

Opinnäytetyö (AMK)

Kala – ja ympäristotalouden koulutusohjelma

Iktyonomi AMK

2011

Eemeli Huhta

KAKSKERRANJÄRVEN HAPETUKSEN SEURANTATUTKIMUKSET VUOSINA 2009 - 2011



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kala- ja ympäristötalous | Ikkyonomi AMK

11.11.2011 | Sivumäärä: 59

Ohjaajat: Arto Huhta, Antti Kaseva

Eemeli Huhta

KAKSKERRANJÄRVEN HAPETUKSEN SEURANTATUTKIMUKSET VUOSINA 2009 - 2011

Turun ammattikorkeakoulu ja Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto ovat jo vuosien ajan tehneet yhteistyötä Turun Kaksikerranjärven tilan ja vedenlaadun seurannan parissa. Yksi vuosien 2009 – 2011 seurannan tavoitteista on ollut selvittää Kaksikerranjärven kolmen hapetuslaitteen toimintatehoa ja vaikutuksia järven vedenlaatuun. Tässä työssä tarkastellaan kolmivuotisen seurannan perusteella, kuinka hapetus on onnistunut ja miten hapettimien toiminta on vaikuttanut Kaksikerranjärven vedenlaatuun.

Kaksikerranjärvi oli pitkään kirkas vetinen ja karu järvi. Fosfaattipitoisten lannoitteiden käyttöön 1940 – luvulla lisäsi merkittävästi järven ulkoisen ravinnekuormituksen määrää, jonka seurauksena Kaksikerranjärvi alkoi hiljalleen rehevöityä. Ensimmäiset sinileväkukinnot havaittiin Kaksikerranjärvellä 1980 – luvulla, ja alusveden heikon happitilanteen vuoksi järven hapetushoito aloitettiin vuonna 1987. Järven alusvesi on jo pitkään kärsinyt säännöllisistä happikadoista. Vuosittain heikoin happitilanne on ollut loppukesästä, jolloin syvänteiden pohjanläheinen vesi voi olla hapetonta usean kuukauden ajan.

Vuonna 2006 järvelle asennettiin uudet Waterix – ilmastimet ja vuonna 2010 uusi Mixox – hapetin. Vuosien 2009 – 2011 Turun ammattikorkeakoulun tekemillä seurantatutkimuksilla haluttiin selvittää näiden hapetuslaitteiden toimivuutta ja vaikutuksia Kaksikerranjärven happitilanteeseen. Jokaisena kesänä Kaksikerranjärvellä suoritettiin 5 – 6 vedenlaadun mittauskertaa. Vedenlaadun mittauksissa käytettiin YSI – 6600 sarjan moniparametrimittaria. Kullekin vuodelle laadittiin oma tutkimussuunnitelma, sillä edellisen vuoden seurantatulokset vaikuttivat seuraavan vuoden tutkimustavoitteisiin.

Vuosien 2009 – 2011 seurantatuloksien perusteella, voidaan todeta, että Kaksikerranjärven hapetinlaitteet eivät nykyisellään toimi riittävän tehokkaasti. Waterix – ilmastimissa havaittiin myös rakenteellisia puutteita, jotka luultavimmin vaikuttivat ilmastimien toimintatehokkuuteen. Mixox – hapettimessa ei havaittu rakenteellisia puutteita, mutta luultavimmin hapettimen teho ei riitä hapettamaan alusvettä vaadittavalla tasolla.

ASIASANAT:

Kaksikerranjärvi, hapetus, ilmastus, vedenlaadun seuranta, rehevöityminen

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme of fisheries and environmental care

11.11.2011 | Total number of pages: 59

Instructors: Arto Huhta, Antti Kaseva

Eemeli Huhta

AERATION MONITORING IN LAKE KAKSKERTA 2009 - 2011

Turku University of Applied Sciences and the Environmental Protection Agency City of Turku have a long history in co-operation of monitoring the water quality in Lake Kakskerta. One of the main goals of 2009 – 2011 monitoring was to investigate the level of operation of the three aerators installed in Lake Kakskerta. In this work the success of the aeration is estimated based on the three-year research.

For a long period of time Lake Kakskerta was a barren and oligotrofical lake. In the 1940s the usage of phosphate rich fertilizer raised the nutrient levels significantly and that was the beginning of the eutrofication process in Lake Kakskerta. The first sightings of blue-green algae were made in the 1980s and the lake aeration was started in 1987 because of the low oxygen levels in hypolimnion water. Lake Kakskerta has been suffering from low oxygen levels for a long time and the levels are usually the lowest at the end of summer, when the near-bottom water can be anoxic for several months.

In 2006 two new Waterix – oxygenators and in 2010 a new Mixox – aerator were installed in Lake Kakskerta. The goal in 2009 – 2011 water quality monitoring was to observe operation of the aerators and determine their effects on the oxygen levels in the lake. Every summer 5 – 6 research days were conducted. The water quality was monitored by using YSI - 6600 multiparametersonde. An individual research programme was made for every year because the results of the previous year affected the research and goals of the following year.

Based on the results of 2009 – 2011 monitoring the aerators are not working on the required level. Some structural flaws were noticed in the operation of the Waterix – oxygenators that probably affected the level of operation. With the Mixox – aerator there were no structural flaws, but presumably the aerators operation power is not sufficient to aerate the hypolimnion water.

KEYWORDS:

Lake Kakskerta, aeration, oxygenation, water quality monitoring, eutrophication

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 TAVOITTEET	3
3 YLEISTÄ	4
3.1 Kaksikerranjärvi	4
3.2 Kaksikerranjärven kehitys	6
3.3 Järvien hapetuksen historiaa	10
3.4 Järvihapetuksen tavoitteet	12
4 MENETELMÄT	13
4.1 Seurantamenetelmät	13
4.2 Mittaustekniikka ja laitteisto	14
4.3 Ilmastus- ja hapetuslaitteisto	16
5 TUTKIMUSTAVOITTEET JA TULOKSET	20
5.1 Vuoden 2009 seuranta	21
5.1.1 Tutkimussuunnitelma	21
5.1.2 Menetelmät	22
5.1.3 Vuoden 2009 tulokset	23
5.2 Vuoden 2010 seuranta	24
5.2.1 Tutkimussuunnitelma	24
5.2.2 Kaksikerranjärven happikartoitus (2.6.2010)	25
5.2.3 Vedenlaadunseuranta (29.6.2010)	28
5.2.4 Vedenlaadunseuranta (20.7.2010)	29
5.2.5 Vedenlaadunseuranta (10.8.2010)	31
5.2.6 Vedenlaadunseuranta (31.8. – 1.9.2010)	33
5.2.7 Vedenlaadunseuranta (22.9.2010)	35
5.2.8 Yhteenveto 2010	36
5.3 Vuoden 2011 tutkimus	37
5.3.1 Tutkimussuunnitelma	37
5.3.2 Vedenlaadunseuranta (22.6.2011)	38
5.3.3 Vedenlaadunseuranta (7.7.2011)	39
5.3.4 Vedenlaadunseuranta (22.7.2011)	41

5.3.5 Vedenlaadunseuranta (23.8.2011)	42
5.3.6 Vedenlaadunseuranta (23.9.2011)	44
5.3.7 Yhteenveto 2011	45
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	46
6.1 Pohdintaa	47
6.2 Kaks Kerranjärven kunnostustoimenpiteet tulevaisuudessa	49
6.3 Kiitokset	52
LÄHTEET	53

LIITTEET

Liite 1: Harjattulan havaintopaikan loppukesän (17.7. – 27.8.) pohjanläheisen veden happi- ja kokonaisfosforipitoisuus vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta (ympäristöhallinnon OIVA - vedenlaatutietokanta).

Liite 2: Harjattulan havaintopaikan loppukesän (17.7. – 27.8.) pohjanläheisen veden lämpötila (9m) ja pintaveden kokonaisfosforipitoisuus pintavedessä vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).

Liite 3: Hapen määrä 11 metrin syvyydessä ilmastimen toiminnan tehostamisen aikana (24.9.2009).

Liite 4: Sinileväpitoisuus Myllykylän jatkuvatoimisella mittausasemalla kesän 2010 aikana.

Liite 5: Kesän 2010 happipitoisuus (mg/l) Myllykylän mittausasemalla 13 metrin syvyydellä

KUVAT

Kuva 1: Kaks Kerranjärven sijainti. Järvi on merkitty karttaan mustalla kehyksellä. (Karttapohja: www.openstreetmap.org)	4
Kuva 2: Kaks Kerranjärven kartta, johon on merkitty vakioseurantapisteiden ja hapetuslaitteiden sijainti. Ilmastin A ja B ovat Waterix - ilmastimet ja hapetin C on Mixox - hapetin (karttapohja: Juha Niemi).	14
Kuva 3: YSI – moniparametrimittari.	15
Kuva 4: Waterix AIRIT 70+ -ilmastin ja sen toimintaperiaate (kuva: www.waterix.com).	17
Kuva 5: Waterix AIRIT 70+ - ilmastin toiminnassa Myllykylän edustalla heinäkuussa 2010.	18
Kuva 6: Mixox – hapettimen päätoimintaperiaate. Hapetin siirtää hapekkaampaa ja kevyempää pintavettä alusveteen. Veden tiheyserojen johdosta keveämpi pintavesi kohoaa alusveden yläosiin, mutta tiheyserojen minimoituessa vesi päättyy pohjan läheisyyteen (Vesi – Eko Oy 2003).	19

KUVIOT

Kuvio 1: Myllykylän syvänteen loppukesän (15.7. - 27.8.) pohjanläheisen veden lämpötila (13-14m) ja pintaveden (1m) kokonaisfosforipitoisuus vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta. Havaintopaikat ovat Myllykylän 14 ja 14A (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).	9
Kuvio 2: Myllykylän syvänteen loppukesän (15.7. - 27.8.) happi – ja kokonaisfosforipitoisuus pohjanläheisessä vedessä 13-14 metrin syvyydellä vuosina 1969 - 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta. Havaintopaikat ovat Myllykylän 14 ja 14A (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).	9
Kuvio 3: Veden happipitoisuus (mg/l) osassa Turun AMK:n vakioseurantapisteistä 2.6.2010. Hapettimen läheisyydestä mitattu piste on merkitty punaisella värillä.	27
Kuvio 4: Veden lämpötila (°C) osassa Turun AMK:n vakioseurantapisteistä 2.6.2010. Hapettimen läheisyydestä mitattu piste on merkitty punaisella värillä.	27
Kuvio 5: Happipitoisuus (mg/l) ilmastin A:n ja hapetin C:n läheisyydessä 29.6.2010. Vakiomittauspiste 9 on esitetty hapetin C:n vertailupisteenä.	28
Kuvio 6: Ilmastin A:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.	29
Kuvio 7: Ilmastin B:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.	30
Kuvio 8: Vakioseurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.	30
Kuvio 9: Ilmastin A:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.	31
Kuvio 10: Ilmastin B:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.	32
Kuvio 11: Vakioseurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.	32
Kuvio 12: Ilmastin A:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 1.9.2010.	33
Kuvio 14: Vakioseurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 31.8.2011.	34
Kuvio 13: Ilmastin B:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 1.9.2010.	34
Kuvio 15: Vakioseurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 22.9.2010.	35
Kuvio 16: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 22.6.2011.	39
Kuvio 17: Happipitoisuus (mg/l) Kaksikerranjärven pääsyvänteen mittauspisteillä 7.7.2011.	40
Kuvio 18: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 22.7.2011.	41
Kuvio 19: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 23.8.2011.	43
Kuvio 20: Veden lämpötila seurantapisteillä 23.8.2011.	43
Kuvio 21: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 23.9.2011.	44

TAULUKOT

Taulukko 1: Valmistajan ilmoittamat mittaustarckuudet tutkituille parametreille (YSI Inc. 2010).	15
Taulukko 2: Waterix AIRIT 70+ - ilmastimen valmistajan ilmoittamat tuoteominaisuudet (www.waterix.fi).	18
Taulukko 3: Vesi-Eko Oy:n ilmoittamat tuoteominaisuudet Mixox MC-500 – hapettimesta(www.vesieko.fi).	19
Taulukko 4: Suomen ympäristökeskuksen esittämät veden happipitoisuuden raja-arvomääritelmat taulukkona (SYKE 2009)	20

1 JOHDANTO

Kakskerranjärvi sijaitsee Turun kaupungin eteläosissa Kakskerransaarella noin 15:n kilometrin etäisyydellä Turun keskustasta. 1900 – luvun alussa Kakskerranjärvi oli vielä erittäin karu ja kirkasvetinen järvi. Fosfaattipitoisten lannoitteiden käyttöönotto 1940 - luvulla kasvatti Kakskerranjärven ulkoisen kuormituksen määrää huomattavasti. Lisäksi järveä on myös lannoitettu fosfaatilla 1950 – luvulla kalatalouden edistämiseksi (Kaasinen 2010, 9). Ulkoisesti järven tila näytti hyvältä vielä useamman vuosikymmenen ajan, mutta 1970 ja 1980 – luvuille tultaessa rehevöitymisen oireet tulivat silminnähtäväksi. Kakskerranjärven syvänteet alkoivat kärsiä säännöllisesti happikadoista ja 1990 järvellä oli ensimmäiset sinilevien massakukinnot. Järven ilmastushoito aloitettiin vuonna 1987 ja biomanipulaatio aloitettiin poistokalastuksin vuonna 1989 (Koivunen 2009, 2).

Kakskerranjärven teoreettinen viipymä on neljä vuotta, joka tarkoittaa sitä, että järven vesi vaihtuu noin kaksi kertaa hitaammin kuin Suomen järvissä keskimääräisesti. Näin ollen järveen päätyvällä ravinteikkaalla kiintoaineksella on runsaasti aikaa sedimentoitua järven pohjalle. (Kukkonen ja Kauppinen 2011, 2). Kakskerranjärven valuma-alueella on runsaasti vakituista ja vapaa-ajan asutusta, sekä noin 30 % valuma-alueesta on peltoalaa. Intensiivinen maankäyttö on lisännyt järven kuormitusta. Sedimenttitutkimuksissa on todettu, että Kakskerranjärven pohjasedimentin ravinteiden sitomiskyky on hyvä hapellisissa olosuhteissa (Koivunen ja Räisänen 2010). Pitkät hapettomat jaksot ovat kuitenkin altistaneet Kakskerranjärven voimakkaalle sisäiselle kuormitukselle, ravinteiden vapautuessa pohjasedimentistä kasviplanktonituotannon käyttöön.

Kakskerranjärven kokonaiskuormitusta on pyritty vähentämään lukuisin toimenpitein vuosien varrella. Sisäistä kuormitusta on pyritty vähentämään hapetuksella sekä ravintoketjukuristuksella hoitokalastuksien ja petokalaistutuksien avulla. Ulkoista kuormitusta on pyritty vähentämään mm. ojavesipuhdistamon avulla. Lisäksi Kemppaisen selvitykseen ”Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden

yleissuunnitelma Kaksikerranjärven valuma – alueella” perustuen on järven länsipäähän rakenteilla kosteikko (Kempainen 2008, Mäki 2011).

Kaksikerranjärveä on hapetettu lähes 25 vuoden ajan, mutta yleisesti ottaen hapetuksella saavutetut tulokset ovat olleet joko heikkoja tai kyseenalaisia. Nykyiset hapetuslaitteet on otettu käyttöön vuosina 2006 ja 2010. Turun ammattikorkeakoulu ja Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto ovat jo pitkään tehneet yhteistyötä Kaksikerranjärven hapetuksen ja tilan seurannan parissa. Viimeisien vuosien aikana Turun ammattikorkeakoulu on seurannut intensiivisesti hapettimien toimintaa, ja tässä raportissa käsitellyt vuosien 2009 – 2011 hapetuksen seuranta tutkimukset ovat osa Turun ammattikorkeakoulun ja Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimiston yhteishanketta ”Kaksikerranjärven vedenlaadunseuranta”.

2 TAVOITTEET

Turun ammattikorkeakoulu toteuttamien vedenlaadunseurantojen tavoitteena on ollut seurata Kaksikerranjärven tilaa vedenlaadullisesti. Erityisesti vuosina 2009 – 2011 tilan seurannan lisäksi yksi päätavoitteista on ollut seurata Kaksikerranjärvelle asennettujen hapetuslaitteiden toimintaa ja selvittää onko hapetuksella saavutettu haluttuja tuloksia. Hapetuspalvelut ovat Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimiston tilaamia, jonka toimeksiantona vedenlaadunseurantaa on suoritettu. Itse olen ollut mukana tutkimuksissa koko seurantajakson ajan, ja myös osallistunut lähes jokaiselle tutkimuskerralle. Lisäksi olen osallistunut vuosien 2010 ja 2011 tutkimussuunnitelmien laatimiseen.

