arvot perustuvat lauttakohtaisiin yhtälöihin. Kovarianssianalyysillä kuitenkin testattiin voitaisiinko kaikille lautoille soveltaa samaa yhtälöä, käyttäen Ruoriniemen/Harvasaaren fykosyaniinianturia. Kovarianssianalyysissä mittauspiste eli lautta asetettiin kiinteäksi tekijäksi sekä klorofylli ja fykosyaniini kovariaateiksi eli oheis-/apumuuttujaksi. Poikkeavat arvot (Ruoriniemi 8.6.2010 ja Enonsaari 22.6.2011) jätettiin pois analyysistä. Vuoden 2010 aineistolla klorofyllin ja fykosyaniinin fluoresenssit selittivät molemmat merkitsevästi ($p \leq 0,001$) klorofyllipitoisuudessa havaittua vaihtelua. Kuitenkin lautalla oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus klorofyllin fluoresenssin kanssa ($p = 0,006$). Pelkille Enonselän lautoille (Paimelanlahti ja Kajaanselkä poistettu) lauttavaikutusta ei havaittu. Vuoden 2011 aineistolla lautalla oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus sekä klorofyllin ($p = 0,020$) että syanobakteerien ($p = 0,017$) fluoresenssin kanssa. Pelkillä Enonselän lautoilla testattaessa lauttavaikutus säilyi klorofyllin osalta ($p = 0,035$). Vaikka lautta- ja vuosikohtaisiin yhtälöihin päädyttiin ensisijaisesti fykosyaniiniantureiden sijainnissa ja määrässä tapahtuneiden muutosten takia, puolsi kovarianssianalyysi ainakin osittain lauttakohtaisia yhtälöitä.

Korjausyhtälöitä testattiin myös ristiin eri vuosien välillä. Kuvassa 6 on vertailtu laboratoriossa mitattujen klorofyllipitoisuuksien suhdetta lauttojen raakadataan sekä joko vuoden 2010 tai 2011 yhtälöillä korjattuun dataan vuosina 2009, 2010 ja 2011. On kuitenkin huomattava, että niitä vuoden 2011 yhtälöitä, jotka käyttävät Lankiluodon fykosyaniinimittausta, ei voida täysin luotettavasti testata aikaisempien vuosien aineistoilla, koska silloin anturia ei vielä ollut. Myös Ruoriniemen lautan siirto Harvasaareen vaikuttanee yhtälöihin. Vuoden 2009 vertailuaineisto perustuu Lahden seudun ympäristöpalvelujen ottamiin klorofyllin vertailunäytteisiin, jotka mitattiin Ramboll Analytics -laboratoriossa. Vuonna 2009 fykosyaniini fluoresenssi kohosi jo heinä-elokuussa (Kuva 3), joten syanobakteerien dynamiikka oli joka vuosi erilainen. Sekä vuoden 2010 että 2011 aineiston perusteella saadut yhtälöt korjasivat klorofyllin fluoresenssin ja klorofyllipitoisuuden välistä suhdetta riippumattomalla aineistolla (Kuva 6). Kuitenkin vuoden 2010 yhtälöt antoivat muina vuosina hieman todellista alhaisempia arvoja. Vuoden 2011 aineistoon perustuvat yhtälöt eivät korjanneet hyvin vuoden 2010 aineistoa, mutta vertailu aikaisempiin vuosiin ei ole aivan todellinen anturivaihdosten takia. Selitysaste parani hieman, kun tarkasteluun otettiin vain Harvasaaren anturia käyttävät yhtälöt ($R^2 = 0,65$).

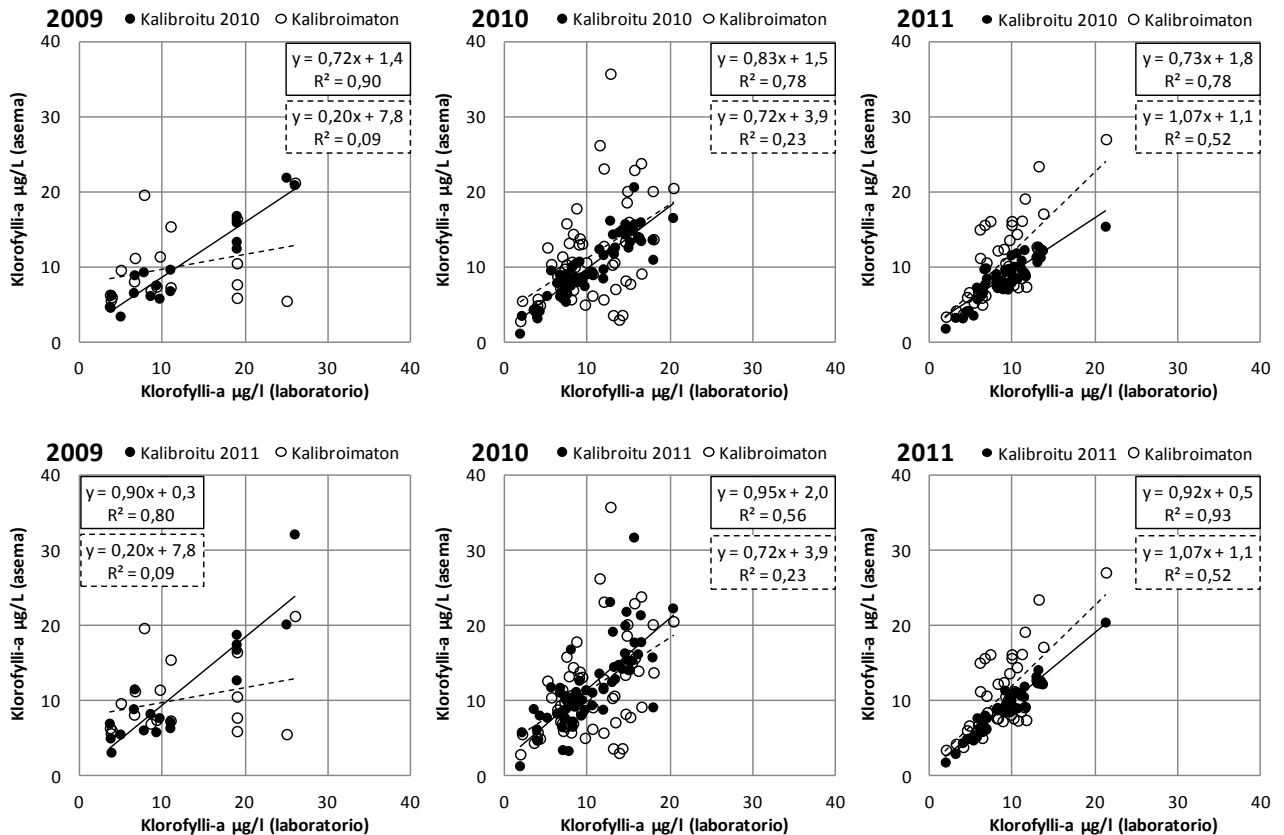
Jos ja kun automaattisella mittaustoiminnalla tavoitellaan mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaavaa tietoa leväbiomassoista, vaaditaan säännöllisiä klorofyllin vertailunäytteitä, lauttakohtaisesti tai ainakin järven eri seliltä, sekä fykosyaniinin fluoresenssin huomioimista klorofyllin korjausyhtälössä. Sen sijaan muiden muuttujien lisääminen korjausyhtälöön ei parantanut tulosta. Kajaanselällä mitatut sameus ja valaistus sekä neljällä asemalla pintavedestä mitattu lämpötila (1-5 m) eivät selittäneet tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0,05$) klorofyllipitoisuudessa tapahtuvaa vaihtelua. Valaistuksen vaikutus ei kuitenkaan välttämättä paljastunut päivänäytteisiin pohjautuvassa vertailussa (ks. seuraava kappale).



Kuva 4. Klorofyllipitoisuus mittauslautoilla vuonna 2010: Kertoimeton raakadata (harmaa), kertoimellinen raakadata (vaalea harmaa), laboratorioissa mitatut arvot (ympyrät), sekä lauttakohtaisin yhtälöin korjattu klorofyllipitoisuus (musta viiva). Korjaus perustuu regressioyhtälöön, jossa selittävinä muuttujina ovat sekä klorofyllin että fykosyaniinin fluoresenssit. (Huom. Ruoriniemen ja Paimelanlahden kalibrointia on parannettu verrattuna kalibrointiraporttiin 2010). Korjatusta aineistosta on poistettu ajankohdat, joiden osalta kalibrointi on epävarma (Ruoriniemen kesäkuun aineistoa, jolloin lautta oli pois paikoiltaan).



Kuva 5. Klorofyllipitoisuus mittauslautoilla vuonna 2011: Kertoimeton raakadata (harmaa), kertoimellinen raakadata (vaalea harmaa), laboratorioissa mitatut arvot (ympyrät), sekä lauttakohtaisin yhtälöin korjattu klorofyllipitoisuus (musta viiva). Korjaus perustuu regressioyhtälöön, jossa selittävinä muuttujina ovat sekä klorofyllin että fykosyaniinin fluoresenssit. Lankiluodolta ja Kajaanselältä on esitetty myös aineistoa Hertta-tietokannasta (neliöt; Ramboll Analytics Oy, kokoomanäyte 2 x näkösyvyys), jota ei ole käytetty aineiston kalibroinnissa. Korjatusta aineistosta on poistettu epävarmat havainnot. Esim. alkukesällä aineistossa näkyy liian pitkstä puhdistusvälistä johtuva tason nousu ja selvä lasku antureiden puhdistamisen jälkeen. Kajaanselän lautan siirtopäivä heinäkuun alussa on merkitty kuvaan rastilla.

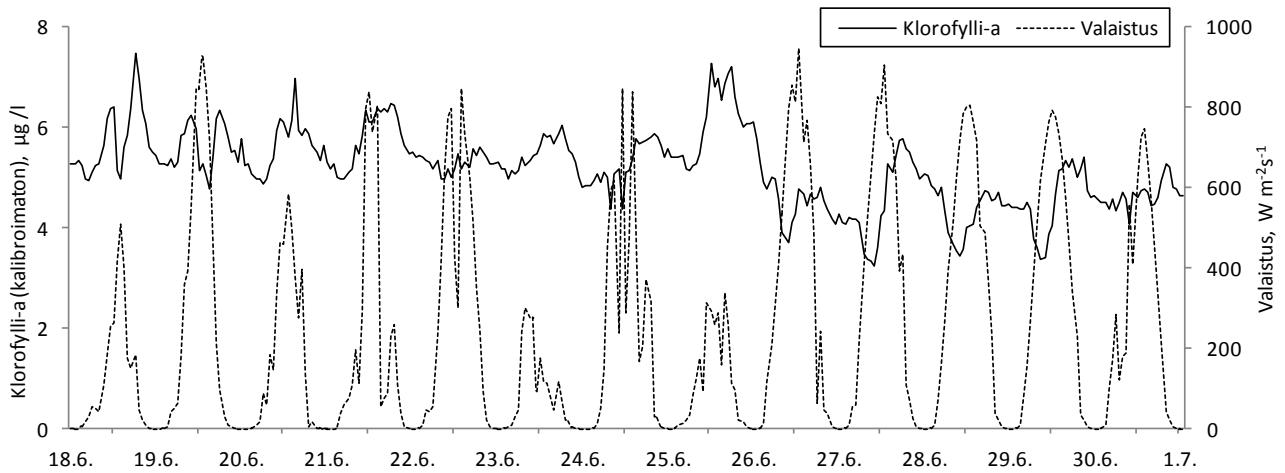


Kuva 6. Laboratoriossa mitattu klorofyllipitoisuus (x-akseli) suhteessa mittauslauttojen raakadataan (valkoiset ympyrät) sekä lauttakohtaisilla yhtälöillä korjattuun dataan (mustat ympyrät). Ylärivissä vuosien 2009-2011 mittauslauttojen raakadata on korjattu vuoden 2010 aineistoon perustuvilla korjausyhtälöillä (Taulukko 3) ja alarivissä vuoden 2011 aineistoon perustuvilla yhtälöillä (Taulukko 4). Vuoden 2011 vertailu muihin vuosiin ei kuitenkaan ole ongelmattonta fykosyaniini-antureiden sijainnissa tapahtuneiden muutosten vuoksi.