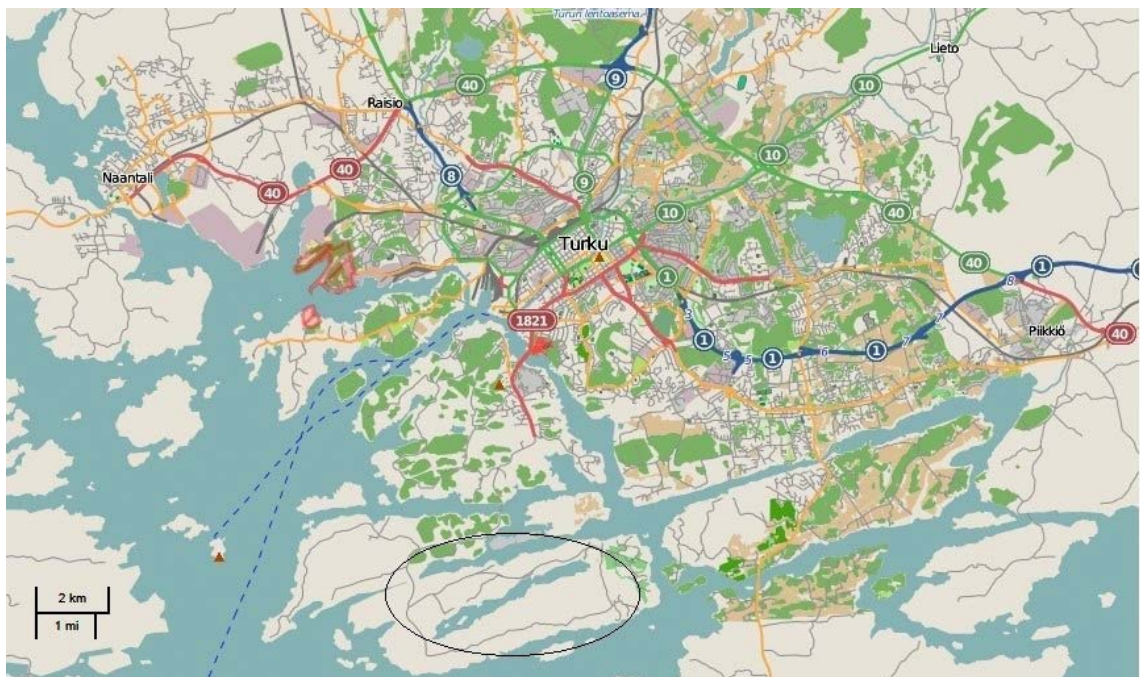
Tämän työn tavoitteena on selvittää kerättyjen tulosten perusteella, onko hapetuslaitteet toimineet halutulla tavalla? Onko hapetuksella ollut kokonaisvaikutuksia Kaksikerranjärven tilan kannalta? Lisäksi tavoitteena on arvioida käytössä olleiden hapetuslaitteiden etuja ja puutteita kerättyjen tulosten ja havaintojen perusteella. Suomessa luonnonvesiin asennettujen hapetuslaitteiden toimintaa on seurattu hyvin vähän riippumattomien tahojen toimesta, joten tulokset ja seurantamenetelmät tuovat itsessään arvokasta tietoa ja kokemuksia hapetuslaitteiden seurannasta. Valtion teknillinen tutkimuslaitos julkaisi vuonna 2005 raportin ”Järvien kunnostuksen menetelmät – hapetuslaitteiden laboratorio ja kenttäkokeet”, jossa on tutkittu yleisimpien hapetuslaitteiden toimintatehokkuutta. Muutoin hapetukseen liittyvää Suomessa kerättyä tutkimustietoa on hyvin vähän saatavilla.

Turun ammattikorkeakoulun keräämien tutkimustulosten lisäksi työssä on käytetty ympäristöhallinnon Hertta - vedenlaatujärjestelmästä haettuja vedenlaadunseurantatietoja pitkän ajanjakson kehitystä arvioitaessa.

3 YLEISTÄ

3.1 Kaksikerranjärvi

Kaksikerranjärvi sijaitsee Turun kaupungin eteläosissa Kaksikerran saarella noin viidentoista kilometrin etäisyydellä Turun keskustasta (kuva 1). Järven pinta-ala on 1,7 km², ja sen tilavuus on 10,3 miljoonaa m³. Muodoltaan järvi on kaapea ja pitkä, pituuden ollessa 5 kilometriä sekä keskimääräisen leveyden 400 metriä. Kaksikerranjärven keskisyvyys on kuusi metriä. Järven syvin kohta 15,5 m sijaitsee Myllykylän syvänteessä. Kooltaan ja keskisyvyydeltään Kaksikerranjärvi on hieman suurempi kuin keskimääräinen lounaissuomalainen järvi. (Turun kaupunki 2011).



Kuva 1: Kaksikerranjärven sijainti. Järvi on merkitty karttaan mustalla kehyksellä. (Kartta-pohja: www.openstreetmap.org)

Kaksikerranjärven teoreettinen viipymä on neljä vuotta, kun taas suomalaisten järvien keskimääräinen viipymä on noin kaksi vuotta (Turun kaupunki 2010). Pitkästä viipymästä johtuen järveen päätyvällä orgaanisella aineksella on runsaasti aikaa sedimentoitua järven pohjalle. Pitkä teoreettinen viipymä saattaa kymmenien vuosien aikavälillä lisätä järven sisäistä kuormitusta, jos ulkoinen kuormitus on liian korkealla tasolla ja pohjanläheinen hajotustoiminta on runsasta. Orgaanisen aineksen hajotustoiminta kuluttaa pohjanläheisen veden happipitoisuuden loppuun, jolloin sedimenttiin sitoutuneita ravinteita vapautuu takaisin veteen hapettomissa olosuhteissa (Koivunen 2008, s.3).

Kaksikerranjärven valuma-alue on pinta-alaltaan 8,76 km², joista peltojen osuus on n. 30 %. Arviolta kaksi kolmannesta Kaksikerranjärven rantaviivasta rajoittuu kalliorantaan ja yksi kolmannes pelto- ja savimaille (Kukkonen ja Kauppinen 2011, s. 2). Valuma-alueelta järveen laskee viisi suurempaa ojaa (Pikkujärvenoja, Hyytilänoja, Aatilanoja, Kalliolanoja, ja Kollinoja), joiden kautta järveen tulee huomattavaa kuormitusta (Turun kaupunki 2010). Aatilan- ja Kalliolanoja ovat järveen päätyvän kuormituksen kannalta merkittävimmät (Koivunen 2009). Kalliolanojaan asennettiin ojaviesipuhdistamo marraskuussa 2003, jossa saostettiin kemikaalin avulla ojaveden ravinteita (Kaasinen 2010). Järviin päätyy luonnostaan ravinne kuormitusta luonnonhuhouhtouman ja ilmalaskeuman seurauksena (Koivunen 2008, 3). Suurin osa Kaksikerranjärven ulkoisesta ravinnekuormituksesta on peräisin valuma - alueella harjoitetusta maataloudesta sekä asutuksen hajakuormituksesta. Koivunen viittaa Kaksikerranjärven tarkkailututkimuksen vuosiraportissaan 2008, 1990-luvun alussa tehtyihin ojaviesitutkimuksiin (Jumppanen ja Mattila 1991), joiden mukaan Kaksikerranjärven vuosittainen fosforikuorma olisi noin 200 – 450 kg ja typpeä järveen päätyisi 3500 – 5500 kg vuodessa (Koivunen 2009). Viimevuotisten luokitusten perusteella Kaksikerranjärvi on lievästi rehevä tai rehevä järvi (Kukkonen ja Kauppinen 2011, s. 2). Kaksikerranjärven vedenlaatu on yleisen vedenlaatu luokituksen perusteella tyydyttävää (Kauppinen ja Saarijärvi 2006).

Kaksikerranjärvellä on myös suoritettu biomanipulaatiota hoitokalastuksien avulla. Hoitokalastukset aloitettiin vuonna 1989. Hoitokalastuksien avulla pyrittiin vähentämään järven särki-, lahna-, ja ahvenkantoja. Vuosien 1989 – 1991 hoitokalastukset tehtiin paunetilla, ja vuosien 1993 – 1998 kalastuksissa pyydyksenä käytettiin nuottaa. Petokalat pyrittiin palauttamaan takaisin veteen, sillä ne omalta osaltaan auttavat rajoittamaan särkikala- ja ahvenkantoja (Koivunen 2009). Vuonna 2007 tehtyjen koekalastuksien perusteella Kaksikerranjärven ekologinen tila oli tyydyttävän ja hyvän rajamailla (Sairanen 2007). Vuoden 2010 koekalastuksissa Kaksikerranjärven ekologinen tila kalaston perusteella todettiin jo hyväksi, ja ahvenkalakannat havaittiin ylivoimaisesti vallitseviksi (Sairanen ja Ahonen 2010).

3.2 Kaksikerranjärven kehitys

Kaksikerranjärvi on syntynyt noin 600 jKr, kurouduttuaan umpeen saaristomereistä (Kempainen 2008). Kaksikerranjärvi on niin sanotulta ”luonnontilaltaan” karu järvi, ja 1900 – luvun alkupuolella järvi oli erittäin kirkasvetinen ja vähäravinteinen. 1940 – luvulla käyttöönotetut fosfaattipitoiset lannoitteet sysäsivät kuitenkin Kaksikerranjärven rehevöitymisprosessin liikkeelle. (Koivunen 2008, 3.). Järveä on myös tarkoituksella lannoitettu fosfaatilla 1950 – luvulla kalatalouden edistämiseksi (Kaasinen 2010, 9). Vielä 1960 ja 1970 – luvuilla eivät järven tilan muutokset olleet näkyvissä. Ensimmäiset sinileväesiintymät havaittiin 1980 – luvulla. Ensimmäinen sinilevien massakukinta oli vuonna 1990. (Kauppinen ja Saarijärvi 2006, 3.)

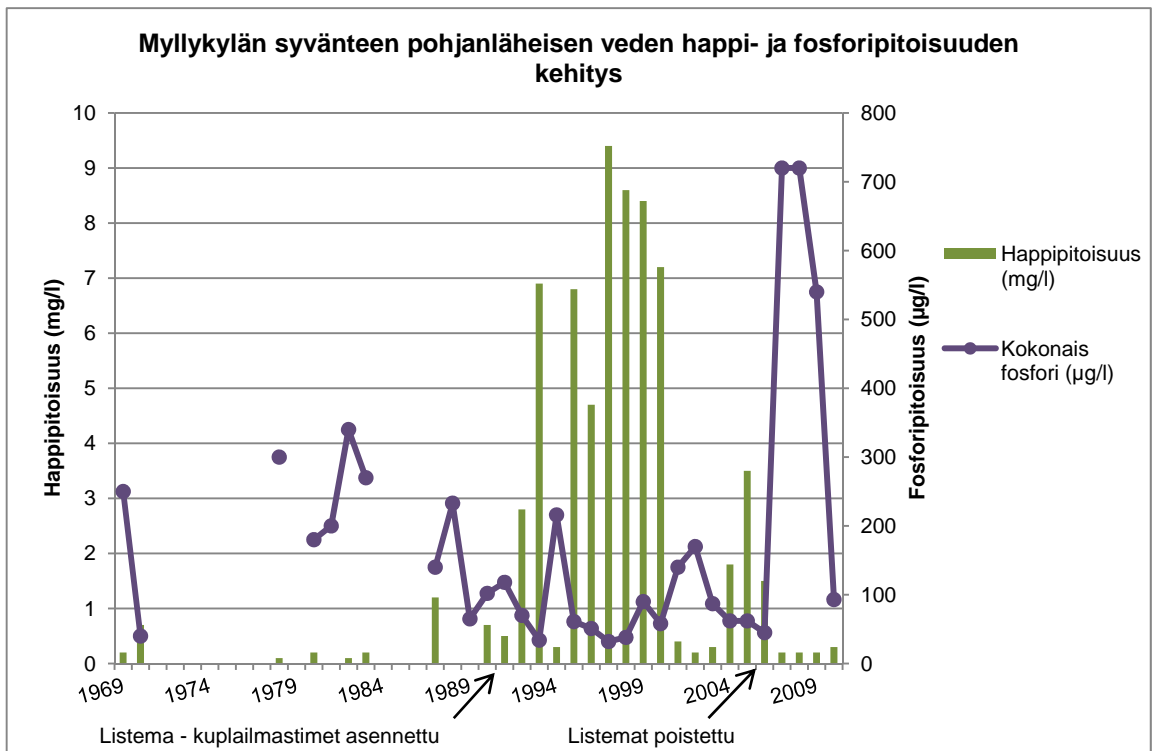
Kaksikerranjärvellä tehdyn sedimenttitutkimuksen mukaan järven kehityshistoriassa on havaittavissa neljä selkeää ajanjaksoa. Kaskeamisen ja runsaan maaerosion vaikutuksesta Kaksikerranjärveen kulkeutui runsaasti ravinteita 1200 – luvulle asti. 1300 – luvulta eteenpäin karjan metsälaidunnus ja rukiin peltoviljely lisääntyi, vähentäen järveen päätyvää ravinnekuormitusta. Tuolloin alkoi Kaksikerranjärven vähäravinteisempi ajanjakso. Järven ravinnetaso alkoi jälleen nousta 1700 – luvulla peltojen kytöviljelyksen seurauksena, ja 1840 – luvulta

lähtien ravinnekuorma kasvoi monivuoroviljelyn myötä. Peltojen lannoitus alkoi 1920 – luvulla, joka kasvatti entisestään ravinnekuormitusta ja Kaksikerranjärven tilan kannalta merkittävin muutos tapahtui fosfaattilannoitteiden käyttöönoton myötä 1940 – luvulla. (Kauppinen ja Saarijärvi 2006, 2-3).

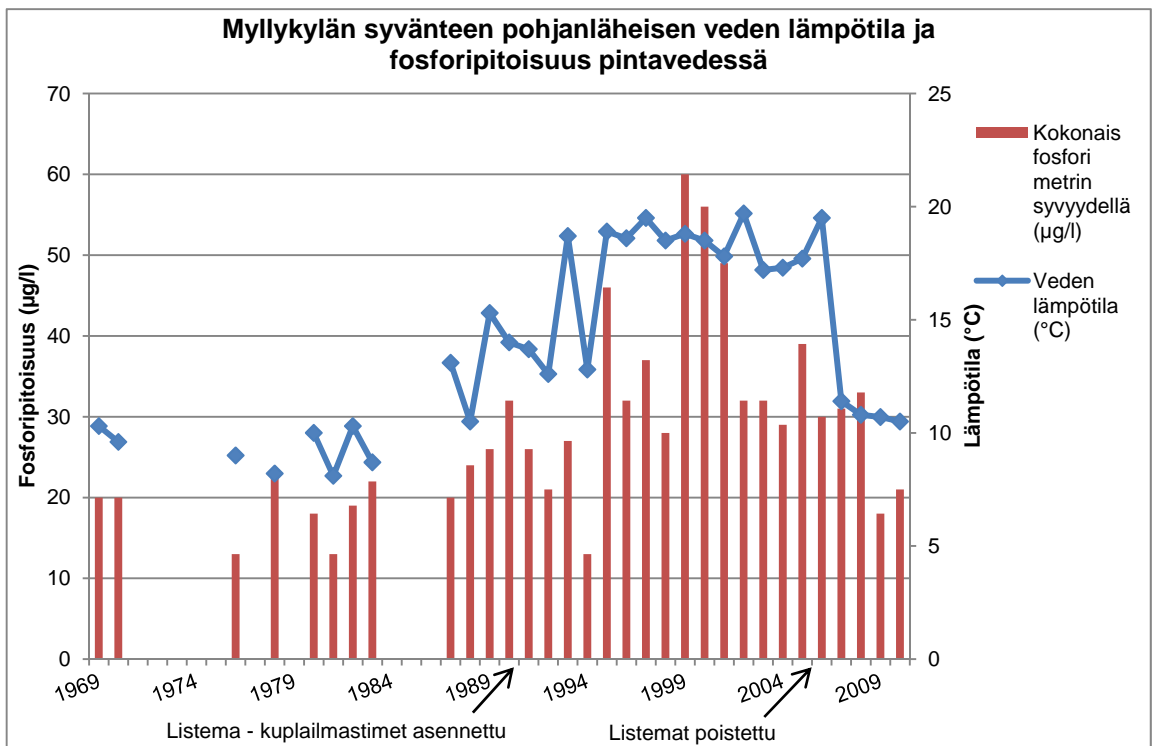
Kaksikerranjärven tilaa on tutkittu 1960 – luvulta lähtien, jolloin aloitettiin järven tilan seuranta säännöllisen vesinäytteenoton avulla. Huomattavan rehevöitymisen johdosta Kaksikerranjärvellä aloitettiin hapetushoito vuonna 1987 Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimiston toimesta. (Koivunen 2009, 3). Ensiksi järvellä oli käytössä yksi Mixox – 750 hapetin. Mixox – hapetin oli käytössä vuoden 1990 syystäyskiertoon asti. Tämän jälkeen Kaksikerranjärvellä otettiin käyttöön kolme Listema - kuplailmastinta, joista kaksi sijaitsi Myllykylän syvänteessä ja yksi Harjattulassa. Listema – kuplailmastimet kunnostettiin perusteellisesti vuonna 2004, mutta heikkojen tuloksien myötä, Myllykylän kaksi kuplailmastinta korvattiin Waterix AIRIT 70+ - ilmastimilla kesällä 2006. (Kukkonen ja Kauppinen 2011, 2). Kaksikerranjärven itäpäähän jäänyt kuplailmastin oli toiminnassa vielä vuonna 2008, mutta kesällä 2009 ilmastin ei enää ollut käytössä (Koivunen 2009, Koivunen ja Räisänen 2010). Keväällä 2010 Listema - kuplailmastin korvattiin Mixox – 500 hapettimella. Vuonna 2006 Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto tilasi Vesi – Eko Oy:ltä Kaksikerranjärven sedimenttitutkimuksen, jossa pohjan pintasedimentin sulfidikerroksesta voitiin päätellä järven kärsineen ajoittaisista happikadoista 13 - 15 vuoden ajan (Kauppinen ja Saarijärvi 2006).

Pitkän aikavälin seurantatulokset osoittavat, että kuplailmastuksella onnistuttiin pitämään Kaksikerranjärven syvänteiden alusvesi ainakin osittain hapellisena lähes koko 1990-luvun ajan. Ainoastaan 1990 – luvun ensimmäisinä vuosina ja vuonna 1994 Myllykylän syvänteessä oli havaittavissa happikatoa heinä - elokuussa otettujen vesinäytteiden perusteella (kuvio 1). Kuplailmastuksen huonopuoli on kuitenkin se, että ilmastusmenetelmä purkaa järven lämpötilakerrosteisuutta, jolloin ilmastimen läheisyydessä koko vesimassa on tasalämpöistä. Vesimassan sekoittuminen tarkoittaa myös sitä, että alusveden ravinteet usein päätyvät tuottavaan pintakerrokseen, jolloin järven kasviplankton tuotanto kohoaa. Toisin sanoen levien määrä kasvaa ja rehevyystaso nousee.

Kaksikerranjärven pitkän aikavälin seurantatulokset viittaavat siihen, että vaikka kuplailmastuksella onnistuttiin hapettamaan syvänteiden alusvettä, pintaveden fosforipitoisuudet nousivat ajoittain jopa yli kaksinkertaisiksi Listema – kuplailmastimien ollessa käytössä (kuviot 1 ja 2). Ennen kuplailmastimien asennusta ja niiden poiston jälkeen, pintaveden fosforipitoisuudet ovat olleet matalammalla tasolla, sekä pohjanläheisen veden fosforipitoisuudet vuorostaan korkeammat. Kuplailmastimet poistettiin käytöstä Myllykylän syvänteellä vuonna 2006, jonka jälkeen vuonna 2007 pintaveden fosforipitoisuudet laskivat huomattavasti. On erittäin todennäköistä, että lämpötilankerrostuneisuutta purkavilla ilmastimilla on aiheutettu Kaksikerranjärven rehevyystason nousua ja näin ollen järven virkistysarvo on kärsinyt suurten leväkukintojen johdosta. Tuloksissa on syytä kuitenkin ottaa huomioon, että havaintopaikka 14A sijaitsi Listema – kuplailmastimen läheisyydessä, joten ilmastimen toiminta säde ei tuloksista käy ilmi. Harjattulan havaintopaikan tulokset ovat hyvin samankaltaisia (Liitteet 1 ja 2). Vuosina 2009 – 2011 ei sinilevän massakukintoja ole enää Kaksikerranjärvellä ollut.



Kuvio 1: Myllykylän syvänteen loppukesän (15.7. - 27.8.) happi – ja kokonaisfosforipitoisuus pohjanläheisessä vedessä 13-14 metrin syvyydellä vuosina 1969 - 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta. Havaintopaikat ovat Myllykylän 14 ja 14A (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).



Kuvio 2: Myllykylän syvänteen loppukesän (15.7. - 27.8.) pohjanläheisen veden lämpötila (13-14m) ja pintaveden (1m) kokonaisfosforipitoisuus vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta. Havaintopaikat ovat Myllykylän 14 ja 14A (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).

3.3 Järvien hapetuksen historiaa

Järvien hapetus voidaan karkeasti jakaa kahteen eri muotoon, lämpötilakerrostuneisuuden säilyttävään alusveden hapetukseen sekä koko vesimassan sekoitettavaan ja lämpötilakerrostuneisuuden purkavaan hapetukseen (Ashley 1976, 7 ja Kalff 2001, 260). Kaksikerranjärvi on voimakkaasti lämpötilakerrostuva, joten siellä olisi suositeltavaa toteuttaa hapetus siten, että järven kerrostuneisuus säilyy (Kauppinen ja Saarijärvi 2006). Kaksikerranjärven vedenlaadun seurantatulokset 1990 – luvulta osoittavat, että kerrostuneisuuden purkautuminen kuplailmastuksen seurauksena, saattoi lisätä järven rehevyytensä alusveden ravinteiden päätyessä kasviplanktonin tuotannon käyttöön pintakerrokseen (Kuviot 1 ja 2).

Kerrostuneisuuden purkavaa hapetusta käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1919. Varhaisissa hapetusmuodoissa vähähappinen alusvesi sekoitettiin hapikkaan pintaveden kanssa, jolloin hapetusalueen vesimassa sekoittui täysin ja oli kauttaaltaan tasalämpöistä. Hapetustekniikka, jossa järven pohjaan asennettuihin putkiin johdettu paineilma purkautui kuplina veteen, oli pitkään vallitseva hapetusmuoto. Tätä tekniikkaa kutsutaan kuplailmastukseksi, ja kyseinen ilmastusmuoto on ollut käytössä myös Kaksikerranjärvellä, jossa viimeinen Listema – kuplailmastin poistettiin käytöstä kesän 2008 jälkeen. Mekaanista pumppausta jossa vähähappinen alusvesi pumpattiin pintakerrokseen, käytettiin myös useissa hapetusprojekteissa 1950 – 1970 luvuilla. Kerrostuneisuuden purkamisessa suurimpia ongelmia ovat viileän veden habitaattien katoaminen ja pohjanläheisen veden ravinteiden kulkeutuminen tuottavaan pintakerrokseen. (Ashley, 1976, 8).

Lämpötilakerrostuneisuuden säilyttävä alusveden hapetus on hapetustekniikoiden niin sanottu toinen sukupolvi. Alusveden hapetusta käytettiin ensimmäisen kerran 1940 – luvun lopulla Sveitsissä. Ensimmäisessä kerrostuneisuuden säi-

lyttävässä hapetuksessa Bretjärven alusvettä pumpattiin rannalla olevaan ilmastusaltaaseen, josta vesi johdettiin painovoiman avulla putkea pitkin takaisin alusveteen. Tätä menetelmää kutsutaan yleisesti Mercierin menetelmäksi. (Ashley 1976 viittaa, Mercier ja Perret 1949). Seuraava merkittävä alusveden hapetuskeksintö esiteltiin vuonna 1966. Kyseessä oli niin kutsuttu Bernhardin - menetelmä, jossa alusvettä johdettiin laajassa putkessa paineilmakuplituksella pintakammioon, josta ilmastettu vesi palautui takaisin alusveteen paluuputkien avulla. Muunnelmia Bernhardin ilmastuseriaatteesta on tehty lukuisia, ja monien nykyaikaisten hapetuslaitteiden toiminta perustuukin ainakin osittain Bernhardin menetelmään. Tämän jälkeen on kehitelty lukuisia alusveden hapetusmenetelmiä, joista maittava menetelmä on Speecen kartiohapetusmenetelmä. (Ashley 1976, 9). Speecen menetelmässä alusvedessä olevaan alaspäin aukeavaan kartioon pumpataan potkuripumpulla vettä pinnasta pohjaan. Tähän virtaukseen kuplitetaan kartion yläpäässä happikaasua tai ilmaa (Lappalainen ja Lakso 2005, 156).

Kaksikerranjärvellä kahteen otteeseen käytössä ollut suomalainen kierrätyshapetusmenetelmä Mixox tuli koekäyttöön vuonna 1981. Menetelmässä hapekasta päällysvettä pumpataan potkuripumpulla vähähappiseen alusveteen presusukkaa pitkin. Kierrätysmenetelmä säilyttää pääosin lämpötilakerrostuneisuuden. (Lappalainen ja Lakso 2005, 156) Mixox – menetelmässä on tärkeää laittehokkuuden mitoitus, sillä liian korkealla teholla hapetin purkaa kerrostuneisuutta (Kauppinen ja Saarijärvi 2006, 17). Suomessa käytetyistä hapettimista Bernhardin tyyppisiin hapetusmenetelmiin lukeutuu esimerkiksi Waterix Oy:n Waterix – AIRIT 70 + ja Vesi – Eko Oy:n Visiox - ilmastimet.

Suomessa luonnonvesiin tarkoitettujen hapetuslaitteiden valmistajia ja toimittajia on hyvin pieni määrä. Riippumattomien tahojen tekemiä hapetuslaitteiden seurantoja ja testejä on tehty erittäin vähän.

3.4 Järvihapetuksen tavoitteet

Hapetuksen perusideana on turvata alusveden ja pohjan aerobisten organismien hapensaanti, ja näin ollen elvyttää pohjan kulutus – ja hajotustoiminta. Hapettamalla pohjasedimenttiä voidaan hidastaa sisäistä fosforikuormitusta. Hapettomissa olosuhteissa pohjasedimentin rautayhdisteet pelkistyvät, jolloin niihin sitoutunut ferrifosfaatti muuttuu vesiliukoiseen fosfaattimuotoon, ja vapautuu osittain sedimentistä alusveteen (Särkkä 1996, 66). Hapetuksella pyritään lisäksi estämään anaerobisissa olosuhteissa syntyvien haitallisten aineiden kuten rikkivedyn, ammoniumin ja metaanin esiintyminen. Lisäksi hapettamisella parannetaan pohjaeliöstön ja kalojen elämisen edellytyksiä. (Lappalainen ja Lakso 2005, 153).

Hapetuksen vähentäessä pohjasedimentin metaanikaasutuotantoa myös sisäinen kuormitus pienenee, koska ravinteikkaiden pintahiukkasten flotaationousu kaasukuplien mukana pintaveteen pienenee. Hapekkaissa oloissa hajotustoiminnan seurauksena syntyvä hiilidioksidi liukenee hyvin veteen, kun taas metaani on huonosti veteen liukenevaa, ja näin ollen muodostaa helposti flotatoivia kaasukuplia. Koko vesimassan sekoittavalla hapetuksella voidaan myös pyrkiä vähentämään leväbiomassaa, koska levän joutuessa syvälle tuotantokerroksen alapuolelle sen kasvu pysähtyy. (Lappalainen ja Lakso 2005, 153).

4 MENETELMÄT

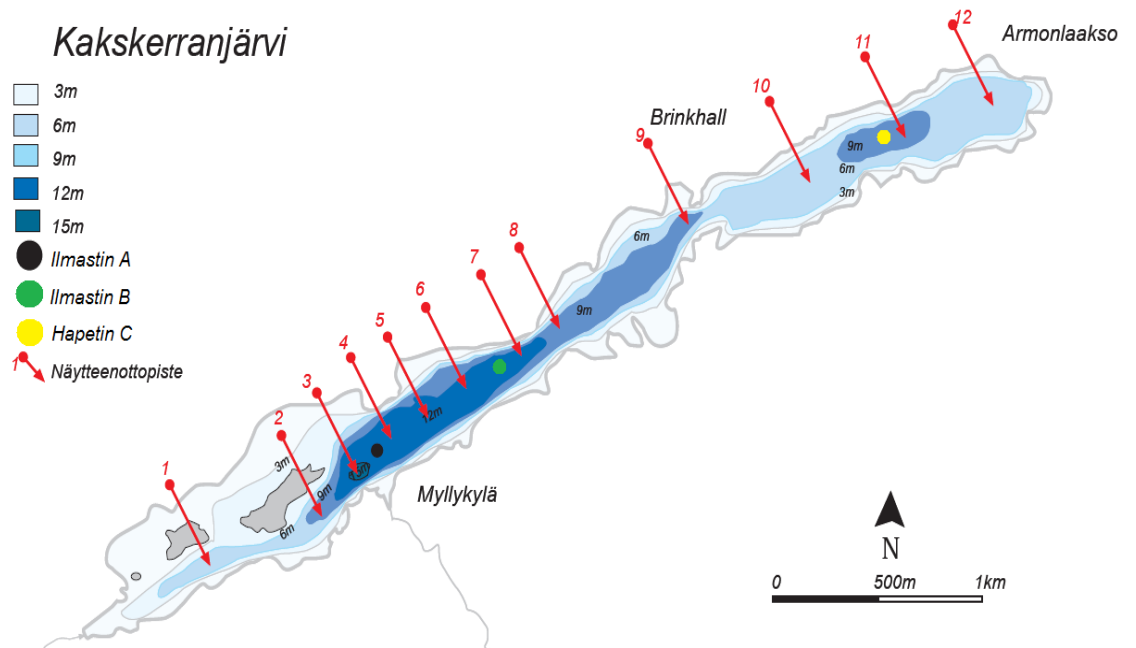
4.1 Seurantamenetelmät

Vuosien 2009 – 2011 aikana tehdyllä hapetuksen seurannalla ei ole ollut koko mittausjaksoa kattavaa tutkimussuunnitelmaa. Jokaiselle vuodelle on laadittu Turun ammattikorkeakoulun ja Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimiston toimesta oma tutkimussuunnitelma, joiden painopisteet ja menetelmät ovat osittain määräytyneet edellisen vuoden tuloksien perusteella. Vedenlaadunmittauksissa on koko seurantajakson ajan käytetty YSI-moniparametrimittaria. Lisäksi Turun ammattikorkeakoululla on ollut seurannassa käytössä 12 koko Kaksikeranjärven kattavaa vakioseurantapistettä, joista osaa on käytetty vuosien 2010 ja 2011 seurannoissa (kuva 2).

Vuoden 2009 seurannan tavoitteena oli kerätä tarkkaa tietoa Kaksikeranjärven Waterix – ilmastimien toiminnasta ja vaikutusalueesta. Osittain kesällä 2009 havaittujen puutteiden vuoksi kesäkuussa 2010 Waterix – ilmastimet huollettiin valmistajan toimesta. Vuoden 2010 mittauksissa seurattiin kunnostettujen ilmastimien toimintatehokkuutta, ja lisäksi keväällä 2010 käyttöön otetun Vesi – Eko Oy:n Mixox – hapettimen toimintaa. Koska kesän 2010 seurannassa havaittiin Waterix - ilmastimien hapettavan vaikutuksen olevan edelleenkin riittämätöntä, Kaksikeranjärven neuvottelukunnan kokouksessa toukokuussa 2011 päätettiin poistaa ilmastimet käytöstä. Vuoden 2011 seurannan tavoitteena oli seurata järven happitilannetta asetelmassa, jossa ilmastimet eivät enää olleet toiminnassa. Lisäksi edelleen toiminnassa olleen Mixox – hapettimen seuranta jatkettiin koko 2011 tutkimusjakson ajan. Koska jokaisella seurantajaksoilla on ollut erilainen seurantatilanne, on kunkin vuoden menetelmät ja tavoitteet kuvattu tarkemmin jokaisen seurantajakson osalta kappaleessa ”Tutkimussuunnitelma”.

Kaksikeranjärven pitkän aikavälin kehityksen esittämiseen on käytetty ympäristöhallinnon hertta – vedenlaatutietokannan vedenlaatutietoja. Hertta - tietokan-

nan vedenlaatutiedot perustuvat säännöllisin väliajoin otettujen vesinäytteiden laboratorioanalyysiin.



Kuva 2: Kakskerranjärven kartta, johon on merkitty vakioseurantapisteiden ja hapetuslaitteiden sijainti. Ilmastin A ja B ovat Waterix - ilmastimet ja hapetin C on Mixox - hapetin (karttopohja: Juha Niemi).

4.2 Mittaustekniikka ja laitteisto

Kakskerranjärven vedenlaadun parametrien seurannassa käytettiin YSI-6600 sarjan moniparametrimittaria (kuva 3). Laitteeseen on mahdollista vaihtaa erilaisia veden laadun parametrien mittaukseen soveltuvia antureita (valmistajan ilmoittamat mittaustarkkuudet käytetyille antureille on esitetty taulukossa 1).



Kuva 3: YSI – moniparametrimittari.

Taulukko 1: Valmistajan ilmoittamat mittaustarkkuudet tutkituille parametreille (YSI Inc. 2010).

Parametri	Mittausalue	Tarkkuus	Resoluutio
Lämpötila °C	-5 - 50 °C	+0,15 °C	0,01 °C
Happipitoisuus mg/l	0 - 50 mg/l	+0,1 mg/l tai 1 % lukemasta	0,01 mg/l
Hapen kyllästysaste%	0 - 500 %	+1 % lukemasta tai 1 %	0,10 %
pH	0 - 14 yksikköä	+0,2 yksikköä	0,01 yksikköä
Sameus	0 - 1000 NTU	+2 % lukemasta tai 0,3 NTU	0,1 NTU
Sähkönjohtokyky mS/cm	0 – 100 mS/cm	+0,5% lukemasta + 0,001mS/cm	0,001 – 0,1 mS/cm

Vuosien 2009 - 2011 seurannassa on pääosin käytetty aina samaa YSI-moniparametrimittaria. Mitattuja parametrejä on ollut yhteensä kuusi: lämpötila

(°C), happipitoisuus (mg/l), happikyllästysaste (%), pH, sameus (NTU) ja sähkönjohtokyky (mS/cm). Happi – ja sameusmitta-anturit toimivat optisella mittaustekniikalla ja sähkönjohtokyky- ja pH-antureiden mittaustekniikka perustuu sähköpulsseihin.

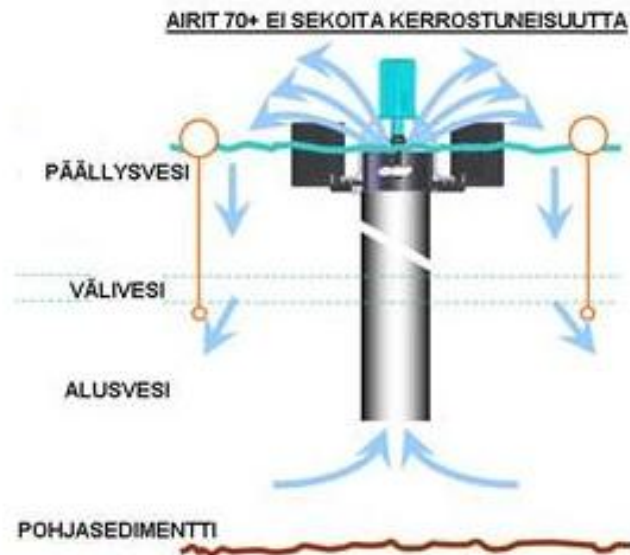
YSI-moniparametrimittarin parametrit on tutkimuksen aikana kalibroitu säännöllisin väliajoin. Vuosina 2009 ja 2010 kalibroitiväli oli tiheämpi kuin vuonna 2011. Vuodeksi 2011 kalibroitiväliä pidennettiin, sillä Turun AMK:n omien sekä Luode Consulting - ympäristökonsulttiyhtiön käyttökokemuksien mukaan tiheämmällä kalibroitisyklillä ei saavuteta parempaa mittaustarkkuutta. Sähkönjohtokyky, sameus ja pH kalibroitiin YSI-standardiliuoksilla. Happi kalibroitiin hapetettuun veteen lähes 100 % kyllästysasteeseen. Sähkönjohtokyky on kalibroitu 1000 µS/cm pitoisuuteen, pH kolmipistekalibroitina 4, 7 ja 10 pitoisuuksiin sekä sameus kaksipistekalibroitina 126 NTU arvoon ja akkuvedellä nolla-arvoon.