3.2. Valaistuksen vaikutus klorofyllin fluoresenssiin

Valon vaikutusta klorofyllin fluoresenssiin tutkittiin Kajaanselän lautalla, jossa on valon määrää veden pinnalla mittaava laite. Valon lisääntyminen keskipäivällä aiheutti usein klorofyllin fluoresenssin vähenemisen, mutta ilmiö ei ollut säännönmukainen (Kuva 7). Fluoresenssissa oli notkahdus puolen päivän aikaan varsinkin kirkkaimpina päivinä, muttei välttämättä pilvisinä päivinä. Fluoresenssin väheneminen kirkkaassa aurin gonpaisteessa johtuu energian häviämisestä (dissipaatiosta) kasviplanktonin altistuessa valolle (ns. fluoresenssin sammuminen; Richardson ym. 2010). Levien klorofylli-*a*:n fluoresenssi-emission on osoitettu valolle altistettaessa vähenevän nopeasti, jopa yli 90 % puolessa tunnissa, lajista ja leväsolujen kokemista edeltävistä valaistusolosuhteista riippuen (Gerber & Häder 1995). Kajaanselän lautalla havaittiin myös päivastainen ilmiö: kun valaistus jälleen väheni seuraavaan, tunnin kuluttua tehtyyn mittaushetkeen, klorofyllin fluoresenssi kohosi takaisin aiemmalle tasolle.

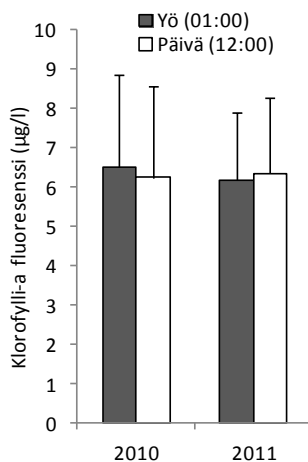
Klorofyllin fluoresenssin ja valaistuksen määrän ($W\ m^{-2}s^{-1}$) välillä oli tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio kahden vuoden aineistolla testatessa ($r_s = -0,312$, $p < 0,001$). Korrelaatio oli voimakkaampi vuonna 2010 ($r_s = -0,333$, $p < 0,001$) kuin vuonna 2011 ($r_s = -0,273$, $p < 0,001$). Suurilla aineistoilla testatessa ($N > 3000$ molempina vuosina) heikostakin korrelaatiosta tulee helposti tilastollisesti merkitsevä, vaikka ilmiö ei ollut täysin säännönmukainen.



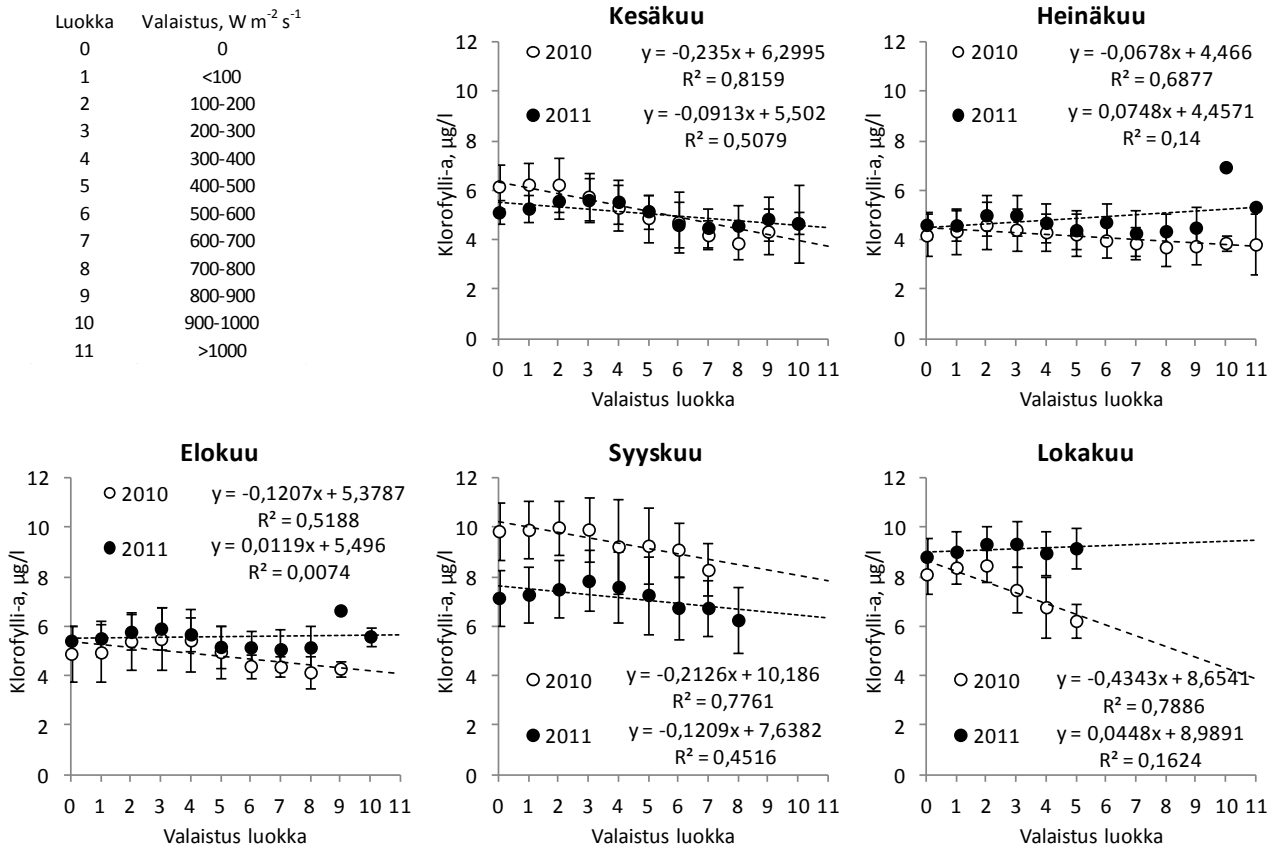
Kuva 7. Fluoresenssin perusteella mitattu klorofyllipitoisuus (vasen y-akseli) ja valaistuksen määrä (oikea y-akseli) kesäkuussa 2011 Kajaanselän lautalla.

Kahden kesän keskiarvot klorofyllin fluoresenssille keskipäivällä (klo 12:00) tai yön pimeimpänä hetkenä (klo 01:00, valaistus $0 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) eivät eronneet säännönmukaisesti toisistaan (Kuva 8). Kahden vuoden aineistolla testattaessa näiden ajan hetkien välinen ero fluoresenssissa ei poikennut nolasta (Wilcoxon Signed Rank Test, $p = 0,598$). Keskipäivän kiinteä ajanhetki ei välttämättä aina ollut päivän kirkkain hetki, joskin aina valoisampi kuin yöaikaan tapahtunut mittaus.

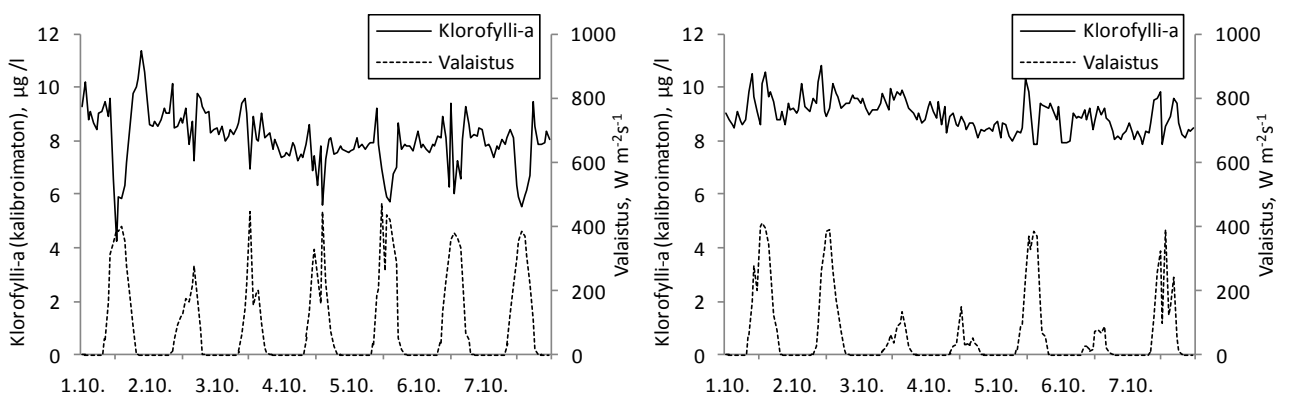
Voimakkaan kohinan vähentämiseksi aineisto luokiteltiin valaistuksen suhteen ryhmiin kuukausittain (Kuva 9). Lähestymistapa osoitti, että klorofyllin fluoresenssi oli heikommin suhteessa valaistuksen määrään vuonna 2011 kuin 2010. Selvimmin valolla oli negatiivinen vaikutus fluoresenssiin alkukesällä ja syksyllä 2010. Juuri syksyn tilanne erosi eniten vuosien välillä (Kuva 10). Ilmiön taustalla voi kuitenkin olla muut ympäristötekijät sekä erilainen levälajisto. Tulosten tulkintaan tuo lisäongelmia osaltaan se, että valoa mitataan veden pinnalla mutta klorofyllin fluoresenssia 1 m syvyydessä. Valon vaimeneminen jo yhden metrin matkalla on voimakasta ja vaihtelee sameudesta, suspendoituneista partikkeleista, veden liikkeistä, sironnasta, auringon säteilyn tulokulmasta ja vuodenajasta riippuen (Wetzel 2001). Esimerkiksi Lankiluodon syvänteen pitkäaikaisen monitoroinnin yhteydessä tehdyissä valaistusmittauksissa (aina klo 10 ja klo 11 välisenä aikana) pinnalle tulleesta valon määrästä on metrin syvyydessä vaimentunut 20-70 % (Helsingin yliopisto, julkaisematonta aineistoa).



Kuva 8. Fluoresenssin perusteella mitattu klorofyllipitoisuus (keskiarvo \pm keskihajonta) yön pimeimpänä hetkenä (klo 01:00) sekä keskipäivällä (klo 12:00) vuosina 2010 ja 2011.



Kuva 9. Fluoresenssin perusteella mitatun klorofyllipitoisuuden (keskiarvo ± keskihajonta) suhde luokiteltuun valaistusaineistoon (light intensity class) Kajaanselän lautalla kuukausittain vuosina 2010 ja 2011. Valaistus on luokiteltu ryhmiin aineistossa olevan voimakkaan kohinan vähentämiseksi.