Vuosina 2010 ja 2011 Myllykylän syvänteellä toimi jatkuvatoiminen mittausasema. Kesällä 2010 mittausasemalla vedenlaatua mitattiin metrin ja 13 metrin syvyydeltä tunnin välein ja kesällä 2011 ainoastaan 13 metrin syvyydeltä. Kesinä 2010 ja 2011 asemalla käytettiin 13 metrin syvyydessä samaa YSI-6600 sarjan moniparametrimittaria, ja kesällä 2010 pintavedessä metrin syvyydellä toimi YSI-600XLM-M moniparametrimittari, jossa toimintaperiaate on muutoin sama kuin YSI-6600 sarjan laitteessa, mutta siinä ei voida käyttää optisia mittaantureita.

4.3 Ilmastus- ja hapetuslaitteisto

Vuodesta 2006 asti Kaksikerranjärvellä on ollut toiminnassa kaksi Waterix AIRIT 70+ – ilmastinta, lukuun ottamatta loppukesää 2011, jolloin Kaksikerranjärven neuvottelukunnan päätöksellä ilmastimet päätettiin poistaa käytöstä. Ilmastin imee sähkömoottorin avulla vettä 12 metrin syvyydestä ja palauttaa ilmastetun veden 10 metrin syvyyteen. Alasvirtaus on toteutettu pressuputkella, jossa il-

mastettu kylmempi vesi virtaa painovoiman avulla takaisin väliveden alle alusveteen. Waterix airit 70+ -ilmastin ei sekoita veden lämpötilakerrostuneisuutta (kuvat 4 ja 5).



Kuva 4: Waterix AIRIT 70+ -ilmastin ja sen toimintaperiaate (kuva: www.waterix.com).



Kuva 5: Waterix AIRIT 70+ - ilmastin toiminnassa Myllykylän edustalla heinäkuussa 2010.

Taulukko 2: Waterix AIRIT 70+ - ilmastimen valmistajan ilmoittamat tuoteominaisuudet (www.waterix.fi).

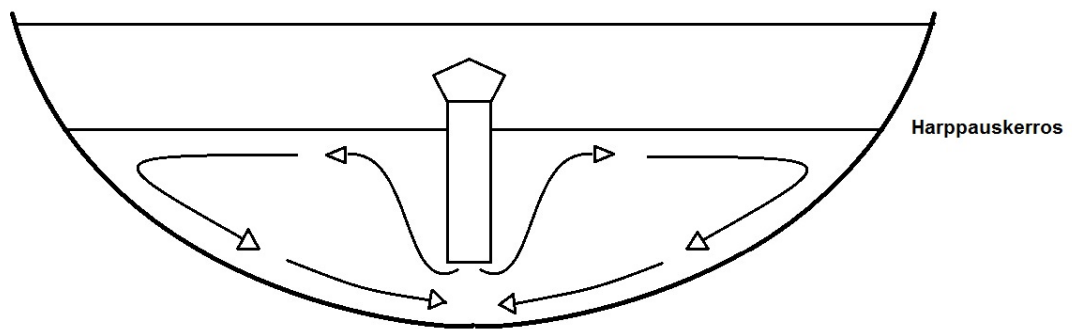
Moottori	1,5kW
Veden virtaus	69l/sek (248m ³ /h)
Hyötysuhde	2,0 kgO ₂ /kWh
Tuotto	3,0 kgO ₂ /h (72 kgO ₂ /d)
Paino kellukkeilla	34kg

Kaksikerranjärven itäpäähän altaaseen asennettiin 19.5.2010 uusi Vesi – Eko Oy:n Mixox MC-500 – hapetin. Mixox-hapetusmenetelmä perustuu hapekkaan ja kevyemmän päällysveden pumppaamiseen pohjan lähelle kerrostuneisuuden aikana (kuva 6). Pohjan lähelle pumpattavaan veteen ei erikseen lisätä happea, joten veden ollessa tasalämpöistä esimerkiksi keväisin ja syksyisin tai veden

ollessa lähes kokonaan hapetonta, hapetusta ei varsinaisesti tapahdu. (Vesi – Eko Oy, 2011)

Taulukko 3: Vesi-Eko Oy:n ilmoittamat tuoteominaisuudet Mixox MC-500 – hapettimesta(www.vesieko.fi).

Hapensiirtoteho	150 (kgO ₂ /d)
Tehotarve	0,6 (kW)
Virtaama	17000 (m ³ /d)
Käyttöalue	1-50 (ha)



Kuva 6: Mixox – hapettimen päätoimintaperiaate. Hapetin siirtää hapekkaampaa ja kevyempää pintavettä alusveteen. Veden tiheyserojen johdosta keveämpi pintavesi kohoaa alusveden yläosiin, mutta tiheyserojen minimoituessa vesi päätyy pohjan läheisyyteen (Vesi – Eko Oy 2003).

5 TUTKIMUSTAVOITTEET JA TULOKSET

Tuloksien tarkastelun helpottamiseksi ilmastus – ja hapetuslaitteet ovat tässä raportissa nimetty seuraavasti: lännenpuoleinen Waterix – ilmastin on nimetty ilmastin A:ksi, idänpuoleinen ilmastin on nimetty ilmastin B:ksi ja järven itäpäässä sijaitseva Mixox – hapetin on nimetty hapetin C:ksi (ks. kuva 2).

Tuloksien tarkastelussa olen pääosin keskittynyt veden happipitoisuuden esittämiseen hapetuslaitteiden toimintaa tarkasteltaessa. Taulukossa 4 on esitettyä Suomen ympäristökeskuksen antamat eri happipitoisuuksien raja-arvomääritelmät. Taulukko on tarkoitettu avuksi raportin lukijalle.

Eri kalalajeilla on yksilölliset vaatimukset veden happipitoisuuden suhteen, mutta suurin osa lajeistamme, ei selviä pidempiä aikoja enää alle 3:n mg/l happipitoisuuksissa ja suurin osa välttää alle 5:n mg/l pitoisuuksia (SYKE 2009, Lehtonen 2003, 14, Lappalainen & Lakso 2005, 154). Pohjaeläinten kuolleisuuden on havaittu lisääntyvän merkittävästi, kun pohjanläheisen veden happipitoisuus laskee alle 2 mg/l (SYKE 2009).

Taulukko 4: Suomen ympäristökeskuksen esittämät veden happipitoisuuden raja-arvomääritelmät taulukkona (SYKE 2009)

Happipitoisuus yli 5 mg/l	Normaali
Happipitoisuus alle 5 mg/l	Merkittävä happivajaus
Happipitoisuus 3,0 – 0,4 mg/l	Suuri happivajaus
Happipitoisuus 0,0 mg/l	Happikato

5.1 Vuoden 2009 seuranta

5.1.1 Tutkimussuunnitelma

Vuonna 2009 Turun ammattikorkeakoulun suorittamien tutkimusten päätavoitteena oli selvittää elokuussa 2006 Kaksikerranjärvelle asennettujen Waterix ALRIT 70+ -ilmastimen toimintasädetä ja –tehokkuutta. Jo vuonna 2008 tehdyissä seurannoissa oli havaittu, että ilmastuslaitteiden hapettava vaikutus oli riittämätöntä. Lisäksi seurantojen yhteydessä todettiin, että ilmastuslaitteita käytiin sammuttamassa yksityishenkilöiden toimesta meluhaittojen vuoksi (Loisa 2009, 9).

Kesällä 2009 ilmastimien toimintaa seurattiin yhteensä viitenä eri kertana 9.6.–24.9.2009 välisenä aikana. Kahden ensimmäisen seurantapäivän perusteella todettiin, että ensisijaiseksi määritetyillä tutkimusmenetelmillä ei saatu riittävän tarkkaa kuvaa ilmastimien toiminnasta, ja tästä johtuen kolmen seuraavan tutkimuskerran menetelmät määräytyivät osittain edellisellä mittauskerralla saatujen tuloksien perusteella. Osa vuoden 2009 tutkimuksessa käytetyistä menetelmistä olivat tilanteeseen räätälöityjä ja kokeiluluontoisia. Jokaisella mittauskerralla vedenlaatua mitattiin YSI-6600 moniparametrimittarilla (pois lukien 4. mittauskerta). Mittaukset toteutettiin etukäteen määritellyltä syvyydeltä tai vertikaaliprofiilina metrin välein pinnasta pohjaan.

Tutkimusten jälkeen saadun tiedon mukaan ilmastin A:n imuputkesta oli kesällä 2009 puuttunut kuuden metrin mittainen osa (Waterix Oy, 2010). Vuoden 2009 seurannassa tutkittiin pääosin juuri ilmastin A:n toimintaa. Ainoastaan viimeisen tutkimuskerran ilmastimen toiminnan tehostamiskoe suoritettiin ilmastin B:lle. Koska ilmastin A:n imuputkesta oli puuttunut merkittävä osa, sen toimintaperiaate ei ole voinut toteutua seurantajakson aikana. Ilmastin on imenyt ilmastettavaa vettä kuuden metrin syvyydeltä kahdentoista metrin sijaan, jolloin alusvesi ei ole voinut hapettua.

Ilmastin A:n merkittävästä puutteesta johtuen vuonna 2009 kerättyjen tutkimustulosten painoarvo häviää. Tästä syystä johtuen vuoden 2009 seurantamene-

telmät ja – tulokset on esitetty tyypistetysti, ja tuloksia esitettäessä on viitattu vuoden 2009 tutkimusraporttiin ”Kaksikerranjärven vedenlaadunseuranta 2009” (Huhta, Kaseva ja Loisa, 2010).

5.1.2 Menetelmät

Seurannan ensimmäisellä ja toisella kerralla kartoitettiin vedenlaatua Myllykylän pääsyvänteen länsipäässä sijaitsevan Waterix – ilmastimen (ilmastin A) läheisyydessä. Vedenlaatumittaukset tehtiin YSI – vertikaaliprofiilein pinnasta pohjaan. Ensimmäisenä seurantapäivänä (9.6.2009) vedenlaatutiedot mitattiin lounas- ja koillis-suuntaisissa linjoissa 25m, 50m, 100m ja 150m etäisyyksiltä ilmastimesta katsoen. Koska ilmastimen toiminnan vaikutuksia ei kartoituksessa havaittu, toisella seurantakerralla (7.7.2009) etäisyyksiä tiivistettiin ja vedenlaatutiedot mitattiin lounas- ja koillisuuntaisissa linjoissa 1m, 10m, 25m, 50m ja 75m etäisyyksiltä.

Kolmannella tutkimuskerralla (28.7.2009) poikettiin jo alkuperäisestä tutkimussuunnitelmasta, koska kahdella ensimmäisellä kerralla ei ilmastimen vaikutuksia vedenlaatuun ollut havaittavissa. Kolmannella seurantakerralla ilmastin A:lle suoritettiin käynnistyskoe, jossa ilmastin käytiin kytkemässä pois päältä noin vuorokausi ennen varsinaista mittausta, jotta vedenlaatu ilmastimella vastaisi mahdollisimman hyvin järven vedenlaatua koetta aloitettaessa. Ennen ilmastimen käynnistämistä aloitettiin vedenlaadun mittaus kymmenen sekunnin välein ilmastimen sisä- ja ulkopuolelta, jolloin havaittaisiin mahdolliset muutokset vedenlaadussa ilmastimen käynnistyessä. Neljännellä tutkimuskerralla (6.8.2009) selvitettiin veden kulkeutumista ilmastimen sisäpuolella ja läheisyydessä värjäämällä vesi punaisella elintarvikeväriillä. Veden kulkeutumista havainnoitiin jatkuvalla Limnos – vesinäytteenotolla ja kuva dokumentaatiolla.

Viides tutkimuskerta (24.9.2009) oli ainut jossa tutkimuskohteena ei ollut myöhemmin puutteelliseksi havaittu ilmastin A. Tutkimuskohteeksi vaihdettiin ilmastin B, koska ilmastin vaikutti parempikuntoiselta kuin ilmastin A. Lisäksi ilmastin

B oli ollut koko kesän 2009 pois päältä ja otettu hiljattain uudelleen käyttöön. Viimeisellä tutkimuskerralla pyrittiin kokeellisesti tehostamaan ilmastin B:n toimintaa nostamalla pintakehikkoa selvästi vedenpinnan yläpuolelle. Pintakehikkoa kohotettaessa vedenlaatutiedot mitattiin 11 metrin syvyydeltä, jotta havaitaisiin ilmastimen toiminnan mahdollinen tehostuminen (liite 3).

5.1.3 Vuoden 2009 tulokset

Ensimmäisellä tutkimuskerralla 9.6.2009 vesi oli jo lämpötilakerrostunutta ja alusvedessä oli havaittavissa merkittävää hapenvajaausta. Heinäkuun alussa 7.7.2009 tehdyissä mittauksissa Myllykylän syvänteellä oli jo havaittavissa happikatoa pohjanläheisessä vedessä. Kolmannella tutkimuskerralla tehdystä käynnistyskokeesta ei onnistuttu saamaan merkittäviä tutkimustuloksia. Ainoastaan veden lämpötilassa havaittiin noin kolmen asteen pudotus ilmastimen sisällä ilmastimen käynnistyessä. 6.8.2009 tehdyssä veden värjäyskokeessa vesi värjäytyi selvästi punaiseksi ilmastimen sisäpuolella, mutta vesinäytteenoton avulla ei värjättyä vettä onnistuttu havaitsemaan ilmastimen ulkopuolelta mitään syvyydeltä. (Huhta, Kaseva ja Loisa, 2010). Ilmastin B:lle suoritettussa toiminnan tehostamiskokeessa 24.9.2009 onnistuttiin hetkellisesti havaitsemaan ilmastustehon nousua 11 metrin syvyydessä (Liite 3).

Koska ilmastin A:n imuputkesta puuttui kuuden metrin osa kesällä 2009, ei ensimmäisellä neljällä tutkimuskerralla ilmastimen toimintaa onnistuttu havaitsemaan käytetyillä tutkimusmenetelmillä. Imuputken puutteen lisäksi ilmastin A:n metallinen pintakehikko oli osittain epäkunnossa kesällä 2009. Ilmastin B oli lähes koko kesän 2009 epäkunnossa eikä näin ollen ollut toiminnassa. Myös ilmastin B:n pintakehikon havaittiin olevan osittain epäkunnossa.

Ilmastimien huonon kunnon lisäksi niiden suurimmaksi puutteeksi todettiin se, että pintaan ilmastettavaksi pumpattu vesi pääsi osittain virtaamaan pintakellukkeiden yli ilmastimen ulkopuolelle, eikä näin ollen voinut palautua takaisin alusveteen. Pintaan ilmastettavaksi nousseen veden tulisi lähes täysin pysyä ilmas-

timen sisäpuolella, mikäli sen haluttaisi ilmastavan alusvettä täydellä teholla. Vaikkakin seurantajakson jälkeen havaittu ilmastin A:n puute vaikutti merkittävästi saatuihin tuloksiin, vuoden 2009 tutkimuksissa onnistuttiin keräämään runsaasti tietoa ilmastimien toiminnasta, sekä erilaisten tutkimus- ja seurantamenetelmien käytöstä ilmastimen toimintaa selvitettyä.

5.2 Vuoden 2010 seuranta

5.2.1 Tutkimussuunnitelma

Vuonna 2010 Turun AMK:n suorittamien vedenlaadun mittausten päätavoitteena oli kerätä tietoa Kaksikerranjärvelle asennettujen ilmastuslaitteiden toimivuudesta sekä koko järven happitilanteesta. Vedenlaatua mitattiin yhteensä kuutena kertana 2.6. – 22.9.2010 välisenä aikana. Ensimmäisellä tutkimuskerralla vedenlaatutiedot mitattiin 12:sta vakioseurantapisteestä (kuva 1). Muina tutkimuskertoina pyrittiin seuraamaan koko Kaksikerranjärven happitilannetta viiden vakiomittauspisteen avulla. Mittauspisteet valittiin niin, että ne antaisivat mahdollisimman kattavan kuvan koko järven alueen happitilanteesta. Näin ollen mittaukset suoritettiin vakiomittauspisteistä: 1,3,7,9 ja 11.

Vuoden 2009 mittauksissa todettiin, että Kaksikerranjärven Waterix airit 70+ -ilmastimet olivat osittain epäkunnossa ja rakenteeltaan puutteelliset. Kesäkuussa 2010 ilmastimet korjattiin laitevalmistajan toimesta sekä niiden toimintaperiaatetta pyrittiin parantamaan mm. uusien pintakellukkeiden avulla. Vuoden 2010 tutkimusten tavoitteena oli kartoittaa kunnostettujen ilmastimien toimintatehoa. Kahden Waterix - ilmastimen toimintaa seurattiin yhteensä kahdeksan mittauspisteen avulla, jotka sijaitsivat 5 ja 50 metrin etäisyydellä itä- sekä länsisuunnassa molemmista ilmastimista. Keväällä 2010 Kaksikerranjärvellä otettiin myös käyttöön uusi Vesi – Eko Oy:n Mixox – hapettin. Mixox – hapettimen toimintaa pyrittiin seuraamaan vakiomittauspisteen 11 avulla.

Vedenlaatutiedot mitattiin yhteensä 13 seurantapisteestä yhden tutkimuspäivän aikana, lukuun ottamatta toiseksi viimeistä tutkimuskertaa, jolloin mittaukset

jaettiin kahdelle päivälle. Tiedot mitattiin vertikaalisuuntaisilla mittausprofiileilla metrin välein pinnasta pohjaan YSI-moniparametrimittarilla. Lisäksi vedenlaatua seurattiin jatkuvatoimisella mittausasemalla 15.6. – 3.11.2010. Asema asennettiin Myllykylän pääsyvänteen syvimmälle alueelle. Mittauslautalle asennettiin kaksi YSI – moniparametrimittaria metrin ja 13 metrin syvyyteen. Molemmat mittarit mittasivat vedenlaatutiedot tunnin välein, jonka lisäksi Keller GSM-2 yksikkö lähetti 13 metrin syvyydessä mitatut vedenlaatutiedot kaksi kertaa päivässä Turun ammattikorkeakoulun Sepänkadun Valvomo – tietokoneelle etäseurantaa varten.

5.2.2 Kaksikerranjärven happikartoitus (2.6.2010)

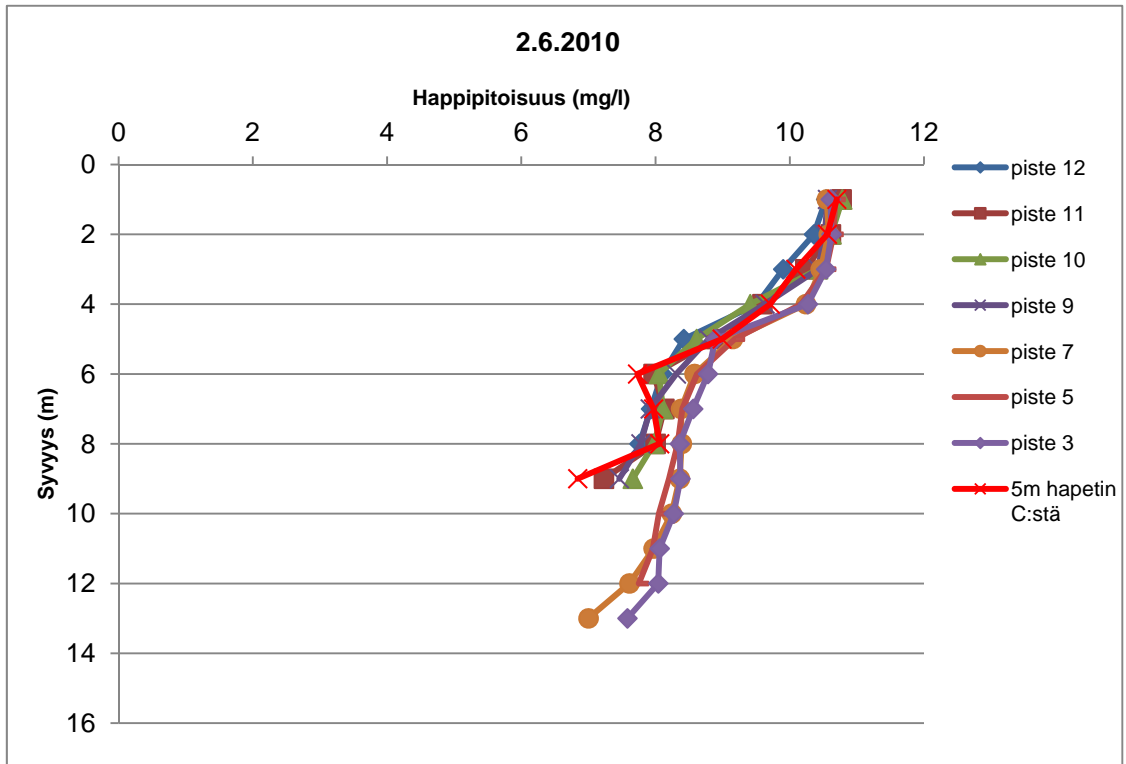
Menetelmäkuvaus

Ensimmäisellä tutkimuskerralla suoritettiin Kaksikerranjärven happikartoitus, jolla haluttiin selvittää koko järven alkukesän happitilanne. Keväällä 2010 järvelle asennetun hapetin C:n vaikutuksia vedenlaatuun selvitettiin hapettimen läheisyydestä tehdyllä mittauksella. Vedenlaadun mittaukset tehtiin 12:sta vakioseurantapisteestä sekä 5 metrin etäisyydeltä hapetin C:stä. Ilmastin A otettiin uudelleen käyttöön järvellä vasta kesäkuun loppupuolella ja ilmastin B vasta heinäkuun alkupuolella, joten ne sisällytettiin seurantaohjelmaan toisesta ja kolmannesta tutkimuskerrasta eteenpäin.

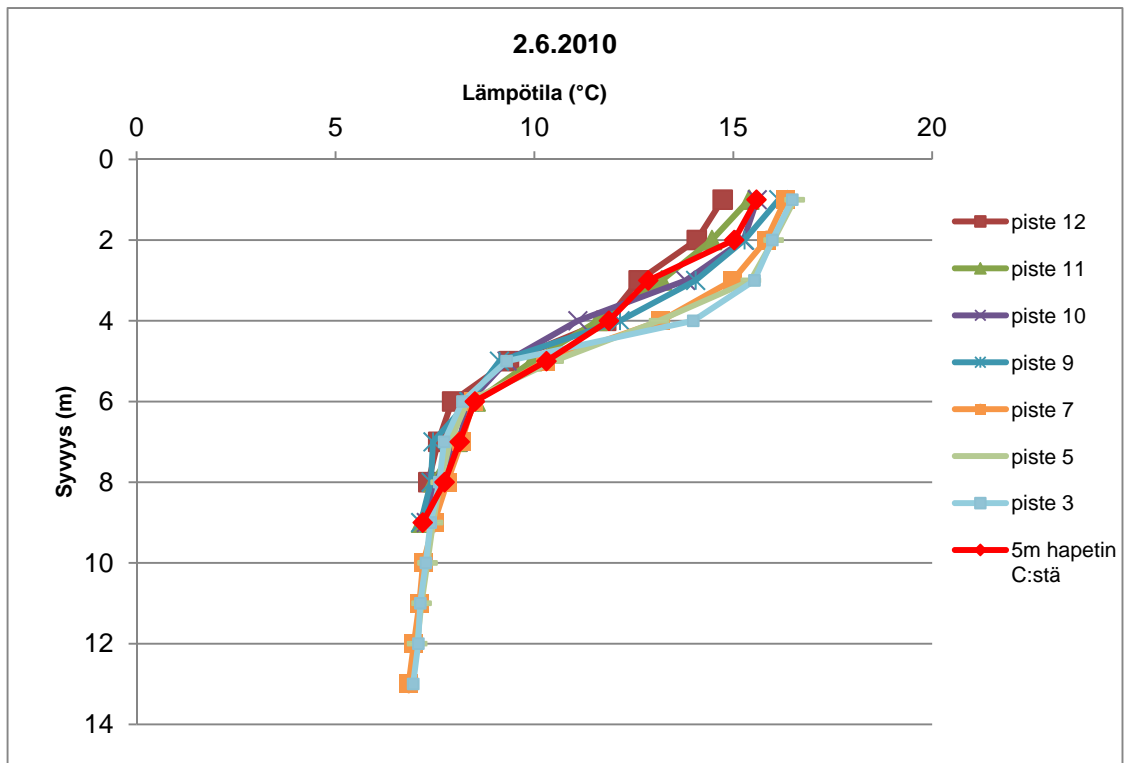
Tulokset

Kesäkuun alussa Kaksikerranjärven happitilanne oli hyvä. Millään mittauspisteellä ei havaittu hapen vajausta alusvedessä. Hapetin C:n läheisyydestä saaduista tuloksista voidaan havaita hapettimen mahdollinen happipitoisuutta nostava vaikutus 6 – 8 metrin syvyydellä. Happipitoisuus on hieman korkeampi 8 metrin syvyydellä kuin kuudessa metrissä, mikä osoittaisi hapettimen nostavan

hieman alusveden happipitoisuutta (kuvio 3). Tutkimusajankohtana oli jo havaittavissa lievää veden lämpötilakerrostuneisuutta, harppauskerroksen sijaitessa neljän ja kuuden metrin välillä (kuvio 4). Vaikka hapettimen mahdollinen vaikutus on havaittavissa mitatuissa happipitoisuuksissa, ei yhtä selkeää vaikutusta ole havaittavissa alusveden lämpötilassa. Ennen ensimmäistä tutkimuskertaa Mixox – hapetin oli ollut toiminnassa tasan kaksi viikkoa.



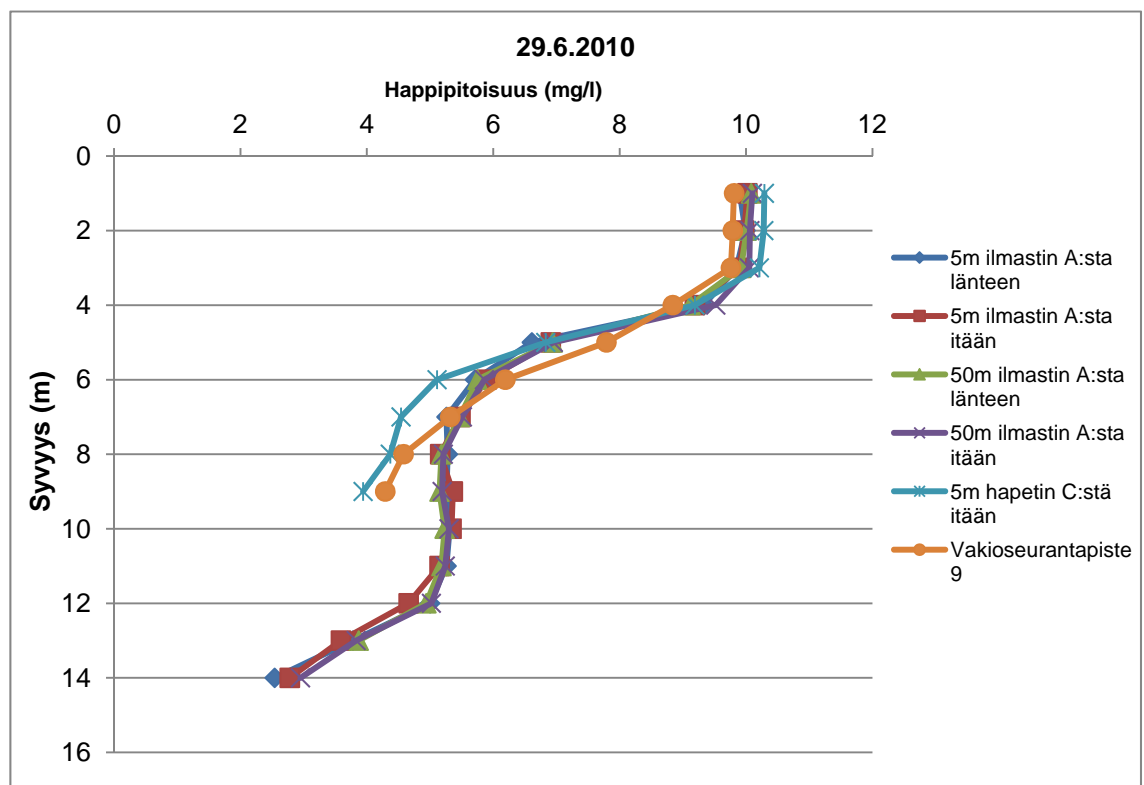
Kuvio 3: Veden happipitoisuus (mg/l) osassa Turun AMK:n vakio seurantapististä 2.6.2010. Hapettimen läheisyydestä mitattu piste on merkitty punaisella värillä.



Kuvio 4: Veden lämpötila (°C) osassa Turun AMK:n vakio seurantapististä 2.6.2010. Hapettimen läheisyydestä mitattu piste on merkitty punaisella värillä.

5.2.3 Vedenlaadunseuranta (29.6.2010)

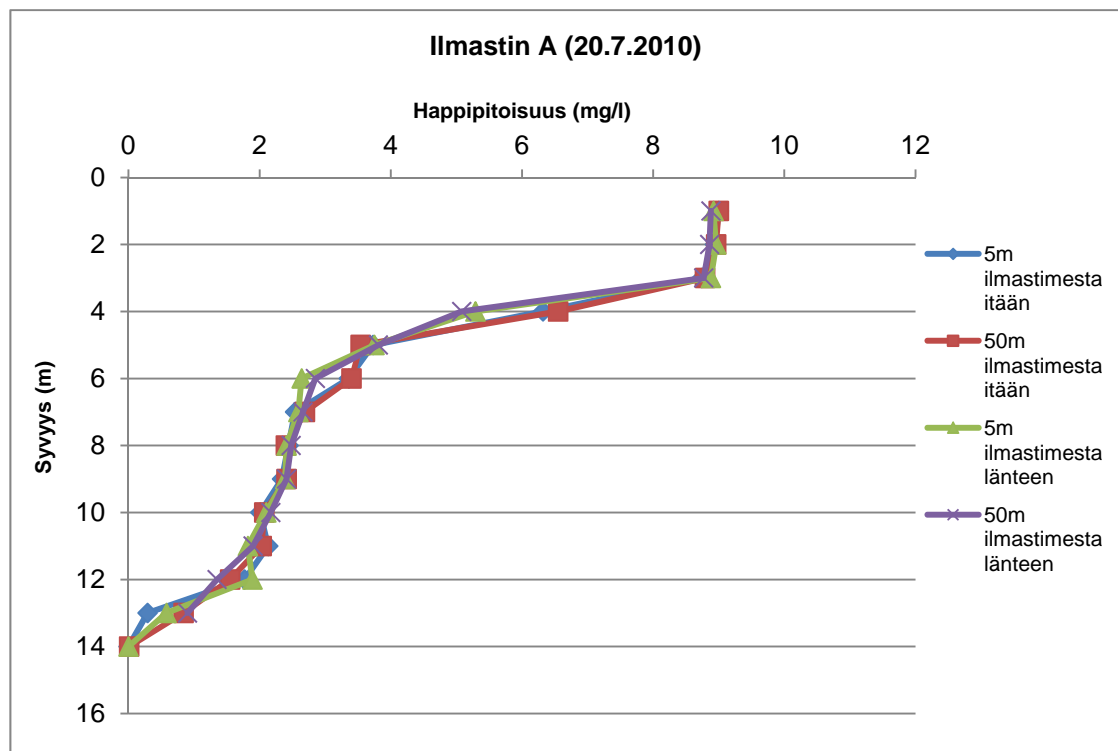
Kesäkuun loppupuolella pohjanläheisen veden happipitoisuus oli laskenut huomattavasti 2.6.2010 mitatuista arvoista. Jokaisella mittauspisteellä oli havaittavissa happivajausta pohjanläheisessä vedessä. Ilmastin A:n mahdollinen hapettava vaikutus on havaittavissa mittaustuloksista. Happipitoisuus pysytteli hyvin samalla tasolla 8 – 11 metrin syvyydellä, mikä todennäköisesti on seurausta ilmastinlaitteen toiminnasta. Tuloksien perusteella hapettava vaikutus oli kuitenkin hyvin pientä. Ilmastin A oli otettu uudelleen käyttöön noin kaksi viikkoa ennen kesäkuun lopussa tehtyjä mittauksia. Hapetin C:n läheisyydestä tehdyistä mittauksista ei hapettimen vaikutusta ole havaittavissa. Alusveden happipitoisuus laski tasaisesti pohjaa lähestyttäessä (kuvio 5).



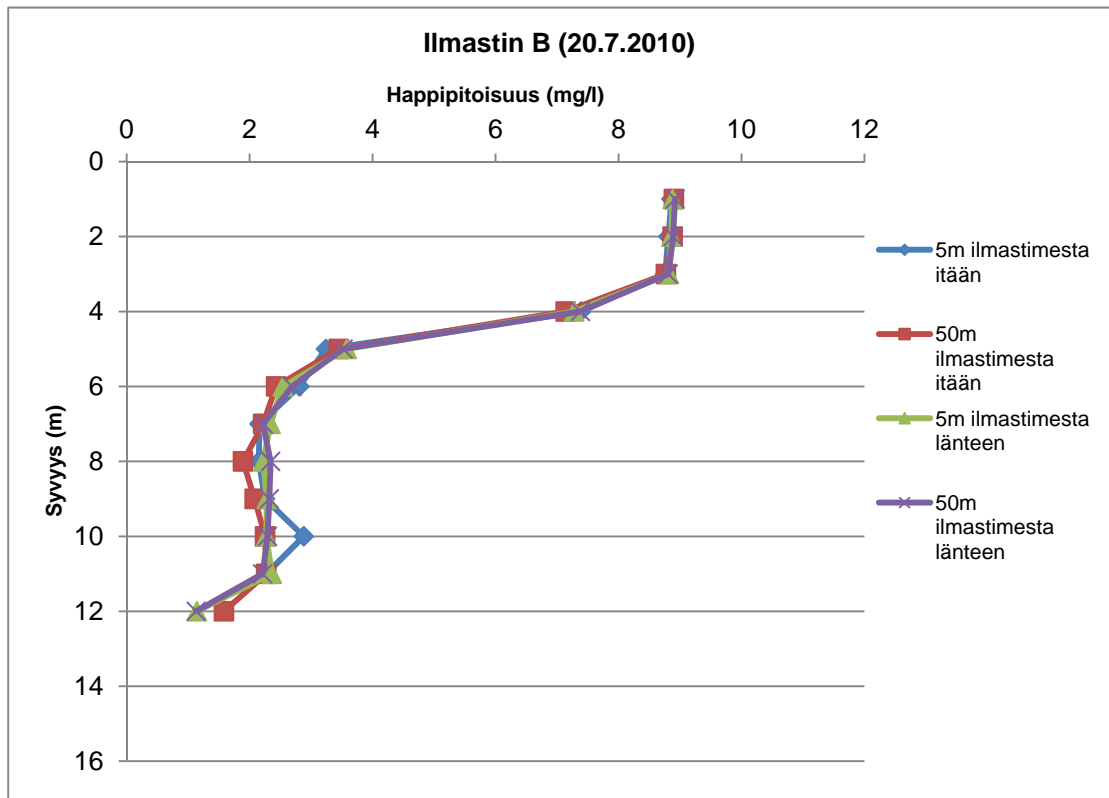
Kuvio 5: Happipitoisuus (mg/l) ilmastin A:n ja hapetin C:n läheisyydessä 29.6.2010. Vakiomittauspiste 9 on esitetty hapetin C:n vertailupisteenä.