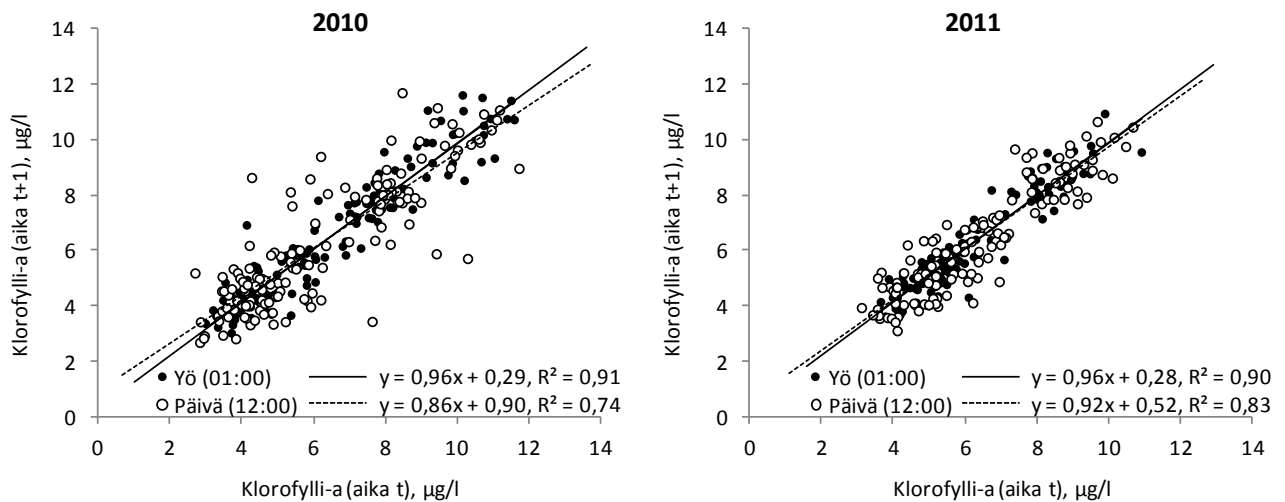


Kuva 10. Klorofylli a –fluoresenssin (yhtenäinen viiva) ja valaistuksen (katkoviiva) vaihtelu Kajaanselän lautalla yhden viikon aikana syksyllä 2010 ja 2011.

Vaikka valaistus vaikuttaa klorofyllin fluoresenssiin, näiden suureiden välinen suhde ei ole läheskään vakio. Siten jatkuvatoimiseen mittaukseen ei ole odotettavissa helppoa ratkaisua valaistuksen huomioimiseksi tuloksissa. Ulkoisten ympäristötekijöiden ohella (valaistus, sameus, jne.) pitäisi pystyä huomioimaan lukuisat muutkin fluoresenssiin vaikuttavat tekijät, kuten levälajisto, kasviplanktonin fysiologia (solujen ikä,

tyyppi, solujen ravintotilanne jne.), sensorin eksitaatiotyyppi, sekä eri kasviplanktonlajien vaste erilaisille eksitaatiospektreille (Seppälä & Balode 1998; ACT 2005). Lisäksi on havaittu, että valaistuksella ja ravinnestressillä voi olla myös yhteisvaikutus fluoresenssiin (Schallenberg ym. 2008).

Tässä vaiheessa esimerkiksi pitkän aikavälin seurannassa ja erityisesti ennustemallien suunnittelussa voidaan harkita yksinomaan pimeässä eli käytännössä keskiyöllä tehtävien mittausten tulosten käyttämistä, jolloin minimoidaan mahdollinen fluoresenssin sammumisen aiheuttama virhe. Kuvassa 11 on verrattu kahden peräkkäisen vuorokauden klorofyllin fluoresenssia keskipäivällä ja keskiyöllä. Yömittaukset antavat korkeamman selitysasteen kuin päivämittaukset. Taustalla voi olla mm. nimenomaan valon (pilvisyyden) vaihtelun vaikutus keskipäivällä tehtyyn mittaamiseen.



Kuva 11. Kajaanselän lautan mittaama klorofyllin fluoresenssi kahtena peräkkäisenä vuorokautena keskipäivällä (=noon) ja keskiyöllä (=midnight) vuosina 2010 ja 2011. Ensimmäinen havainto x-akselilla, toinen y-akselilla.

3.3. Fykosyaniinin fluoresenssin kalibrointi

Mikroskooppilaskennan perusteella Vesijärven syanobakteeriyhteisö erosi selvästi Hiidenvedestä, jossa Luoteen fykosyaniiniantureiden kalibroinnin aikaan olivat vallinneet *Aphanizomenon*-lajit (M. Kiirikki, tiedonanto). Vuonna 2010 Ruoriniemessä runsain syanobakteerilaji oli *Planktothrix agardii*. Laji vallitsi yhteisössä touko-kesäkuussa ja uudelleen syys-lokakuussa, jolloin syanobakteerien biomassassa myös kohosi. Heinä-elokuussa syanobakteeriyhteisö muodostui pääasiassa *Anabaena*-lajeista, mutta merkittäviä osuuksia yhteisöstä muodostivat myös *Aphanocapsa* ja *Chroococcus*-lajit sekä *Planktolyngbya limnetica*. Vuonna 2011 kasviplanktonnäytteet otettiin Harvasaaresta ja Lankiluodosta. Myös näissä näytteissä *Planktothrix agardii* oli runsain laji, mutta syanobakteerien kokonaisbiomassa jäi alhaisemmaksi ja jakaantui tasaisemmin eri lajien kesken. *Planktothrix agardii* oli runsain molemmilla asemilla kesäkuun alussa ja uudelleen elokuun alussa, mutta muutoin heinä-elokuussa Lankiluodolla runsaimpia olivat *Anabaena* ja *Aphanocapsa*-lajit ja etenkin elo-syyskuussa *Chroococcus*-lajit. Harvasaaresta kesäkuun lopussa runsastui *Anabaena flos-aquae*, sekä heinäkuussa *Pseudanabaena* sp. Elokuussa runsaimpia olivat *Anabaena*-lajit, *Planktolyngbya limnetica* ja syyskuussa *Snowella lacustris* ja *Microcystis aeruginosa*.

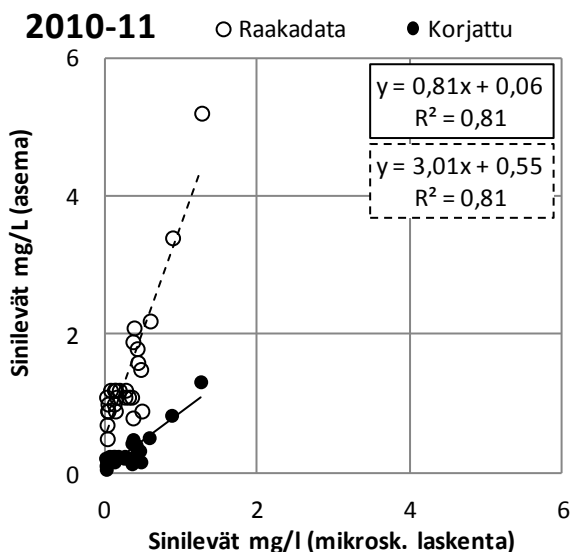
Fykosyaniinin fluoresenssin ja mikroskooppisesti määritetyn syanobakteerien biomassan välillä oli lineaarinen yhteys, vaikkakin käytössä oleva, Hiidenveden yhteisöön perustuva muuntokerroin tuotti todellisuutta suurempia biomassarvoja (Kuva 12). Koska fluoresenssin ja biomassan välillä oli

lineaarinen yhteys, testattiin aluksi voitaisiinko kaikilla lautoilla (Ruoriniemi 2010; Harvasaari 2011; Lankiluoto 2011) käyttää samaa korjausyhtälöä. Kovarianssianalyysissä mittauspiste eli lautta asetettiin kiinteäksi tekijäksi ja fykosyaniini kovariaatiksi eli oheismuuttujaksi. Fykosyaniinin fluoresenssi selitti merkittävästi ($p = 0,001$) syanobakteerien biomassassa havaittua vaihtelua, eikä lautalla ollut tilastollisesti merkittävää yhdysvaikutusta fykosyaniinin fluoresenssin kanssa ($p > 0,05$). Näin ollen lauttojen aineistot yhdistettiin, ja niille laskettiin yhteinen korjausyhtälö (Taulukko 5). Fykosyaniinin fluoresenssi selitti 81 % syanobakteerien biomassassa havaitusta vaihtelusta. Tätä yhtälöä käytettiin lauttojen fykosyaniinin fluoresenssin korjaamiseen (kuvat 12 ja 13).

Korjausyhtälöä testattiin myös riippumattomalla, vuoden 2009 aineistolla. Kuvassa 13 on esitetty vuoden 2009 Ruoriniemen fykosyaniinin korjaamaton fluoresenssi, yhtälöllä korjatut arvot, sekä kyseisen vuoden Lankiluodon velvoitetarkkailun (Lahti Aqua Oy / Lahti Energia Oy) kasviplanktonlaskentatulokset syanobakteerien biomassan osalta (Ramboll Analytics Oy). Yhtälö näytti korjaavan tuloksia myös tällä aineistolla, vaikkakin on huomattava, että velvoitetarkkailutulokset ovat eri pisteestä ja paksummasta vesipatsaasta (2 x näkösyvyys) kuin varsinaiset vertailunäytteet (1 m).

Kuten klorofyllin fluoresenssiin, myös fykosyaniinin fluoresenssiin vaikuttavat muutkin tekijät kuin varsinainen leväbiomassa, jota fluoresenssilla pyritään mittaamaan. Syanobakteerit eivät ole yhtenäinen joukko fykosyaniinin määrän suhteen, joten lajikoostumus sekä kasvuolosuhteet vaikuttavat fluoresenssiin (Seppälä ym. 2007). Selvästikin Vesijärven yhteisö vaatii eri korjauskertoimen kuin Hiidenvesi, mutta nähtäväksi jää, kuinka samanlaisena yhteisö säilyy tulevina vuosina. Pigmenttien määrä syanobakteerisolussa vaihtelee myös valaistuksen mukaan (Wetzel 2001). Lisäksi klorofyllin ja fykosyaniinin emissiospektrit ovat osittain päällekkäisiä (Seppälä ym. 2007), mikä saattaa selittää fykosyaniinin fluoresenssin taustaa: fluoresenssi oli koholla myös aikoina, jolloin laskentatulokset olivat lähellä nollaa (Kuva 12). Klorofyllin fluoresenssin (tai valaistuksen tai lämpötilan) lisääminen korjausyhtälöön ei kuitenkaan parantanut mallia.