5.2.4 Vedenlaadunseuranta (20.7.2010)

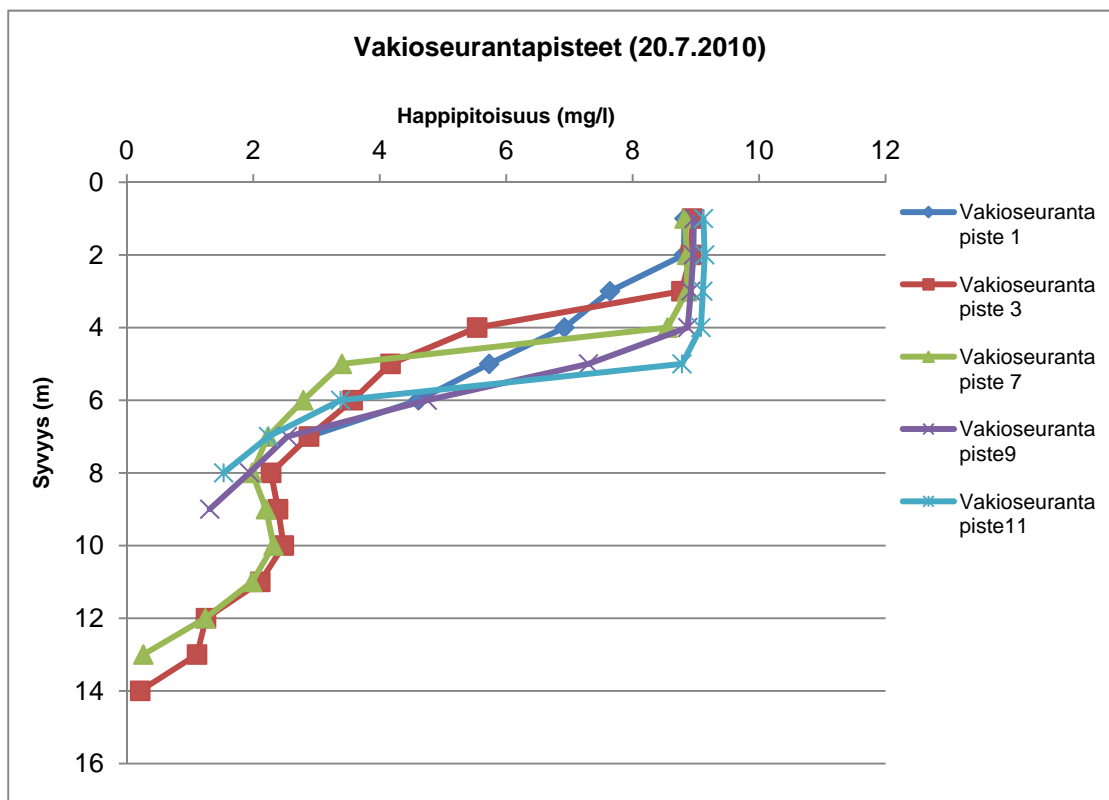
Heinäkuun loppupuolella Kaksikerranjärven pohjanläheisen veden happitilanne oli jo heikko. Vesi oli vahvasti lämpötilakerrostunutta ja Myllykylän syvänteessä pohjanläheisen veden happi oli paikoittain jo kulunut loppuun. Ilmastin A:n läheisyydestä tehdyissä mittauksissa, ilmastimen hapettava vaikutus oli havaittavissa, mutta alusvedessä oli jo selvästi merkittävää happivajausta (kuvio 6). Koko alusveden happipitoisuus oli alle 3 mg/l. Myös ilmastin B:n seurantapisteen tuloksista on ilmastimen hapettavavaikutus havaittavissa. Alusvedessä oli kuitenkin merkittävää hapen vajausta kaikilla mittauspisteillä myös ilmastin B:n läheisyydessä (kuvio 7). Hapetin C:n vaikutusta veden happipitoisuuteen ei voida vakioseurantapisteen 11 tuloksista todeta. Waterix - ilmastimien happipitoisuutta nostava vaikutus näkyi myös vakioseurantapisteen 3 ja 7 tuloksissa (kuvio 8).



Kuvio 6: Ilmastin A:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.



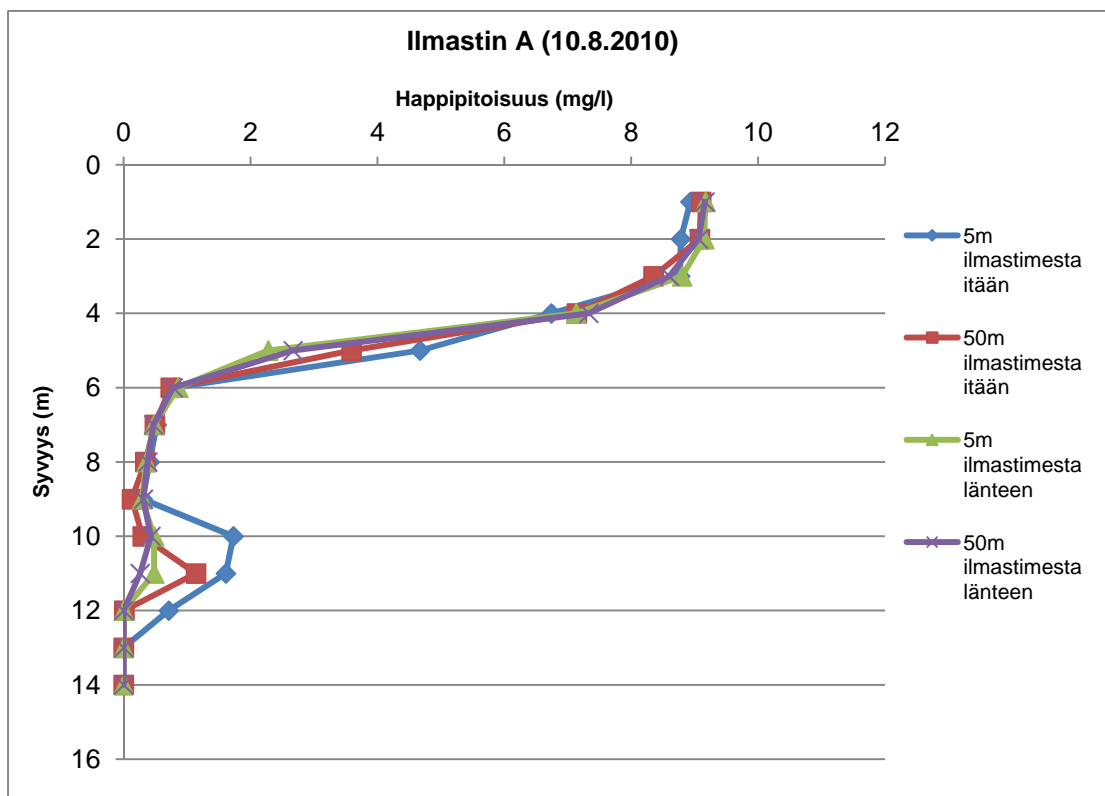
Kuvio 7: Ilmastin B:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.



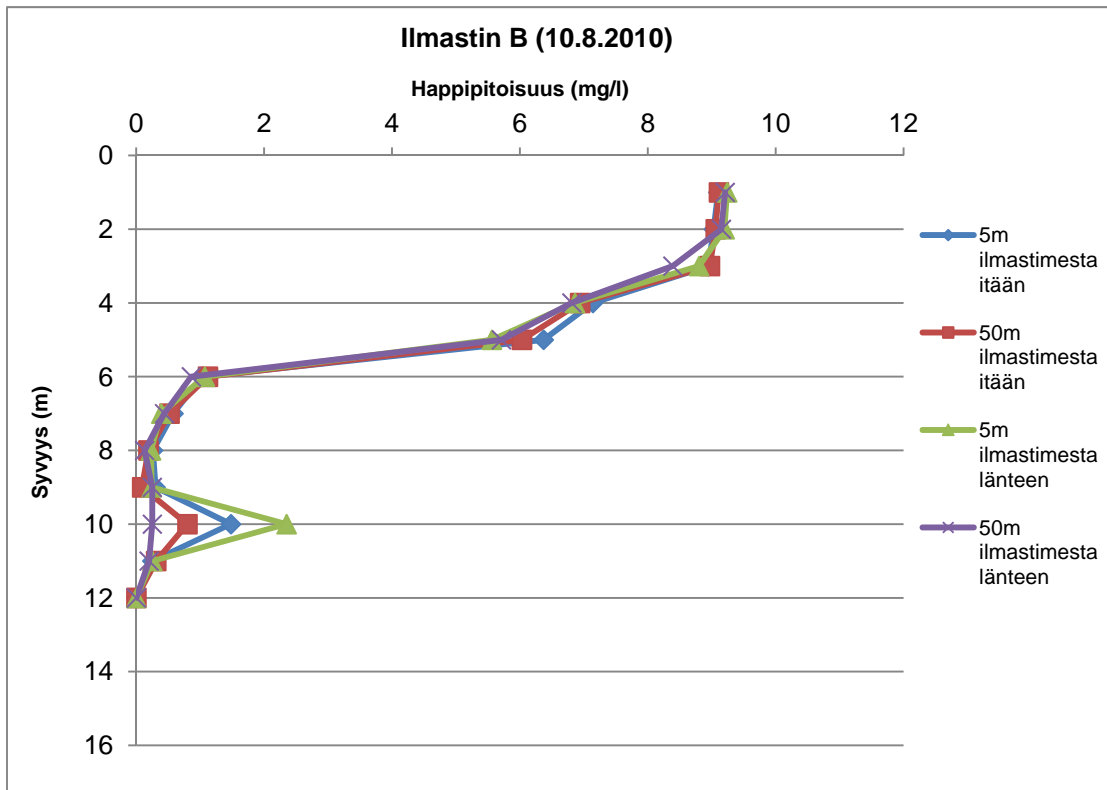
Kuvio 8: Vakioseurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 20.7.2010.

5.2.5 Vedenlaadunseuranta (10.8.2010)

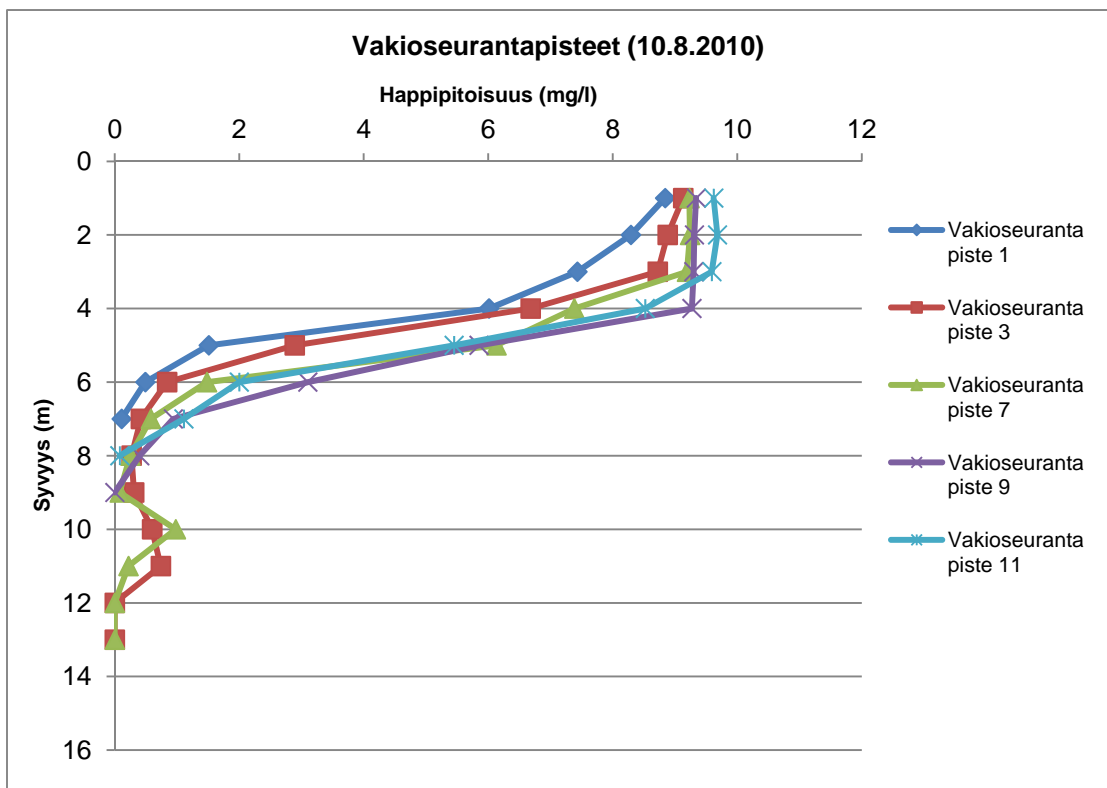
Elokuun alkupuolella Kaksikerranjärven alusveden happitilanne oli erittäin huono. Koko alusveden happipitoisuus oli alle 1 mg/l ja pohjanläheinen vesi oli jo täysin hapetonta. Ilmastimien A ja B hapettava vaikutus oli havaittavissa, mutta toimintateho oli edelleen alhainen. Happipitoisuus oli korkeampi 9-12 metrin syvyydellä, mutta molempien ilmastimien läheisyydessä pohjanläheinen vesi oli hapetonta (kuviot 9 ja 10). Hapetin C:n vaikutusta järven itäpään happitilanteeseen ei voitu vakioseurantapisteen 11 tuloksista havaita. Waterix – ilmastimien vaikutus oli havaittavissa myös vakioseurantapisteillä 3 ja 7 (kuvio 11).



Kuvio 9: Ilmastin A:n seurantapisteen happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.



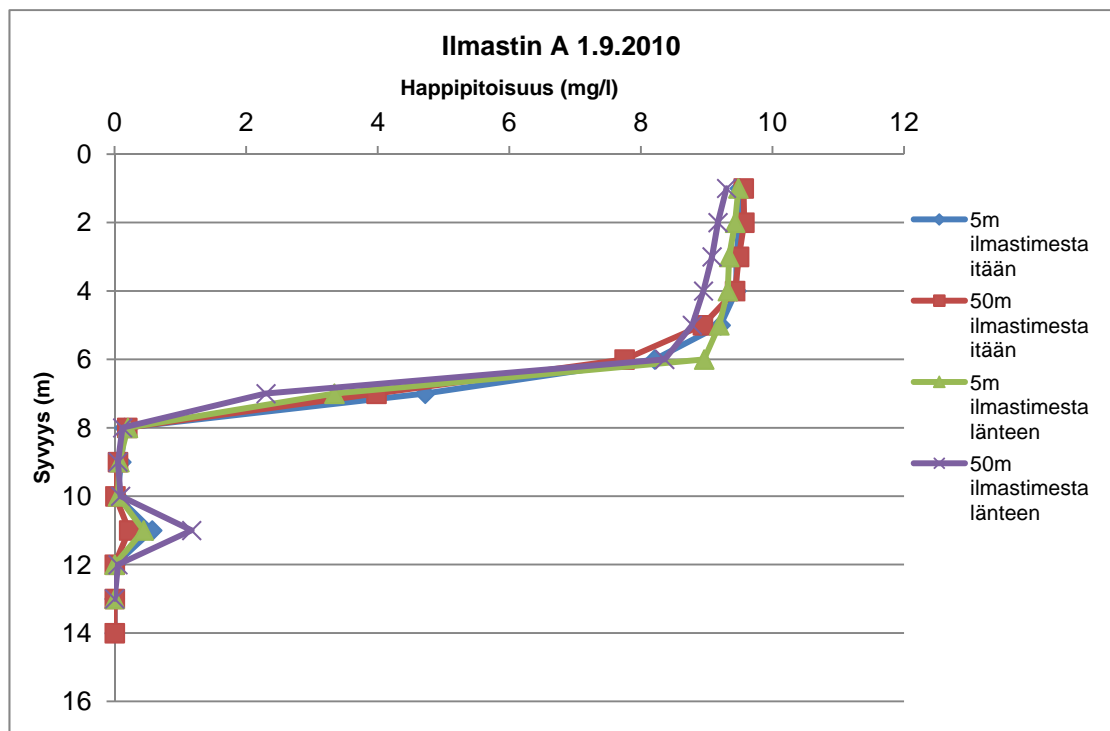
Kuvio 10: Ilmastin B:n seurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.



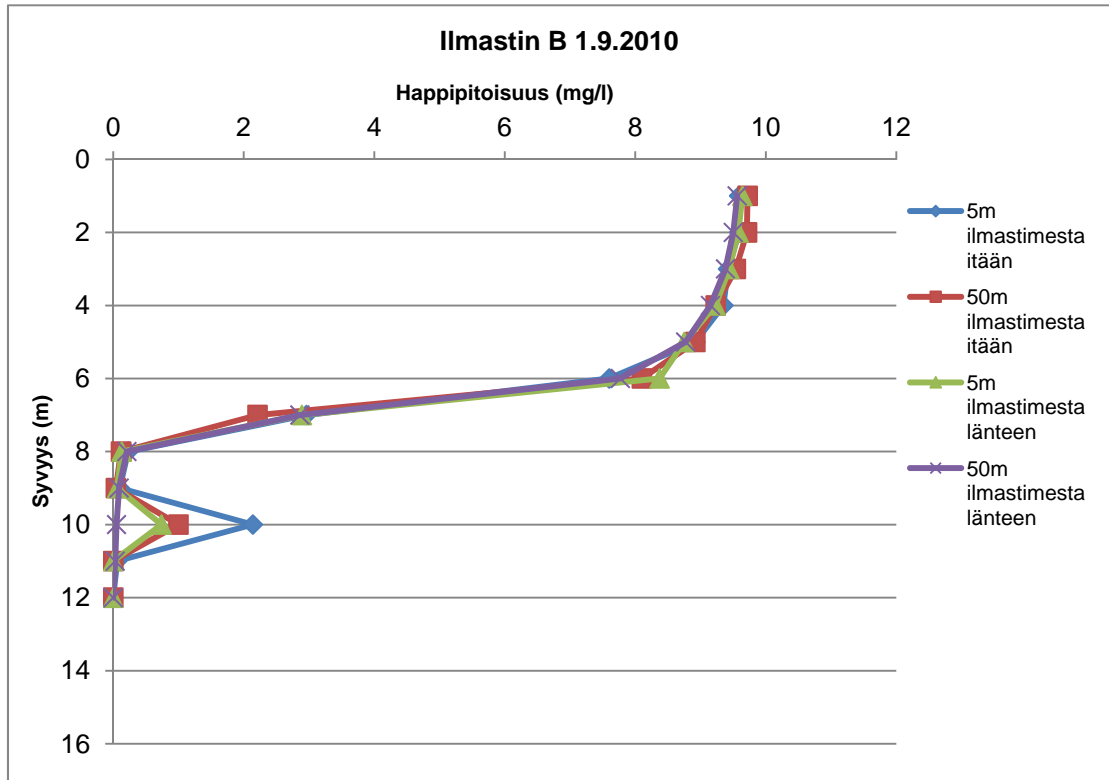
Kuvio 11: Vakioseurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 10.8.2010.

5.2.6 Vedenlaadunseuranta (31.8. – 1.9.2010)

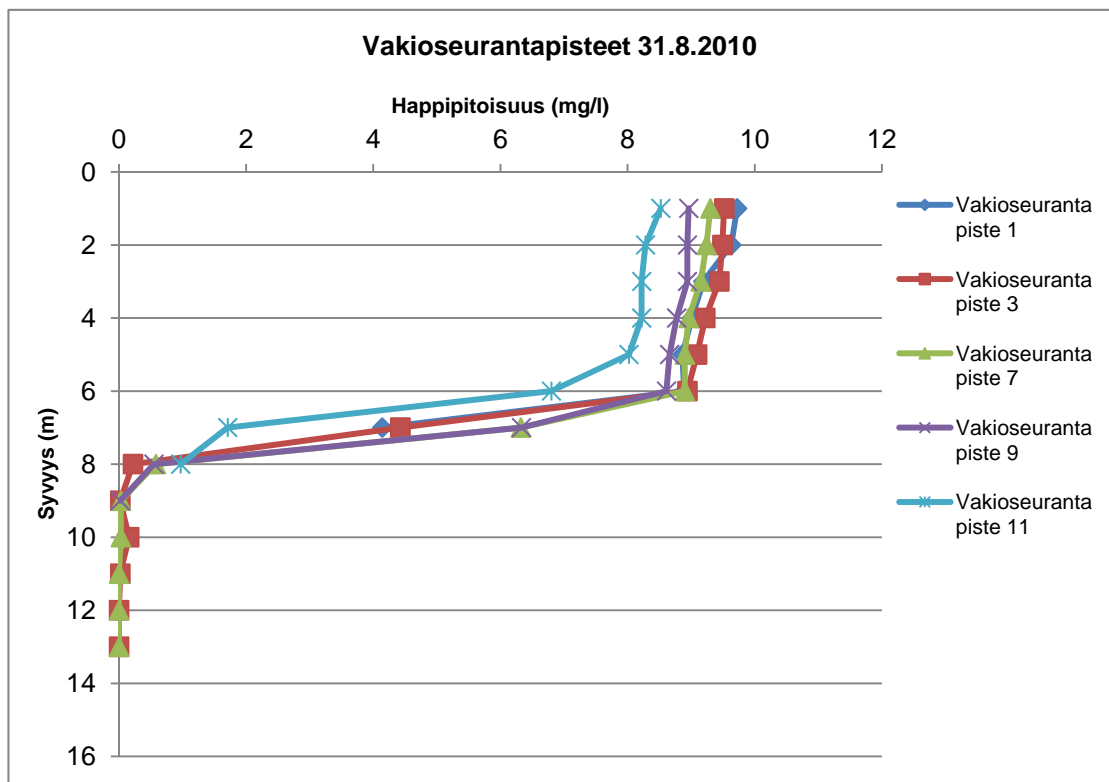
Viidennen seurantakerran mittaukset jaettiin kahdelle päivälle käytännön järjestyksen takia. 31.8.2010 mitattiin vakioseurantapisteet ja 1.9.2010 tehtiin mittaukset ilmastimien seurantapisteiltä. Elo – ja syyskuun vaihteessa lähes koko alusveden liukoinen happi oli kulunut loppuun. Lämpötilakerrostuneisuus oli hiljalleen alkanut purkautua harppauskerroksen sijaitessa kuuden ja kahdeksan metrin välillä, kun se elokuun alkupuolella oli vielä neljän ja kuuden metrin välillä. Ilmastimien A ja B vaikutus oli edelleen havaittavissa tuloksista. Toimintateho oli edelleen alhainen sekä toiminta-alueet suppeita, hapettavan vaikutuksen jäädessä vain hyvin kapealle syvyysvyöhykkeelle. Pohjanläheinen vesi ilmastimien läheisyydessä oli täysin hapetonta (kuviot 12 ja 13). Vakioseurantapisteellä 11 mitatut happipitoisuudet poikkesivat hieman muilta vakioseurantapisteiltä mitatuista. Pintaveden happipitoisuus pisteellä 11 oli hieman matalampi, ja alusveden taas hieman korkeampi muihin pisteisiin verrattuna. Tämä saattaa johtua hapettimen toiminnasta, sen pumpatessa pintavettä alusveteen. On myös mahdollista, että erot johtuvat esimerkiksi kerrostuneisuuden luontaisesta purkautumisesta (kuvio 14).



Kuvio 12: Ilmastin A:n seurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 1.9.2010.
TURUN AMK:N OPINNÄYTETYÖ | Eemeli Huhta



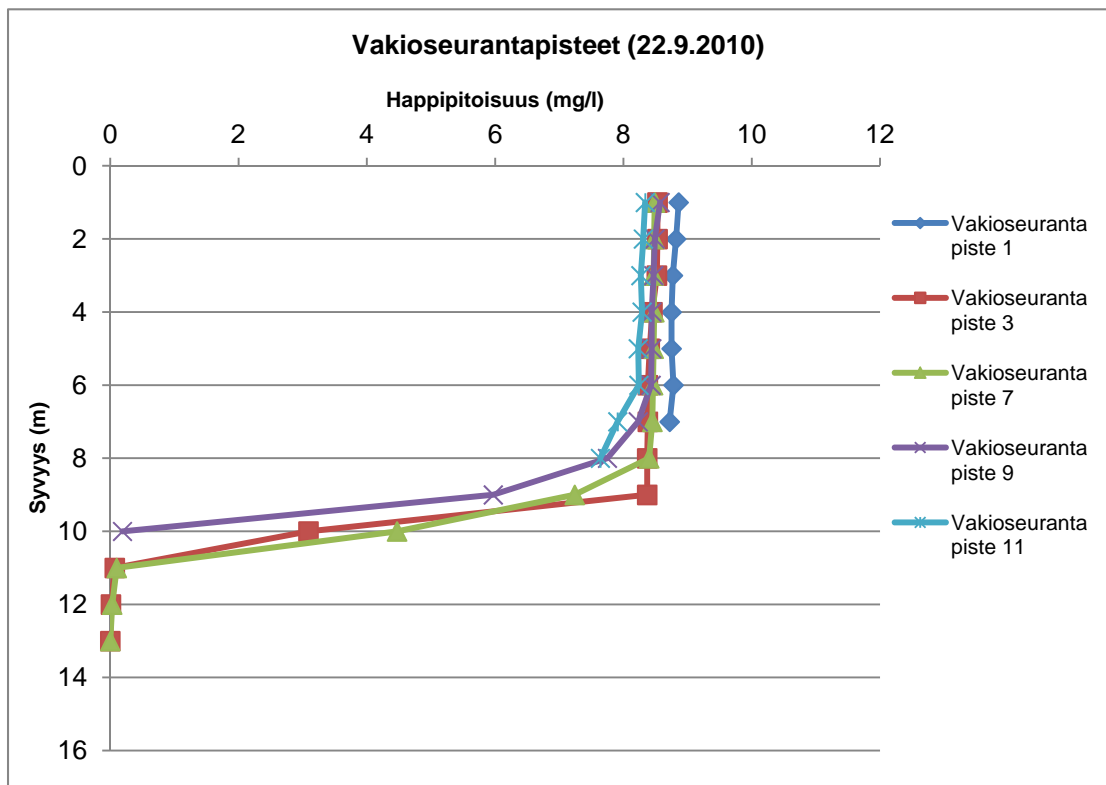
Kuvio 14: Ilmastin B:n seurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 1.9.2010.



Kuvio 13: Vakioseurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 31.8.2011.

5.2.7 Vedenlaadunseuranta (22.9.2010)

Viimeisellä seurantakerralla ei enää erikseen tehty mittauksia ilmastimien seurantapisteistä. Syyskuun lopulla Kaksikerranjärven lämpötilakerrostuneisuus oli jo lähes purkautunut, harppauskerroksen ollessa yhdeksän ja yhdentoista metrin syvyysvyöhykkeellä. Koko alusvesi oli käytännössä katsoen hapetonta. Millään vakioseurantapisteellä ei ollut enää selkeästi havaittavissa ilmastimien ja hapettimen vaikutuksia järven happipitoisuuteen (kuvio 15).



Kuvio 15: Vakioseurantapisteiden happipitoisuus (mg/l) 22.9.2010.

5.2.8 Yhteenveto 2010

Kesäkuussa 2010 Waterix - ilmastimille tehdyt kunnostukset paransivat ilmastimien toimintaa selvästi. Vuoden 2009 tuloksista ilmastimien toimintaa ei pystytty selvästi havaitsemaan, kun taas kaikista vuoden 2010 tuloksista ilmastimien hapettava vaikutus näkyi selvästi. Hapetusalue oli kuitenkin tuloksien perusteella liian pieni, sekä hapetusteho liian matala. Hapettunut vesi ei näyttänyt päätyvän aivan pohjan lähelle, vaan vaikutukset olivat lähinnä havaittavissa 9 – 11 metrin syvyydellä, pohjanläheisen veden pysyessä täysin hapettomana. Lisäksi happipitoisuus alusvedessä ei tuloksien perusteella noussut yli tarvittavan 3 mg/l (ks. taulukko 4).

Kesän 2010 happitilanne oli kokonaisuudessaan parempi kuin edeltävinä kesinä. Pohjanläheinen vesi oli hapetonta noin kahden kuukauden ajan, kun taas huonompina vuosina hapeton ajanjakso voi olla yli kolmen kuukauden pituinen. Myllykylän mittausasemalla pohjanläheinen vesi oli hapetonta heinäkuun lopusta syyskuun loppuun (liite 5). Järvien happitilanne vaihtelee vuosittain olosuhteista riippuen (Eloranta 2005, 25). Tuloksien perusteella on mahdotonta tulkita, kuinka merkittävä vaikutus ilmastuksella on ollut vuoden 2010 parempaan happitilanteeseen vai johtuuko parempi tilanne vain vuosittaisesta vaihtelusta olosuhteissa.

Kaksikerranjärven itäaltaan Mixox – hapettimen toiminta havaittiin selvästi vain seurantakauden ensimmäisellä tutkimuskerralla, jolloin vedenlaatu mitattiin viiden metrin etäisyydeltä hapettimesta. Muina ajankohtina kun hapettimen toimintaa pyrittiin seuraamaan vakioseurantapisteen 11 avulla, ei hapettimen vaikutusta onnistuttu selvästi havaitsemaan.

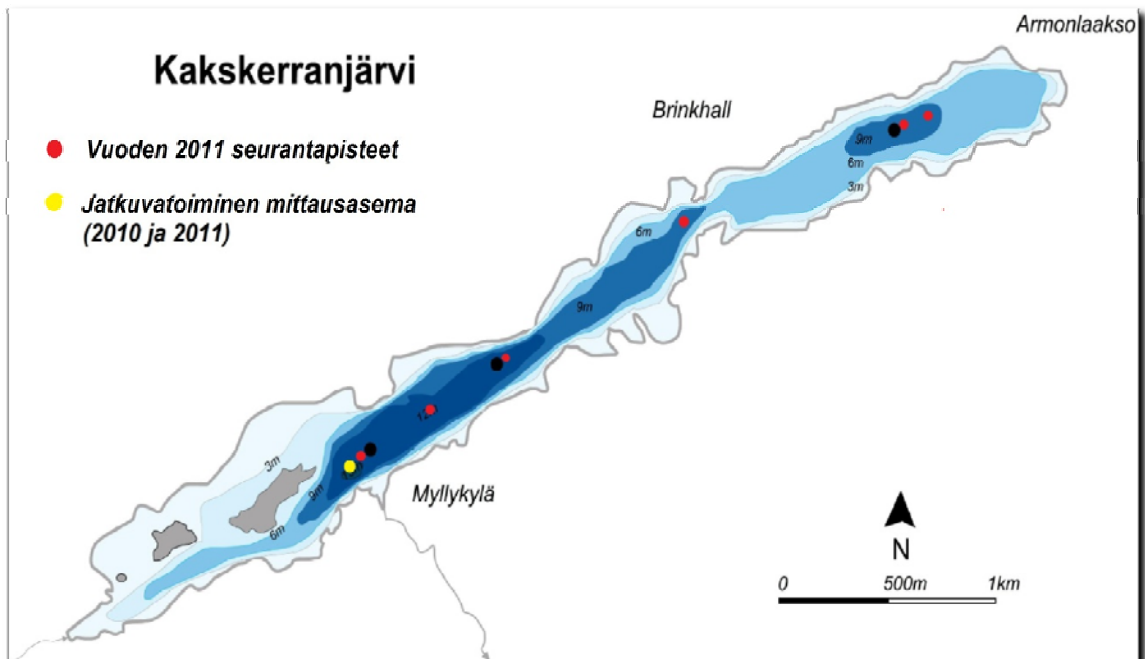
5.3 Vuoden 2011 tutkimus

5.3.1 Tutkimussuunnitelma

Vuosien 2009 ja 2010 seurantojen perusteella oli havaittavissa, että Kakskeranjärven ilmastuslaitteisto ei ole toiminut halutulla tasolla. Ilmastimet ovat ajoittain olleet epäkunnossa tai niiden ilmastusteho ei ole ollut halutulla tasolla. Aiempien vuosien seurantatuloksiin perustuen Kakskeranjärven neuvottelukunnan kokouksessa 25.5.2011 päätettiin, että Waterix – ilmastimet poistetaan käytöstä kesän 2011 ajaksi. Tavoitteena oli selvittää onko ilmastuksen lopettamisella merkittäviä vaikutuksia Kakskeranjärven tilaan. Keväällä 2010 järven itäpäähän asennettu Mixox – hapetin pidettiin kuitenkin toiminnassa kesän 2011 ajan. Vuoden 2011 seurannan päätavoitteena oli kerätä lisäseurantatietoja Mixox -hapettimen toiminnasta, sekä seurata Kakskeranjärven happitilannetta tilanteessa, jossa Waterix – ilmastimet poistetaan käytöstä. Vuoden 2011 ensimmäinen seurantakerta pyrittiin toteuttamaan siten, että molemmat ilmastimet ovat vielä toiminnassa, jolloin voitaisiin selvemmin todeta mahdolliset ilmastuksen lopettamisesta seuranneet muutokset. Ilmastin B oli kuitenkin epäkunnossa edeltävän talven jäljiltä, joten happitilanne kartoitettiin vain toisen ilmastimen ollessa vielä toiminnassa. Lisäksi ensimmäisellä seurantakerralla 22.6.2011 todettiin, että vikavirtakytkin oli kytkenyt Ilmastin A:n pois päältä. Ilmastin kytkettiin takaisin päälle, ja seurantakerta uusittiin 7.7.2011 sen oltua tasan kaksi viikkoa toiminnassa, jonka jälkeen ilmastin poistettiin käytöstä.

Alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaan Kakskeranjärvelle oltaisiin suoritettu yhteensä neljä seurantakertaa tasan kuukauden välein, mutta ensimmäisen kerran ongelmista johtuen seurantakertoja oli yhteensä viisi. Toista tutkimuskertaa lukuun ottamatta, mittaukset tehtiin yhteensä kuudelta seurantapistteeltä yhden tutkimuspäivän aikana. Kuten edellisinä vuosina mittaukset tehtiin YSI-6600 sarjan moniparametrimittalaitteella vertikaalisuuntaisin profiilein metrin välein pinnasta pohjaan. Mittaukset tehtiin seuraavilta seurantapistteiltä: viisi metriä ilmastin A:sta länteen, viisi metriä ilmastin B:stä itään, vakioseuranta pis-

teiltä 5 ja 9 sekä viiden ja viidenkymmenen metrin etäisyydeltä Mixox – hapettimesta (kuva 7). Seurantapisteen valittiin myös siten, että niiden avulla saataisiin mahdollisimman kattava kuva koko Kaksikerranjärven tilasta kesän 2011 aikana.



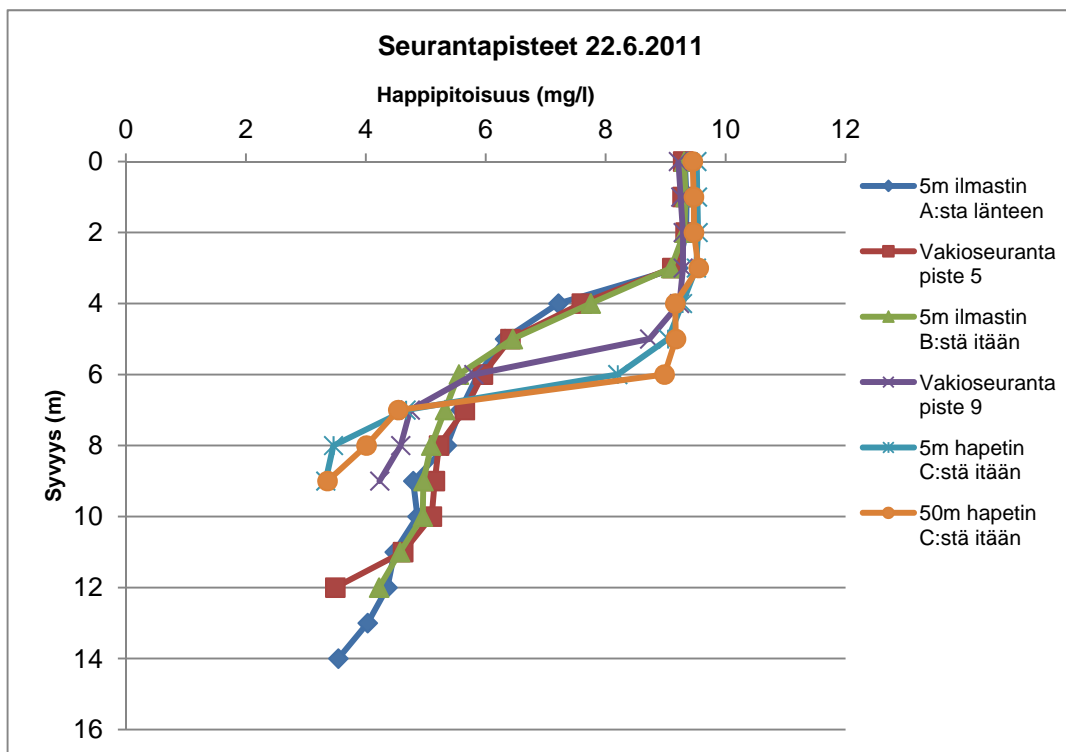
Kuva 7: Vuoden 2011 seurantapisteen ja jatkuvatoimisen mittausaseman sijainti kartalla esitettynä (karttopohja: Juha Niemi).