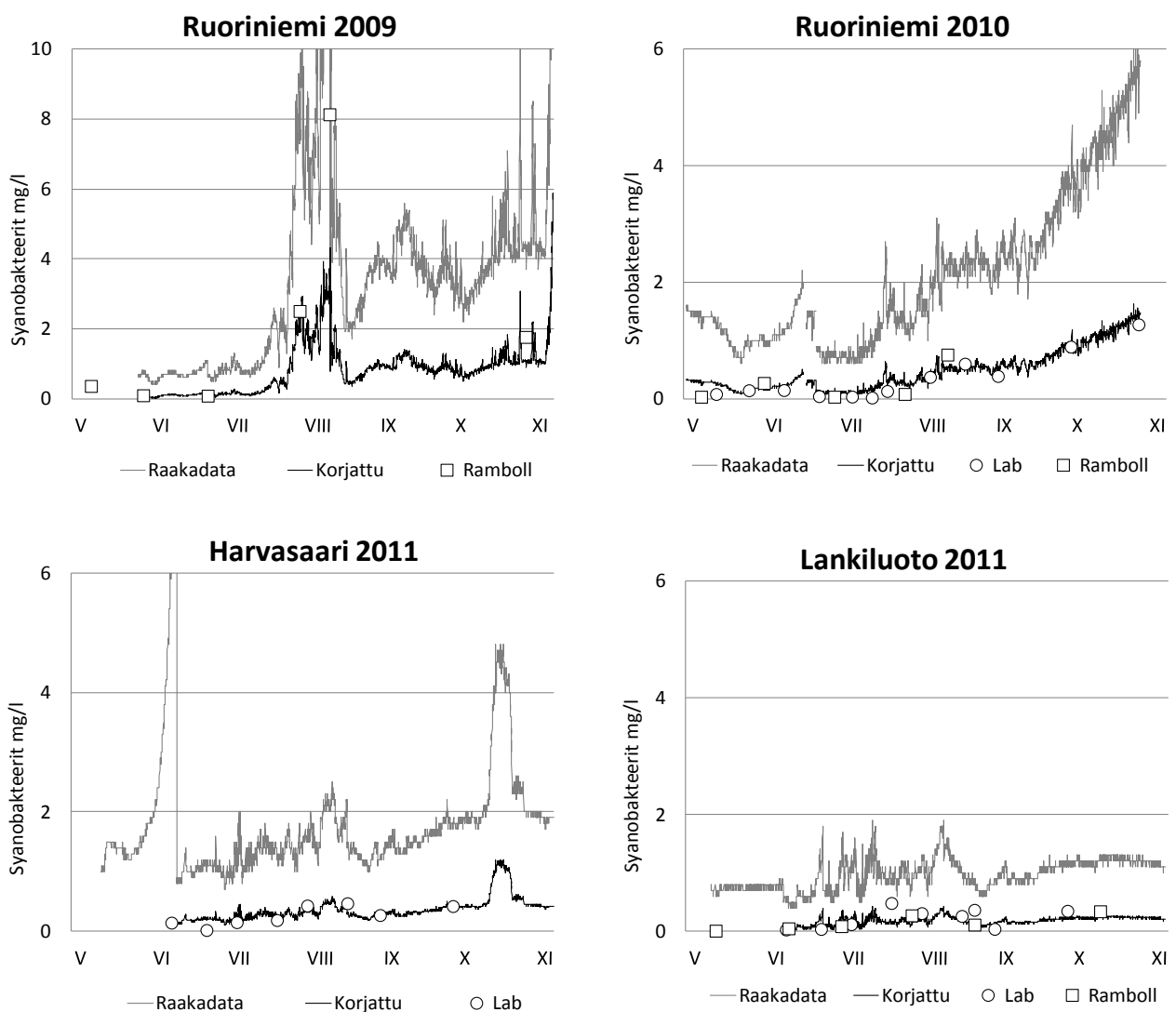
Klorofylli-anturin tavoin myös fykosyaniini-anturi on herkkä likaantumiselle, mikä voi johtaa nopeaan tason nousuun. Näin kävi etenkin Harvasaassa kesäkuun alussa 2011, minkä vuoksi ennen puhdistusta tulleet suuret arvot oli hylättävä. Myös loppukesällä Harvasaassa näkyy erikoinen tason nousu, joka on luultavasti likaantumisesta johtuva. Samanlaista nousua ei havaittu Lankiluodossa.



Kuva 12. Laboratoriossa mikroskooppilaskennalla määritetty syanobakteerien biomassa (x-akseli) suhteessa mittausaluttojen raakadataan (valkoiset ympyrät), sekä vertailunäytteisiin perustuvalla yhtälöillä korjattuun dataan (mustat ympyrät). Antureiden tuottama raakadata perustuu Hiidenvedellä tehtyyn kalibrointiin (Luode Consulting Oy).

Taulukko 5. Selitysaste (R^2), kerroin (a) ja vakio (b) lauttojen fykosyaniinin fluoresenssin korjauksessa käytetyille lineaariselle regressiomallille, jossa selitettävänä muuttujana on laboratoriossa mikroskooppilaskennalla määritetty syanobakteerien biomassa ja selittävänä muuttaja mittauslautan fykosyaniinin fluoresenssi (PC). Korjausyhtälö on muotoa $a \cdot PC + b$. Mallin tilastollinen merkitsevyys on ilmaistu tähdillä: $p \leq 0,05^*$, $p \leq 0,01^{**}$, $p \leq 0,001^{***}$

Asema	R^2	a (PC)	b (vakio)
Ruoriniemi 2010, Harvasaari 2011, Lankiluoto 2011	0,809***	0,269***	-0,091

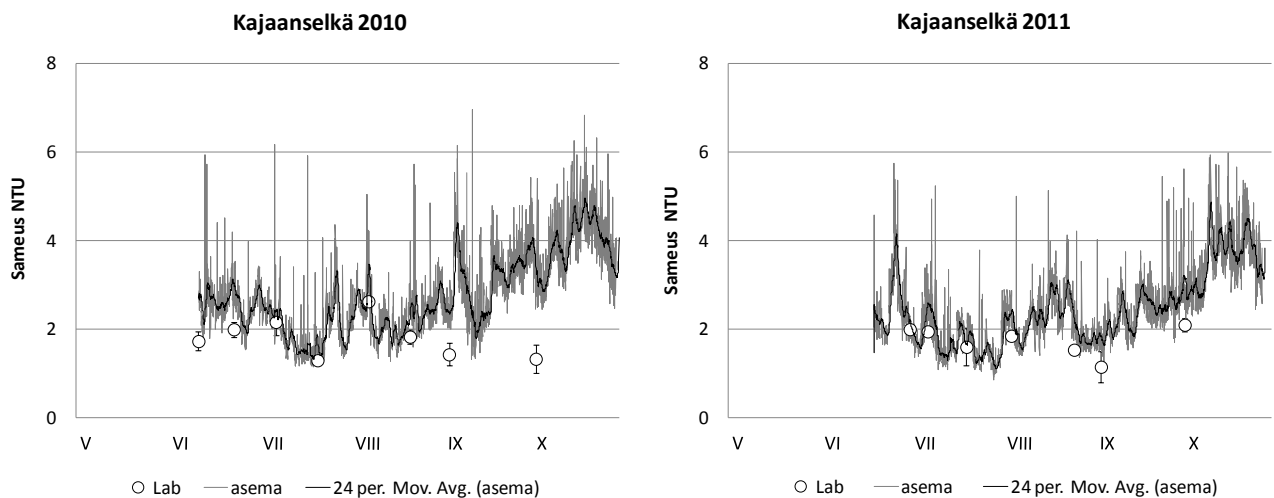


Kuva 13. Syanobakteerien biomassa mittauslautoilla vuonna 2009-2011: Lautoilta tuleva fykosyaniinin fluoresenssin raakadata (harmaa), vertailunäytteisiin perustuvalla yhtälöllä korjatut arvot (musta viiva) sekä vertailunäytteistä 2010 ja 2011 laboratoriossa mikroskooppilaskennalla saadut arvot (ympyrät). Vertailun vuoksi kuvissa on esitetty myös Vesijärven velvoitetarkkailun (Lahti Aqua Oy ja Lahti Energia Oy) kasviplanktonaineistosta syanobakteerien biomassa, jotka on määritetty Lankiluodosta vuosina 2009-2011 (neliöt; Ramboll Analytics Oy). Näitä arvoja ei ole käytetty aineiston kalibroinnissa.

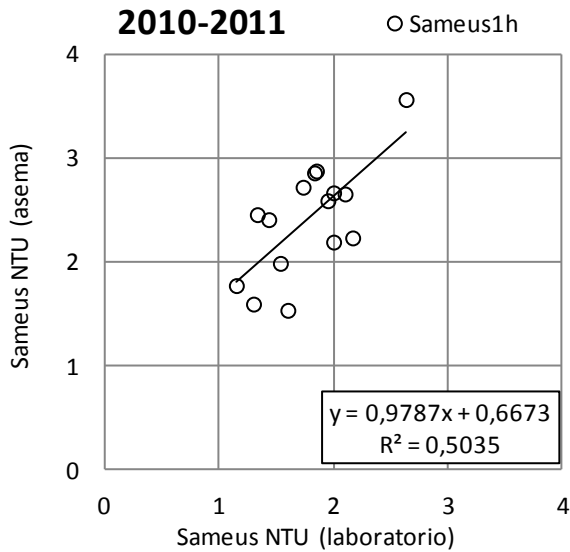
3.4. Sameus

Kajaanselän mittauslautalla on sameutta optisesti mittaava anturi. Vedessä olevat hiukkaset sirottavat säteilyä eri suuntiin, mihin perustuu ns. nefelometrinen mittaus. Hajasäteilyn voimakkuus riippuu paitsi tulevan säteilyn aallonpituudesta ja mittauskulmasta, myös vedessä olevien hiukkasten muodosta, optisista ominaisuuksista ja hiukkaskokojakaumasta (SFS-EN 27027). Koska näitä ei yleensä tunneta, ei sameusarvosta voida suoraan laskea hiukkasten massakonsentraatiota, vaikka sameusarvo sitä heijastaakin.

Sameusanturin tuloksissa oli varsin paljon yksittäisiä häiriöpiikkejä, jotka eivät edustaneet todellisia sameusarvoja. Kuvasta 14 on poistettu ns. ääriarvot (>3 kertaa aineiston kvartiiliväli), mutta aineistossa on edelleen piikkejä. Musta viiva kuvassa edustaa 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa, jolla vaihtelua pyrittiin tasaamaan. Pidemmän aikavälin keskiarvo ei kuitenkaan parantanut selitystasetta lautan ja laboratoriotulosten välillä verrattuna yhden tunnin arvoon (Kuva 15; 1 h arvolla $R^2 = 0,504$, 24 h arvolla $R^2 = 0,226$). Kesällä tulokset vastasivat varsin hyvin toisiaan, mutta sykyä kohden sameusarvot lautalla nousivat, ja laboratoriotulokset jäivät hieman lautan mittaustuloksia alhaisemmiksi. Ilmiö toistui molempina vuosina, mutta vuonna 2011 tulosten vastaavuus oli parempi. Kaiken kaikkiaan sameusarvojen vaihteluväli Kajaanselällä oli varsin pieni, eikä tuloksia ole syytä ryhtyä korjaamaan vertailunäytteiden pohjalta. Kahden kesän aikana laboratoriossa määritetyt Kajaanselän sameusarvot vaihtelivat välillä 1,2-2,6 keskiarvon ollessa 1,8 NTU. Enonselän lautoilla ei ole sameutta mittaavia antureita, mutta molempien kesien aikana sameutta mitattiin laboratoriossa myös Lankiluodon näytteistä kaukokartoitustulkintojen tueksi. Sameusarvot Lankiluodolla vaihtelivat välillä 1,6-3,0 keskiarvon ollessa 2,4 NTU.



Kuva 14 Vuosien 2010 ja 2011 sameuden mittaustulokset Kajaanselältä: lautan tulokset (harmaa viiva; mustalla 24 tunnin liukuva keskiarvo) ja laboratorionäytteet (ympyrä; rinnakkaisten näytteiden keskiarvo \pm keskihajonta, $n=3$ 2010, $n=2$ 2011).



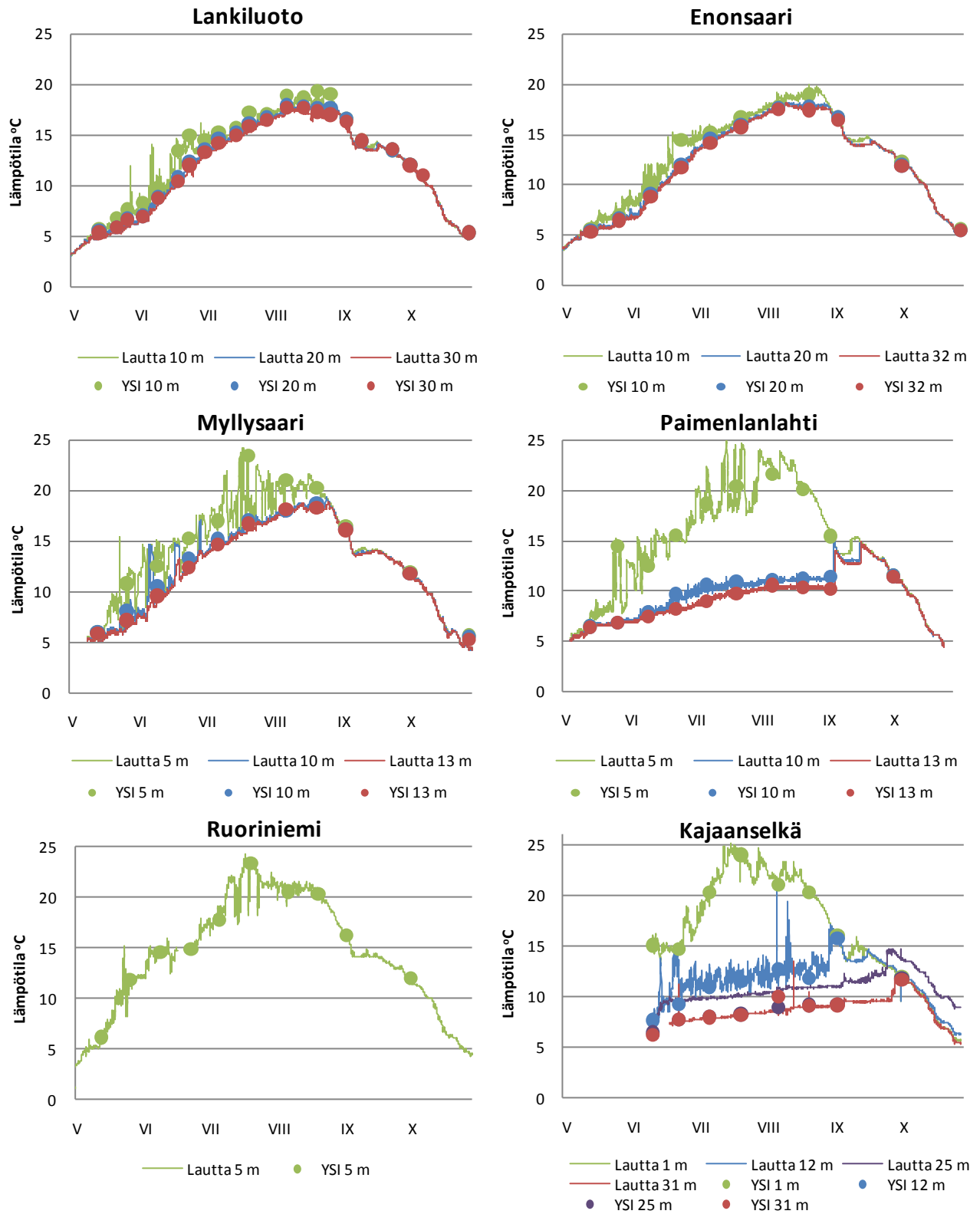
Kuva 15. Lineaarinen regressio laboratoriossa määritettyjen sameustulosten (x-akseli) ja mittauslautan tulosten (y-akseli) välillä.

3.5. Happipitoisuus ja lämpötila

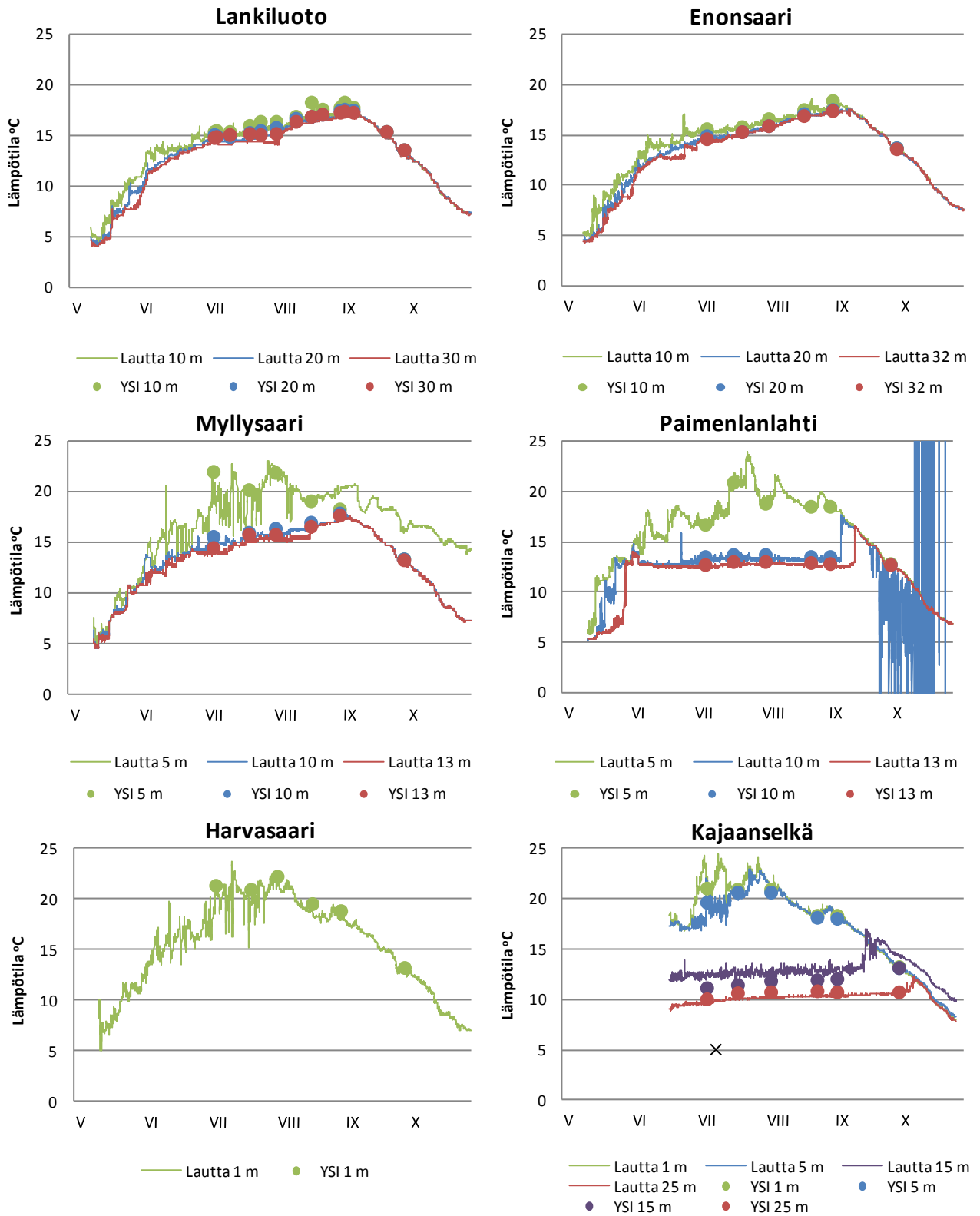
Mittauslauttojen lämpötila vastasi pääosin hyvin kenttämittauksia molempina vuosina (Kuvat 16 ja 17). Kajaanselän mittausaseman lämpötilat toiseksi syvimmässä syvyydessä (25 m 2010; 15 m 2011) poikkesivat kuitenkin koko mittauskauden kenttämittauksista, vuonna 2010 keskimäärin noin 1,8 astetta ja 2011 noin 1,1 astetta. Ero näkyy selvästi järven kerrostuneisuuden purkaututtua, jolloin lämpötilan pitäisi olla suunnilleen sama joka syvyydellä. Näin ollen mittarivirhettä ei ollut saatu korjattua. Paimelanlahdella syvyyden 10 m lämpötila-anturin lukemat rupesivat heittelehtimään syksyllä 2011. Myös Myllysaaren 5 metrin lukemat olivat syksyllä 2011 vertailunäytteitä ja muita syvyyksiä korkeammat. Aineistoa voidaan ehkä korjata muiden antureiden tiedoilla, sillä rikkoontuminen sattui järven jo kiertäessä.

Happipitoisuuksissa hajontaa eri mittausmenetelmien välillä oli enemmän (Kuvat 18 ja 19). Pääosin lautauksen tulokset vastasivat varsin hyvin kenttämittauksia kerrostuneisuuskauden loppuun asti, joskin kenttämittaukset olivat vuonna 2010 säännönmukaisesti hieman mittauslauttojen tuloksia alhaisempia. Laboratoriossa titratut näytteet vastasivat kuitenkin hyvin lauttojen tuloksia. Vuonna 2011 käytössä oli uusi optinen YSI-mittari, joka tosin saatiin kenttäkierrokselle vasta heinäkuun alkuun. Nämä kenttämittaukset vastasivat varsin hyvin lauttojen aineistoa. Vuonna 2011 Lankiluodon aseman aineistoa verrattiin myös Hertta-tietokannan aineistoon laboratoriossa määritetystä happipitoisuudesta (Ramboll Analytics Oy). Titraukset vastasivat hyvin aseman tuloksia kesä-heinäkuussa, mutta toukokuussa ja lokakuussa pitoisuuksien ollessa korkeita titraukset osoittivat alhaisempia pitoisuuksia kuin lautat.

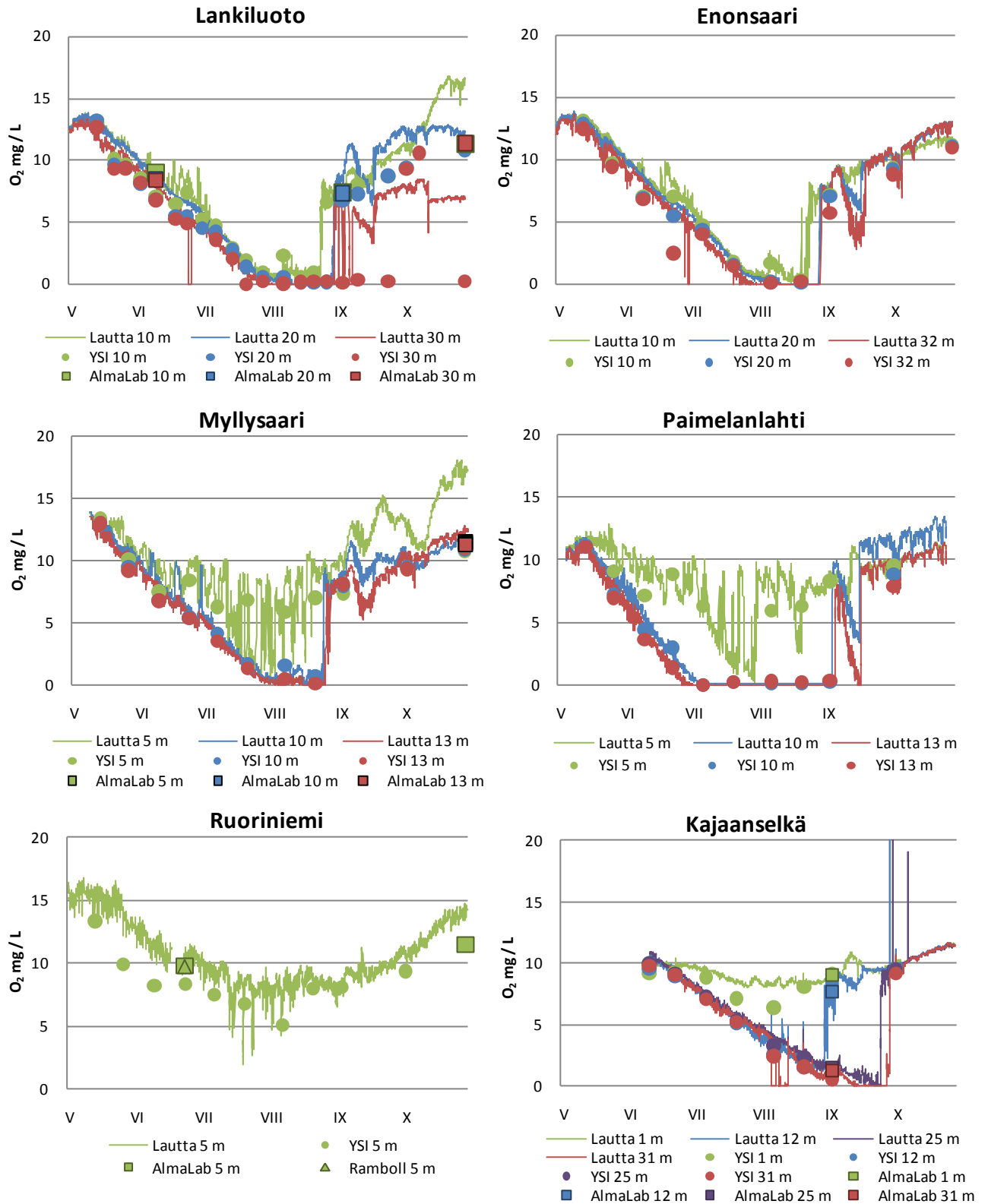
Eroja lautauksen ja kenttämittarin tulosten välille voivat kerrostuneisuuskaudella aiheuttaa erot mittausyvytydessä, etenkin mitattaessa lähellä pohjaa. Muutoin erot korostuivat korkeissa pitoisuuksissa, mihin voi olla kaksi syytä: 1) Korkeimmissa pitoisuuksissa happiantureiden mittausvaste ei välttämättä ole enää lineaarinen, mikä on varsin yleinen ilmiö. 2) Vedessä olevien happiantureiden mittausvaste muuttuu hitaasti kesän aikana. Tämä muutos voi olla erilainen eri syvyyksillä, jos järvi on hapen suhteen kerrostunut. Erot mittausvasteessa voivat näkyä yllättävästi syksyn täyskierron aikana, jolloin hapettomassa vedessä olleet anturit antavat suhteessa korkeampia pitoisuuksia (M. Kiikikki, suullinen tiedonanto). Kerrostuneisuuden päätyttyä Enonselällä elo-syyskuun vaihteessa osa mittauslauttojen antureista antoi selvästi korkeampia tuloksia molempina vuosina. Osassa antureista kalvoon oli tullut vaurio (M. Kiikikki, tiedonanto). Kalvovauriot korjataan ja tarkastetaan aina ennen seuraavaa kesää (Luode Consulting Oy). Kajaanselän happianturi on optinen, ja mittaus tulokset muutamia häiriöpiikkejä lukuun ottamatta vastasivat hyvin kenttämittauksia myös syksyllä.



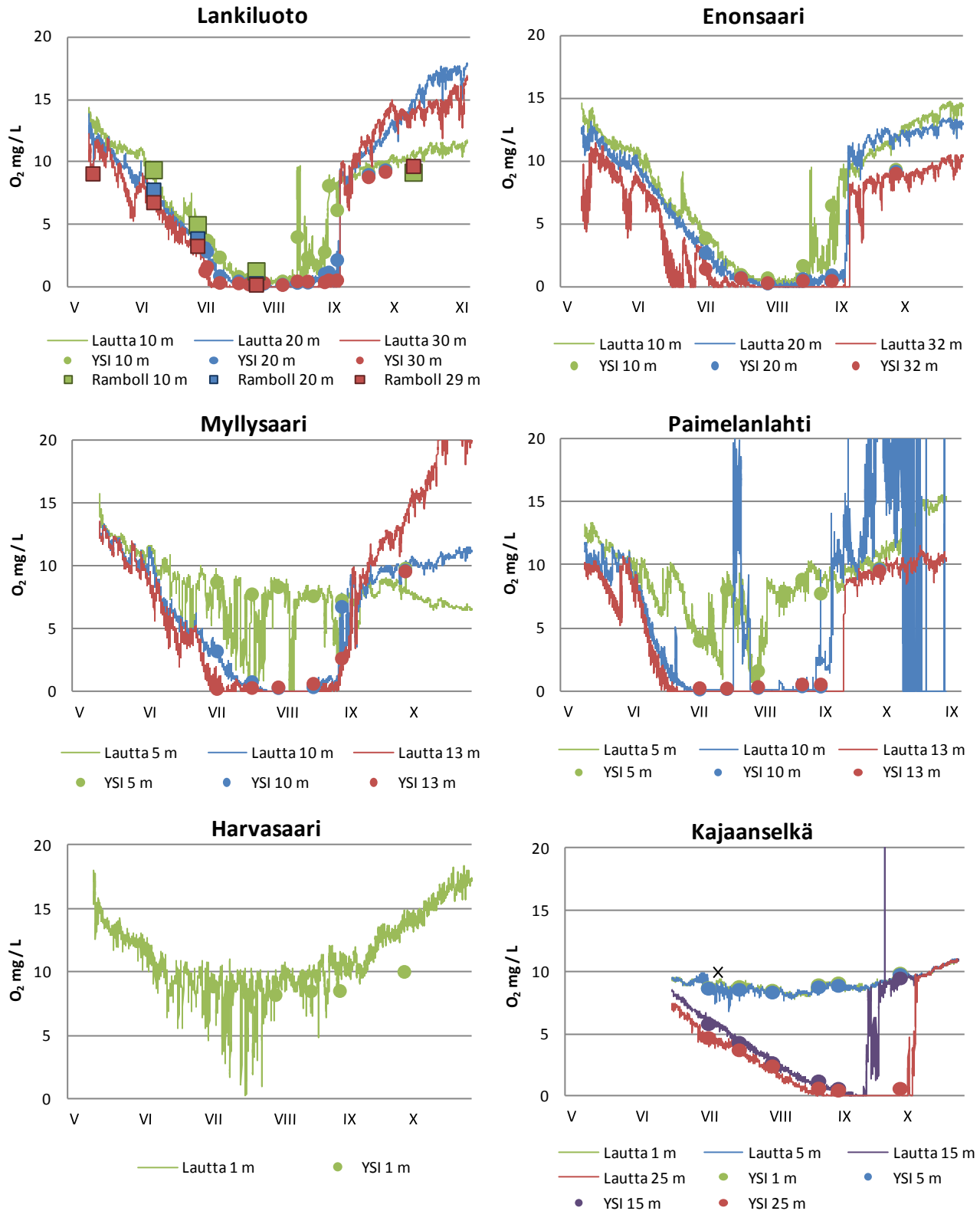
Kuva 16. Lämpötila Vesijärven mittausasemilla eri syvyyksissä 2010. Kuvassa on verrattu mittauslautan lämpötila-anturien tuottamaa aineistoa (yhtenäinen viiva) YSI 52 -kenttämittarilla saatuihin tuloksiin (ympyrät) samoilta syvyyksiltä (mittausyvytydet ilmaistu värein). Huomaa anturien erilaiset syvyydet eri mittauspaikoilla.



Kuva 17. Lämpötila Vesijärven mittausasemilla eri syvyyksissä 2011. Kuvassa on verrattu mittauslautan lämpötila-anturien tuottamaa aineistoa (yhtenäinen viiva) YSI Pro Odo -kenttämittarilla saatuihin tuloksiin (ympyrät) samoilta syvyyksiltä (mittausyvytydet ilmaistu värerein). Kajaanselän lautan siirtöpäivä on ilmaistu rastilla.



Kuva 18. Happipitoisuus Vesijärven mittausasemilla eri syvyyksissä 2010. Kuvassa on verrattu lautan happianturien tuottamaa aineistoa (yhtenäinen viiva) YSI 52 -kenttämittarilla saatuihin tuloksiin (ympyrät) samoista syvyyksistä (mittausvyvydet ilmaistu värein). Lankiluodolta, Myllysaaresta, Ruoriniemestä, sekä Kajaanselältä happipitoisuutta on lisäksi määritetty laboratoriossa (AlmaLab, neliö; Ramboll, kolmio).



Kuva 19. Happipitoisuus Vesijärven mittausasemilla eri syvyyksissä 2011. Kuvassa on verrattu lautan happianturien tuottamaa aineistoa (yhtenäinen viiva) YSI Pro ODO -kenttämittarilla saatuihin tuloksiin (ympyrät) samoista syvyyksistä (mittausvyvydet ilmaistu värein). Lankiluodolta happipitoisuutta on lisäksi määritetty laboratoriossa (Hertta-tietokanta, Ramboll, neliö). Kajaanselän lautan siirto on ilmaistu rastilla.

Happipitoisuuden mittaaminen on haasteellista paitsi sekoittuvasta, pinnanläheisestä kerroksesta (1-5 m), myös aivan pohjanläheisestä kerroksesta. Syvänealueiden mittauslautoilla (Lankiluoto, Enonsaari, Kajaanselkä) kaikkein syvimmällä olevien anturien tuloksissa oli vuonna 2010 äkillisiä pudotuksia noltaan (Kuva 18). Jos happianturi asennetaan mittaamaan liian lähelle pohjaa, anturi saattaa saada pohjakosketuksia jossain vaiheessa mittauskautta. Näin on käynyt esimerkiksi lauttojen liikkua kovalla tuulella. Kajaanselällä lautta oli erityisen altis tuulille, joten sen sijaintia muutettiin mittauskaudelle 2011. Mittauskaudella 2011 tällaisia ongelmia ei lautoilla ilmennyt.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Sinilevien eli cyanobakteerien merkitys Vesijärven klorofyllin fluoresenssin kalibroinnissa havaittiin jo vuoden 2010 aineistolla (vrt. Kalibroitiraportti 2010). Yhteys klorofyllin fluoresenssin ja laboratoriomittausten välillä katosi cyanobakteerien runsastuttua. Cyanobakteereilla suurin osa klorofyllistä sijaitsee ei-fluoresoivassa fotosysteemi I:ssä, mutta fluoresoimaton osa saadaan kuitenkin määritettyä spektrofotometrisesti laboratoriossa normaalilla uutolla. Vuoden 2011 mittausaineisto tuki tätä päätelmää, sillä cyanobakteerien määrän ollessa vähäinen klorofyllin fluoresenssin yhteys laboratoriomäärityksiin säilyi. Molemmille mittausjaksoille saatiin kuitenkin kohtuullisen hyvä klorofyllin fluoresenssin kalibrointitulokset yhtälöllä, jossa korjaukseen otettiin klorofyllin fluoresenssin lisäksi mukaan selittäväksi tekijäksi fykosyaniinin fluoresenssi. Koska fykosyaniinia ei mitata kaikilla lautoilla, ja lisäksi mittaus suorittavien lauttojen paikka ja määrä muuttuivat tutkimusvuosien välillä, päädyttiin kahden vuoden aineistot pitämään pääosin erillisinä. Tämän vuoksi molemmille vuosille laadittiin omat lauttakohtaiset korjausyhtälöt, mutta jatkossa kannattaa pyrkiä yhdistämään eri vuosien aineistot mahdollisimman toimivan korjausyhtälön aikaansaamiseksi. Tarkin korjaus saadaan aina vuosikohtaisella kalibroinnilla, mutta resurssien käytön kannalta ihanteellinen olisi, että sama korjausyhtälö toimisi useana vuonna levätilanteen muutoksista huolimatta. Tällöinkin tarvitaan jonkin verran vertailunäytteitä aineiston oikeellisuuden varmistamiseksi.

Sameuden, lämpötilan tai valaistuksen liittäminen selittäväksi tekijäksi klorofyllipitoisuudelle ei tuottanut parempaa mallia kuin pelkän klorofyllin ja fykosyaniinin fluoresenssin liittäminen. Valon lisääntyminen keskipäivällä vaikutti kuitenkin klorofyllin fluoresenssiin alentavasti. Yhteys ei ollut yhtä voimakas loppukesällä kuin alkukesällä, ja etenkin syksyllä tilanne erosi vuosien välillä. Vaikka valo vaikuttaa fluoresenssiin, yhteys ei ole helposti korjattavissa, sillä vaihtelua tuovat lisäksi valon tulokulman ja veden sameuden muutokset, sekä levämäärän liikkeet ja koostumuksen muutokset. Luultavasti yksinkertaisin menetelmä valaistuksen vaikutuksen poistamiseksi klorofyllin fluoresenssiin olisi käyttää yöaikaan saatuja mittaus tuloksia. Tämä periaatteessa edellyttäisi vertailunäytteiden hakemista yöaikaan. Tässä raportissa esitetyt korjauskertoimet on laskettu päivätulosten perusteella, jolloin vertailunäytteet oli haettu.

Fykosyaniinin fluoresenssin ja mikroskooppisesti määritetyn cyanobakteerien biomassan välillä oli lineaarinen yhteys, mutta käytössä oleva Hiidenveden aineistoon perustuva muuntokerroin tuotti todellisuutta suurempia biomassa-arvoja. Toisin kuin Hiidenvedellä Vesijärven cyanobakteeriyhteisössä runsaimpana lajina esiintyi *Planktothrix agardii*. Eri fykosyaniiniantureiden aineistot (Ruoriniemi, Harvasaari, Lankiluoto) yhdistettiin korjausyhtälön laatimiseksi. Fykosyaniinin fluoresenssi selitti n. 80 % cyanobakteerien biomassassa havaitusta vaihtelusta. Saavutettu alustava korjausyhtälö antoi lupaavia tuloksia lauttojen fykosyaniinin fluoresenssin korjaamiseksi cyanobakteeribiomassaa vastaavaksi.

Happipitoisuuden ja lämpötilan osalta mittausasemilta saatavat tulokset vastasivat molempina vuosina touko-elokuun ajalta kokonaisuudessaan hyvin vertailunäytteitä. Syys-lokakuussa vastaavuus oli hapen osalta heikompi, kun osa antureista näytti liian korkeita pitoisuuksia. Tähän voi olla syyinä erilainen mittausvasteen muutos kesän aikana eri vesikerroksissa, mutta myös anturin kalvon kesän aikana tulleet vauriot, jotka tulevat näkyviin kerrostuneisuuden purkautuessa. Vuonna 2010 syvimpien anturien riesana olleita pohjakosketuksia ei vuonna 2011 esiintynyt.

Automaattisen mittaustoiminnan kehittäminen luotettavaksi seurantatavaksi vaatii tutkimus- ja kehitystyötä, puhumattakaan sen avulla saatujen tulosten osoittamien varsinaisten ilmiöiden analysoimisesta ja tulokinnasta erilaisten tiedon käyttäjien tarpeisiin. Suuren mittaustietokannan kerääminen asettaa haasteita myös tiedon tallennukselle. JVP-hankkeessa on perustettu tietokanta (HY), johon suuria määriä mittaustietoa voidaan tallentaa siten, että mukana on myös tieto tiedon alkuperästä sekä laadunvarmistuksen tasosta. Esimerkiksi klorofylliaineisto voidaan tallentaa 1) raakadatana, 2) edellisten vuosien yhtälöillä korjattuna datana, ja kesän päätteeksi 3) lopullisesti kalibroitu datana, jolloin käytössä ovat olleet jo kyseisen vuoden vertailunäytteet, sekä vielä 4) manuaalisesti tarkistettuna aineistona, josta kalibrointityön lisäksi ovat poistettu kaikki antureiden likaantumisen tai muusta sellaisesta aiheutuneet virheelliset arvot. Raakadatan tallentaminen on erityisen tärkeää, jotta alkuperäiseen aineistoon voidaan aina palata, jos myöhemmät tutkimukset antavat siihen aiheita.

Fluoresenssi on varsin haastava tapa seurata kasviplanktonin määrää, varsinkin jos kasviplanktonin biomassasta halutaan mahdollisimman luotettavaa tietoa. Fluoresenssin mittaus edellyttää rinnalleen panostusta vertailunäytteiden ottoon sekä aineiston käsittelyyn, minkä laajuus riippuu tiedon loppukäyttäjien tarpeista aineiston laadun suhteen. Rajoitteistaan huolimatta automaattinen mittaus on kuitenkin hyvä lisä perinteisen vesistöseurannan rinnalle. Automaattiseurannan ehkä suurin arvo on siinä, että sen avulla voidaan saada ennakkovaroitus haitallisten leväkukintojen kehittymisestä (ns. early warning -systeemi). Lisäksi sen avulla voidaan havainnoida paremmin Enonselälläkin tyypillistä levämäärien huomattavaa alueellista ja ajallista vaihtelua, joiden syitä ja seurauksia jatkuvatoiminen mittaus voi ihannetapauksessa auttaa selventämään. Tässä raportissa kuvattujen haasteiden ratkaisemiseksi JVP-hankkeessa tehty laadunvarmistustyö on lupaava alku.

KIRJALLISUUS

- ACT 2005: Applications of *in situ* fluorometers in nearshore waters. ACT, Alliance for Coastal Technologies, Workshop proceedings Cape Elizabeth, Maine, February 2-4, 2005.
- Anttila, S., Kairesalo, T. & Pellikka, P. 2008: A feasible method to assess inaccuracy caused by patchiness in water quality monitoring. - *Environmental Monitoring and Assessment* 142:11–22
- Anttila S., Ketola M., Vakkilainen K. & Kairesalo T. 2012a: Assessing temporal representativeness of water quality monitoring data. – *Journal of Environmental Monitoring* 14: 589-595.
- Anttila S., Bröckl M., Herlevi A., Kallio K., Ketola M., Koponen S., Kuitunen P., Pyhälähti, T., Ryyänen T., Vakkilainen K. & Kairesalo, T. 2012b: Avoin ympäristötieto – yhteistyön kehittäminen vesistöjen seurannassa. Suomen ympäristö 17/2012, Ympäristönsuojelu, s. 50.
- Campbell, D., Hurry, V., Clarke A.K., Gustafsson, P. & Öquist, G. 1998: Chlorophyll fluorescence analysis of cyanobacterial photosynthesis and acclimation. – *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 62: 667-683.
- Gerber, S. & Häder, D.-P. 1995: Effects of enhanced solar irradiation on chlorophyll fluorescence and photosynthetic oxygen production of five species of phytoplankton. – *FEMS Microbiology Ecology* 16: 33-42.
- Gregor, J., Geris, R., Marsalek, B., Hetesa, J & Marvan, P. 2005: In situ quantification of phytoplankton in reservoirs using a submersible spectrofluorometer. – *Hydrobiologia* 548: 141-151.
- Horpilla, J., Peltonen, H., Malinen, T., Luokkanen, E. & Kairesalo, T. 1998: Top-down or bottom-up effects by fish: issues of concern in biomanipulation of lakes. - *Restoration Ecology* 6: 20-28.
- Keto, J., Tallberg, P., Malin, I., Vääränen, P. & Vakkilainen, K. 2005: The horizon of hope for L. Vesijärvi, southern Finland: 30 years of water quality and phytoplankton studies. – *Verh. Int. Verein. Limnol.* 29: 448-452.
- Kruskopf, M. & Flynn, K.J. 2006: Chlorophyll content and fluorescence responses cannot be used to gauge reliably phytoplankton biomass, nutrient status or growth rate. – *New Phytologist* 169: 525-536.

Lepistö, A., Huttula, T., Granlund, K., Kallio, K., Kiirikki, M., Kirkkala, T., Koponen, S., Koskiahho, J., Liukko, N., Malve, O., Pyhälähti, T., Rasmus, K. & Tattari, S. 2010: Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa - pilottina Säkylän Pyhäjärvi. - *Suomen ympäristö* 9/2010, Ympäristönsuojelu, 46 s., Suomen ympäristökeskus.

Lorenzen, C.J. 1966: A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. - *Deep-Sea Research* 13: 223-227.

Richardson, T.L., Lawrenza, E., Pinckney, J.L., Guajardo, R.C, Walker, E.A., Paerl, H.W. & MacIntyre, H.L. 2010: Spectral fluorometric characterization of phytoplankton community composition using the Algae Online Analyser. - *Water Research* 44: 2461-2472.

Schallenberg, C., Lewis, M.R., Kelley, D.E. & Cullen, J.J. 2008: Inferred influence of nutrient availability on the relationship between Sun-induced chlorophyll fluorescence and incident irradiance in the Bering Sea. - *J. Geophysical Research* 113: 13255-213266.

Seppälä, J. & Balode, M. 1998: The use of spectral fluorescence methods to detect changes in the phytoplankton community. - *Hydrobiologia* 262: 207-217.

Seppälä, J., Ylöstalo, P., Kaitala, S., Hällfors S., Raateoja M. & Maunula, P. 2007: Ship-of-opportunity based phyocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea. - *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 489-500.

SFS 5772, 1993: *Veden α -klorofyllipitoisuuden määrittäminen. Etanoliutto. Spektrofotometrinen menetelmä.* Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 25813, 1993: *Veden laatu. Liuenneen hapen määrittäminen. Jodometrinen menetelmä.* Suomen standardisoimisliitto

SFS-EN 27027, 1994: *Veden laatu. Sameuden määrittäminen.* Suomen standardisoimisliitto.

Vakkilainen, K., Nykänen, M., Kairesalo, T. & Anttila, S. 2010: Miten kasvava ympäristötiedon määrä ja tarve kohtaavat? - *Ympäristö ja Terveys* 41(5): 62-68.

Wetzel, R. G. 2001: *Limnology. Lake and river ecosystems.* - Academic Press, NY, USA. 3rd edition 1006 s.

Liitteet: Laboratoriossa määritettyjen vertailunäytteiden tulokset.

Liite 1: Klorofylli- α 2010

Liite 2: Klorofylli- α 2011

Liite 3: Syanobakteerien kokonaisbiomassa 2010 ja 2011

Liite 4: Happipitoisuus 2010

Liite 5: Sameus 2010

Liite 6: Sameus 2011

Liite 1. Laboratoriossa määritetty klorofylli-a pitoisuus (1-3 rinnakkaista) mittausasemilla kesällä 2010.

paikka	pvm	klo	syvyys m	klorofylli 1	klorofylli 2	klorofylli 3	syvyys m	klorofylli 1	klorofylli 2	klorofylli 3
				µg/l	µg/l	µg/l		µg/l	µg/l	µg/l
Lankiluoto	12.5.2010	10:20	1	6,2	9,9	4,1	2	6,2	4,5	3,4
	25.5.2010	11:30	1	10,1	9,7	9,9	2	10,4	10,5	10,3
	8.6.2010	10:00	1	5,2	5,6	6,2	2	5,6	5,6	5,2
	8.6.2010	10:00	1	5,3	5,7	5,7	2	5,4	5,4	5,0
	17.6.2010	9:30	1	6,3	5,4	5,5				
	17.6.2010	9:30	1	6,0	5,1	5,4				
	17.6.2010	16:30	1	6,0	6,5	6,5				
	17.6.2010	16:30	1	7,8	6,8	7,6				
	18.6.2010	1:00	1	5,4	7,2	7,4				
	18.6.2010	1:00	1		6,8	6,8				
	18.6.2010	9:30	1	7,5	7,9	7,7				
	18.6.2010	9:30	1	7,9	7,6	7,8				
	22.6.2010	10:15	1	7,3	7,2	7,3				
	5.7.2010	13:00	1	7,5	7,9	7,0				
	19.7.2010	12:00	1	10,0	11,0	11,0				
	5.8.2010	13:15	1	15,8	16,2	16,5				
	19.8.2010	10:55	1	14,8	14,3	14,7				
	1.9.2010	13:05	1	10,0	9,4	9,9				
	30.9.2010	13:25	1	15,1	15,8	14,7				
	27.10.2010	10:40	1	14,3	14,4	14,1				
Enonsaari	12.5.2010	10:10	1	9,0						
	25.5.2010	10:45	1	8,7						
	8.6.2010	11:00	1	7,4	6,6					
	22.6.2010	10:30	1	7,5						
	5.7.2010	12:40	1	5,2						
	19.7.2010	11:50	1	9,4						
	5.8.2010	13:00	1	14,8						
	19.8.2010	10:45	1	15,0						
	1.9.2010	12:50	1	12,0						
	30.9.2010	13:15	1	15,7						
27.10.2010	10:20	1	14,6							
Myllysaari	12.5.2010	11:00	1	7,3						
	25.5.2010	11:45	1	8,5						
	8.6.2010	9:40	1	8,1	8,2					
	22.6.2010	10:00	1	6,4						
	5.7.2010	13:15	1	7,0						
	19.7.2010	12:20	1	7,3						
	5.8.2010	13:40	1	15,4						
	19.8.2010	11:10	1	13,0						
	1.9.2010	13:40	1	12,0						
	30.9.2010	13:40	1	13,4						
27.10.2010	12:00	1	13,8							
Paimelanlahti	12.5.2010	9:45	1	12,8	12,8					
	25.5.2010	10:30	1	11,5						
	8.6.2010	11:45	1	8,6	8,0					
	21.6.2010	9:30	1	12,0						
	5.7.2010	10:45	1	7,8						
	19.7.2010	10:00	1	18,0						
	5.8.2010	10:00	1	17,9						
	19.8.2010	9:00	1	16,5						
	1.9.2010	10:00	1	20,4						
	30.9.2010	12:50	1	15,7						
Ruoriniemi	12.5.2010	11:15	1	9,3						
	25.5.2010	12:00	1	9,1						
	8.6.2010	9:30	1	6,3	5,5					
	22.6.2010	9:30	1	7,5						
	5.7.2010	13:25	1	7,1						
	19.7.2010	12:30	1	8,3						
	5.8.2010	13:50	1	14,8						
	19.8.2010	11:20	1	13,3						
	1.9.2010	13:55	1	10,6						
	30.9.2010	13:50	1	16,5						
27.10.2010	12:45	1	13,1							
Kajaanselkä	9.6.2010	15:00	1	2,0	2,3					
	9.6.2010	15:00	1	2,4	2,5					
	21.6.2010	11:00	1	4,2	4,0	3,9				
	5.7.2010	11:30	1	1,8	2,1	1,9				
	19.7.2010	10:50	1	4,1	4,1	3,7				
	5.8.2010	11:30	1	4,3	4,4	4,3				
	19.8.2010	9:50	1	3,6	3,4	3,7				
	1.9.2010	11:20	1	6,6	6,8	6,9				
	30.9.2010	12:00	1	7,3	8,6	8,2				

Liite 2. Laboratoriossa määritetty klorofylli-*a* pitoisuus (1-3 rinnakkaista määritystä) mittaus-
asemilla kesällä 2011.

paikka	pvm	klo	syvyys m	klorofylli 1 µg/l	klorofylli 2 µg/l	klorofylli 3 µg/l	Huom.
Lankiluoto	8.6.2011	11:50	1	6,2	6,6		
	22.6.2011	10:00	1	4,4	5,9	7,4	
	4.7.2011	10:25	1	8,3			
	20.7.2011	10:05	1	9,1	9,3	9,3	
	1.8.2011	11:10	1	8,9			*
	17.8.2011	10:05	1	11,5			*
	30.8.2011	10:50	1	13,0			*
	28.9.2011	10:30	1	10,5	10,9		
Enonsaari	8.6.2011	11:40	1	6,2			
	22.6.2011	9:49	1	6,1			
	4.7.2011	10:10	1	9,0			
	20.7.2011	9:50	1	9,9	10,0		
	1.8.2011	10:50	1	8,3			*
	17.8.2011	9:50	1	11,2			*
	30.8.2011	10:30	1	11,5			*
	28.9.2011	10:15	1	10,1	9,2		
Harvasaari	8.6.2011	10:28	1	5,1			
	22.6.2011	9:23	1	7,0			
	4.7.2011	9:55	1	5,8			
	20.7.2011	9:30	1	10,3			
	1.8.2011	10:30	1	8,2			*
	17.8.2011	9:35	1	9,3			*
	30.8.2011	10:10	1	13,1			*
	28.9.2011	9:50	1	11,1			
Myllysaari	8.6.2011	12:05	1	5,9			
	22.6.2011	10:25	1	6,4			
	4.7.2011	10:45	1	6,3			
	20.7.2011	10:30	1	9,9			
	1.8.2011	11:30	1	6,8			*
	17.8.2011	10:35	1	10,2			*
	30.8.2011	11:10	1	10,1			*
	28.9.2011	10:50	1	11,7			
Paimelanlahti	8.6.2011	11:00	1	7,4			
	29.6.2011	10:00	1	6,7			
	5.7.2011	10:00	1	13,8			
	18.7.2011	11:55	1	6,9			
	2.8.2011	9:45	1	10,8	10,4		*
	23.8.2011	12:30	1	13,2			*
	1.9.2011	10:40	1	10,0	9,9		*
	29.9.2011	13:15	1	21,3			
Kajaanselkä	29.6.2011	10:55	1	2,0			
	5.7.2011	11:00	1	5,4			
	18.7.2011	9:30	1	3,2			
	2.8.2011	10:40	1	4,1			*
	23.8.2011	10:50	1	4,9	4,7		*
	1.9.2011	11:25	1	4,6			*
	29.9.2011	11:50	1	9,5			

*) Tähdellä merkittyjen päivien tulokset on korjattu laskennallisesti määrittäessä tapahtuneen virheen vuoksi (A750 ei nolattu).

Liite 3. Mikroskooppilaskennalla määritetty syanobakteerien biomassa fykosyaniiniantureiden vieressä 2010 ja 2011.

paikka	pvm	klo	syvyys m	CYANOPHYCEAE mg/l
Ruoriniemi	12.5.2010	11:15	1	0,072
	25.5.2010	12:00	1	0,136
	8.6.2010	9:30	1	0,139
	22.6.2010	9:30	1	0,035
	5.7.2010	13:25	1	0,027
	13.7.2010		1	0,011
	19.7.2010	12:30	1	0,123
	5.8.2010	13:50	1	0,366
	19.8.2010	11:20	1	0,593
	1.9.2010	13:55	1	0,381
	30.9.2010	13:50	1	0,887
	27.10.2010	12:45	1	1,268
	Lankiluoto	8.6.2011	11:50	1
22.6.2011		10:00	1	0,039
4.7.2011		10:25	1	0,121
20.7.2011		10:05	1	0,484
1.8.2011		11:10	1	0,310
17.8.2011		10:05	1	0,262
22.8.2011		10:05	1	0,367
30.8.2011		10:50	1	0,041
28.9.2011		10:30	1	0,350
Harvasaari		8.6.2011	10:28	1
	22.6.2011	9:23	1	0,021
	4.7.2011	9:55	1	0,152
	20.7.2011	9:30	1	0,187
	1.8.2011	10:30	1	0,430
	17.8.2011	9:35	1	0,469
	30.8.2011	10:10	1	0,271
	28.9.2011	9:50	1	0,422

Liite 4. Laboratoriossa määritetty happipitoisuus (2-3 rinnakkaista määritystä) eri mittausasemilla kesällä 2010.

paikka	pvm	klo	syvyys m	Happi 1 mg/l	Happi 2 mg/l	Happi 3 mg/l
Lankiluoto	8.6.2010	10:00	10	9,0	9,0	
	8.6.2010	10:00	20	8,6	8,5	
	8.6.2010	10:00	30	8,4	8,4	
	1.9.2010	13:05	10	7,4	7,5	
	1.9.2010	13:05	20	7,4	-	
	27.10.2010	10:40	10	11,4	11,3	
	27.10.2010	10:40	20	11,3	11,3	
	27.10.2010	10:40	30	11,5	11,3	
Kajaanselkä	1.9.2010	11:20	1	9,1	-	
	1.9.2010	11:20	12	6,3	8,9	
	1.9.2010	11:20	25	1,5	1,4	
	1.9.2010	11:20	31	1,3	-	
Myllysaari	27.10.2010	12:00	5	11,6	11,5	
	27.10.2010	12:00	10	11,4	11,5	
	27.10.2010	12:00	12	11,4	11,3	
Ruoriniemi	22.6.2010	9:30	5	9,8	9,6	9,8
	27.10.2010	12:45	5	11,4	11,5	

Liite 5. Laboratoriossa määritetty sameus (3 rinnakkaista määritystä) Lankiluodon ja Kajaanselän mittausasemilla kesällä 2010.

Paikka	Pvm	klo	syvyys m	sameus 1 NTU	sameus 2 NTU	sameus 3 NTU
Lankiluoto	12.5.2010	10:20	1	1,6	3,3	3,7
	25.5.2010	11:30	1	1,6	1,4	1,9
	8.6.2010	10:00	1	1,5	1,6	1,8
	22.6.2010	10:15	1	2,4	2,5	2,8
	5.7.2010	13:00	1	1,6	1,8	1,5
	19.7.2010	12:00	1	3,1	1,9	1,9
	5.8.2010	13:15	1	2,6	2,8	2,5
	19.8.2010	10:55	1	2,8	2,8	3,2
	1.9.2010	13:05	1	2,7	2,9	3,3
	30.9.2010	13:25	1	2,3	2,5	2,3
Kajaanselkä	9.6.2010	15:00	1	1,8	1,9	1,5
	21.6.2010	11:00	1	1,8	2,1	2,1
	5.7.2010	11:30	1	2,5	2,1	1,9
	19.7.2010	10:50	1	1,3	1,3	1,3
	5.8.2010	11:30	1	2,7	2,5	2,7
	19.8.2010	9:50	1	1,7	1,8	2,0
	1.9.2010	11:20	1	1,4	1,7	1,2
	30.9.2010	12:00	1	1,7	1,2	1,1

Liite 6. Laboratoriossa määritetty sameus (1-2 rinnakkaista määritystä) Lankiluodon ja Kajaanselän asemilla sekä 8.6.2011 myös muilla mittausasemilla kesällä 2011.

Paikka	pvm	klo	syvyys m	sameus 1 NTU	sameus 2 NTU
Lankiluoto	8.6.2011	11:50	1	3,1	
	22.6.2011	10:00	1	3,0	
	20.7.2011	10:05	1	1,8	
	1.8.2011	11:10	1	2,6	2,4
	17.8.2011	10:05	1	2,4	2,3
	22.8.2011	10:05	1	2,4	2,3
	30.8.2011	10:50	1	2,4	2,7
	5.9.2011	9:50	1	2,0	2,0
	28.9.2011	10:30	1	2,4	2,8
	Kajaanselkä	29.6.2011	10:55	1	2,0
5.7.2011		11:00	1	2,0	1,9
18.7.2011		9:30	1	1,9	1,3
2.8.2011		10:40	1	1,9	1,8
23.8.2011		10:50	1	1,6	1,5
1.9.2011		11:25	1	0,9	1,4
29.9.2011		11:50	1	2,2	2,0
Enonsaari		8.6.2011	11:40	1	2,5
Myllysaari	8.6.2011	12:05	1	2,5	
Harvasaari	8.6.2011	10:28	1	2,6	
Paimelanlahti	8.6.2011	11:00	1	4,3	