Myllykylän syvänteelle asennettiin vuoden 2010 tapaan jatkuvatoiminen mitta-asema, joka mittasi YSI-moniparametrimittarilla vedenlaatua 13 metrin syvyydessä kerran tunnissa.

5.3.2 Vedenlaadunseuranta (22.6.2011)

Ensimmäisellä seurantakerralla Kaksikerranjärven happitilanne oli vielä hyvällä tasolla. Pohjanläheisen veden happipitoisuus oli laskenut hieman alle 4 mg/l. Harppauskerros oli järven itäpään mittauspisteillä muutaman metrin alempana kuin järven länsipään pisteillä. Tämä saattaa olla seurausta esimerkiksi voimak-

kaista lännenpuoleisista tuulista, jotka ovat työntäneet päällysvesikerroksen vettä järven itäpäähän. Mixox – hapettimen hapettavaa vaikutusta ei voitu tuloksista selkeästi havaita. Mittausajankohtana molemmat Waterix – ilmastimet olivat pois käytöstä teknisen vian vuoksi (kuvio 16).

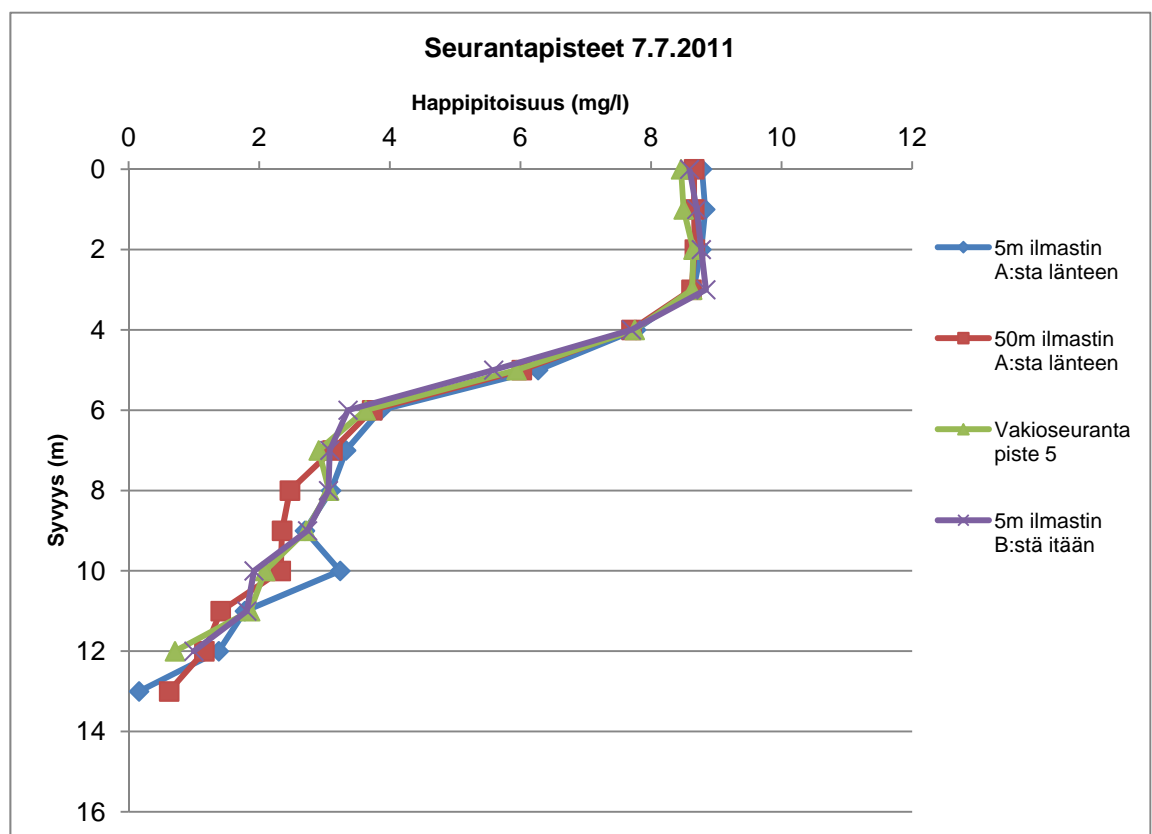


Kuvio 16: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 22.6.2011.

5.3.3 Vedenlaadunseuranta (7.7.2011)

Ilmastin A kytkettiin takaisin päälle 23.6.2011 heti ensimmäisen mittauskerran jälkeen. Ilmastimen annettiin olla päällä tasan kaksi viikkoa, jonka jälkeen suoritettiin ylimääräinen mittauskerta. Tavoitteena oli kartoittaa Kaksikerranjärven pääsyvänteen happitilanne siten, että ilmastin on vielä toiminnassa. Myös ilmastin B olisi kytketty päälle, mutta se oli epäkunnossa. Vaikka ilmastin oli ollut toiminnassa, oli pohjanläheisen veden happipitoisuus jo matalalla tasolla. Lähes

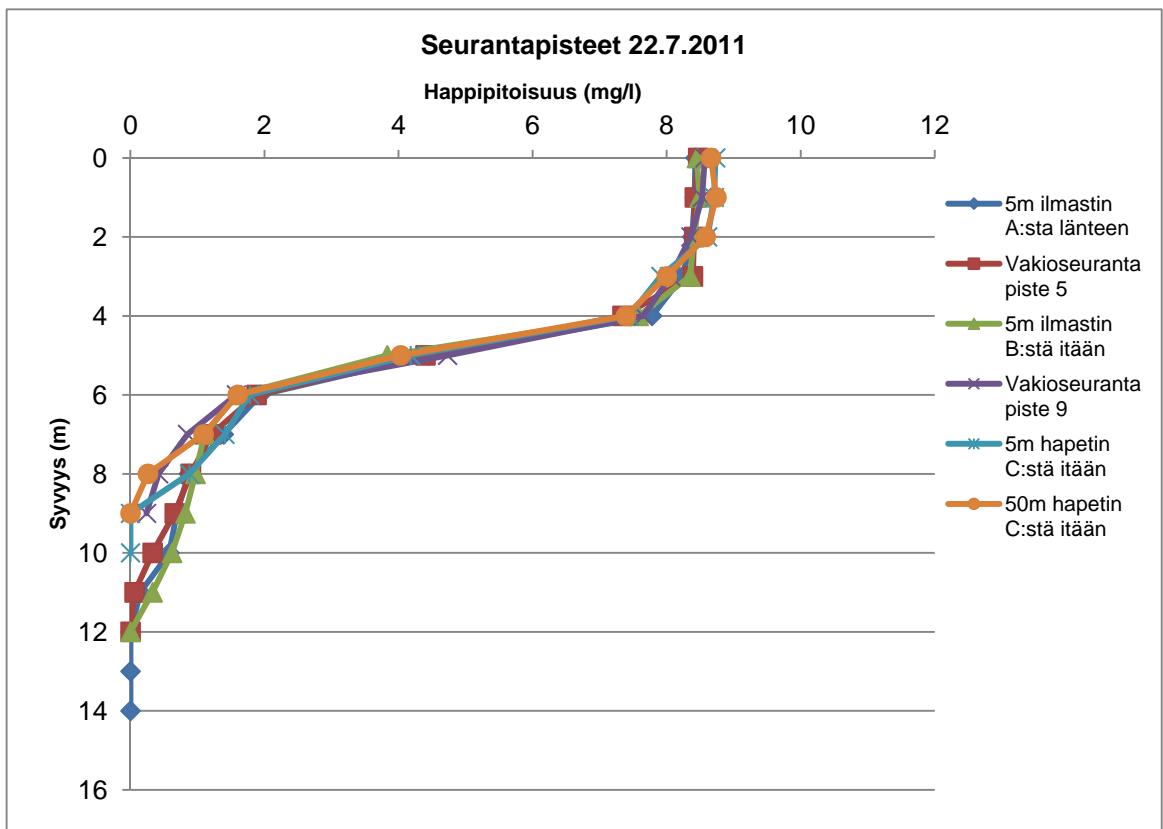
koko alusveden happipitoisuus oli alle 3 mg/l ja pohjan lähellä happipitoisuus oli alle 1 mg/l. Ilmastimen vaikutus oli havaittavissa ainakin kahdella seurantapistteellä. Ilmastin nosti veden happipitoisuutta kymmenen metrin syvyydellä, johon se purkaa pinnassa ilmastetun veden. Kuten vuoden 2010 seurannassa, ilmastettu vesi ei näyttänyt päätyvän aivan pohjanläheiseen veteen. Vakioseurantapistteellä 5 oli havaittavissa hyvin pientä happipitoisuuden nousua kahdeksan metrin syvyydellä, joka voi myös olla seurausta ilmastimen toiminnasta (Kuvio 17).



Kuvio 17: Happipitoisuus (mg/l) Kaks Kerranjärven pääsyvänteen mittauspisteillä 7.7.2011.

5.3.4 Vedenlaadunseuranta (22.7.2011)

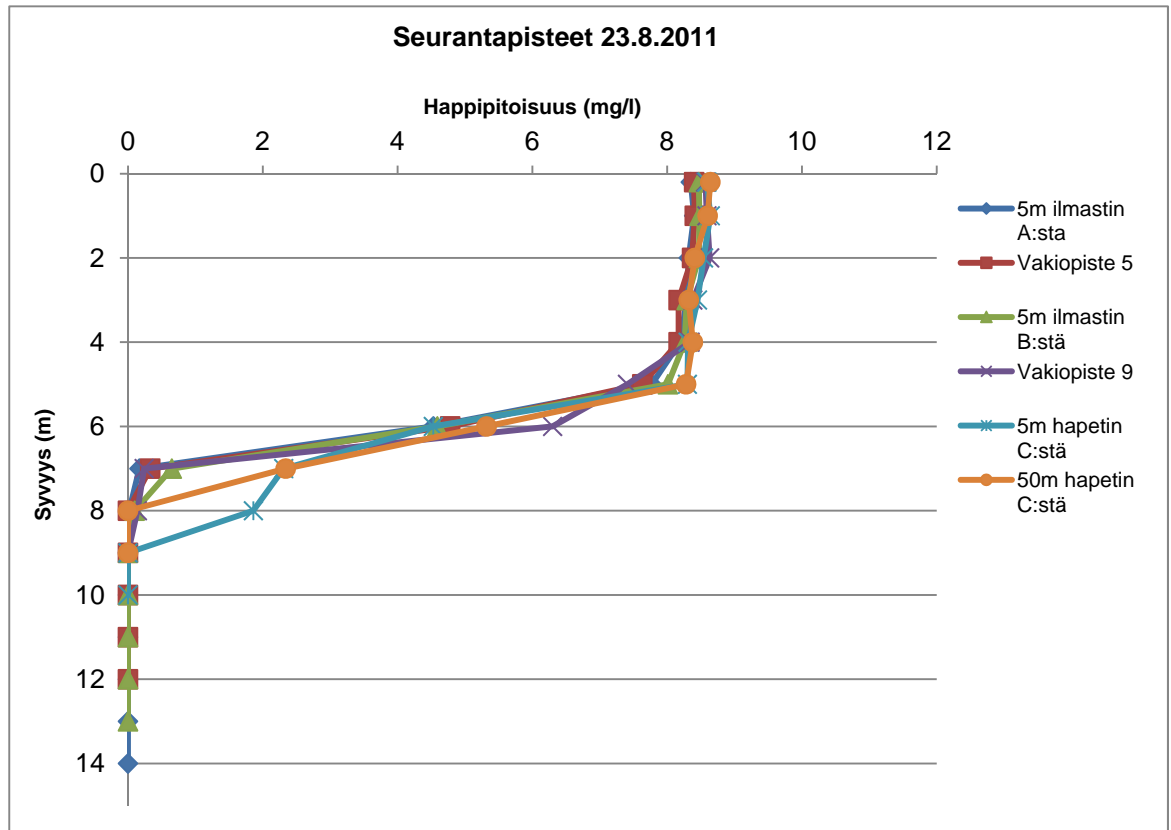
Alusveden happipitoisuus oli laskenut jo alle 2 mg/l kaikilla seurantapisteillä. Pohjanläheinen vesi oli jokaisella mittauspisteellä täysin hapetonta, lukuun ottamatta vakioseurantapistettä 9, jossa liukoista happea pohjan lähellä oli 0,2 mg/l. Viiden metrin etäisyydellä Mixox – hapettimesta olleella seurantapisteellä hapettimen vaikutus saattaa olla havaittavissa 7 – 8 metrin syvyydellä, jossa happipitoisuus oli hieman korkeampi muihin pisteisiin verrattuna. Happipitoisuus ei kuitenkaan merkittävästi korkeampi (kuvio 18).



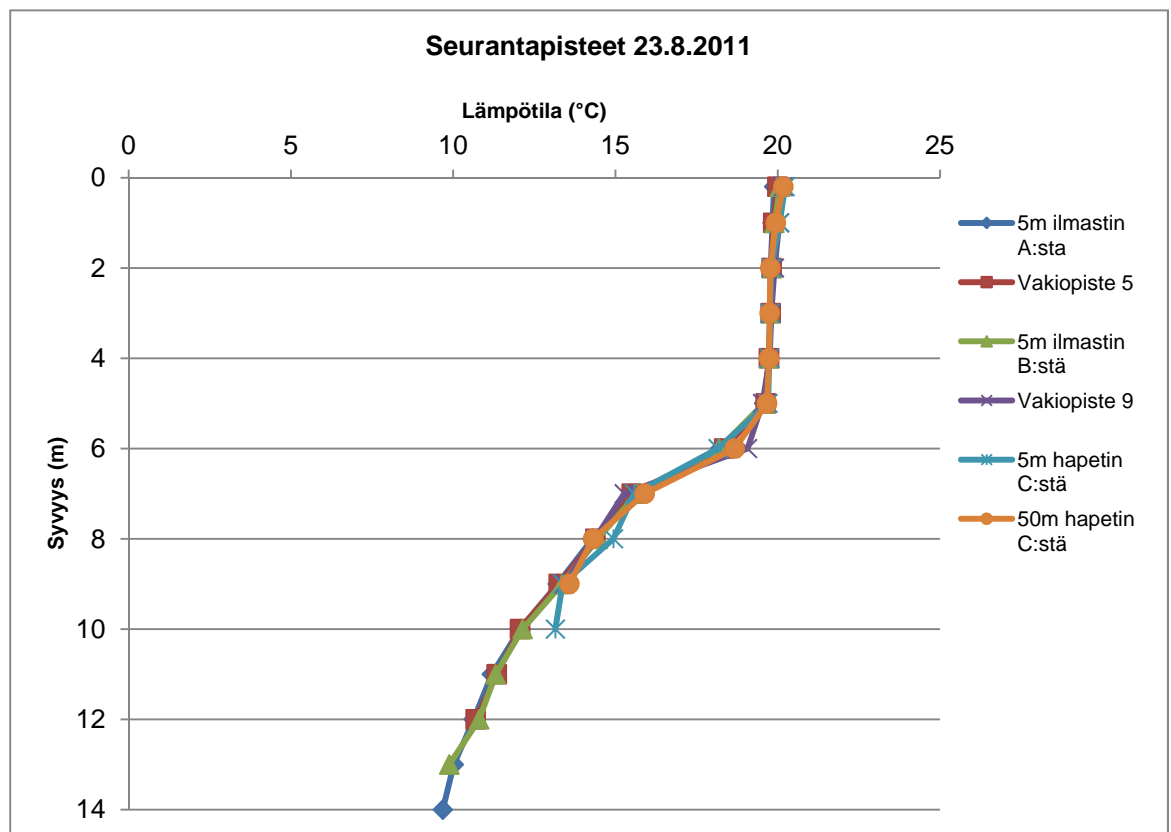
Kuvio 18: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 22.7.2011.

5.3.5 Vedenlaadunseuranta (23.8.2011)

Elokuun loppupuolella Kaskkerranjärven happitilanne oli erittäin huono ja koko alusvesi oli lähes täysin hapetonta. Hapetin C:n hapettava vaikutus oli havaittavissa viiden ja viidenkymmenen metrin etäisyydeltä hapettimesta. Happipitoisuus oli hieman korkeampi 7 ja 8 metrin syvyydellä. Molempien seurantapisteen pohjanläheinen vesi oli kuitenkin täysin hapetonta (kuvio 19). Hapettimen toiminta oli havaittavissa viiden metrin etäisyydellä myös alusveden lämpötilassa, joka pohjanläheisessä vedessä oli noin asteen verran korkeampi muihin pisteisiin verrattuna (kuvio 20). Lämpötilakerrostuneisuus oli jo hiljalleen alkanut purkautua, harppauskerroksen ollessa metrin syvemmällä kuin heinäkuun loppupuolella.



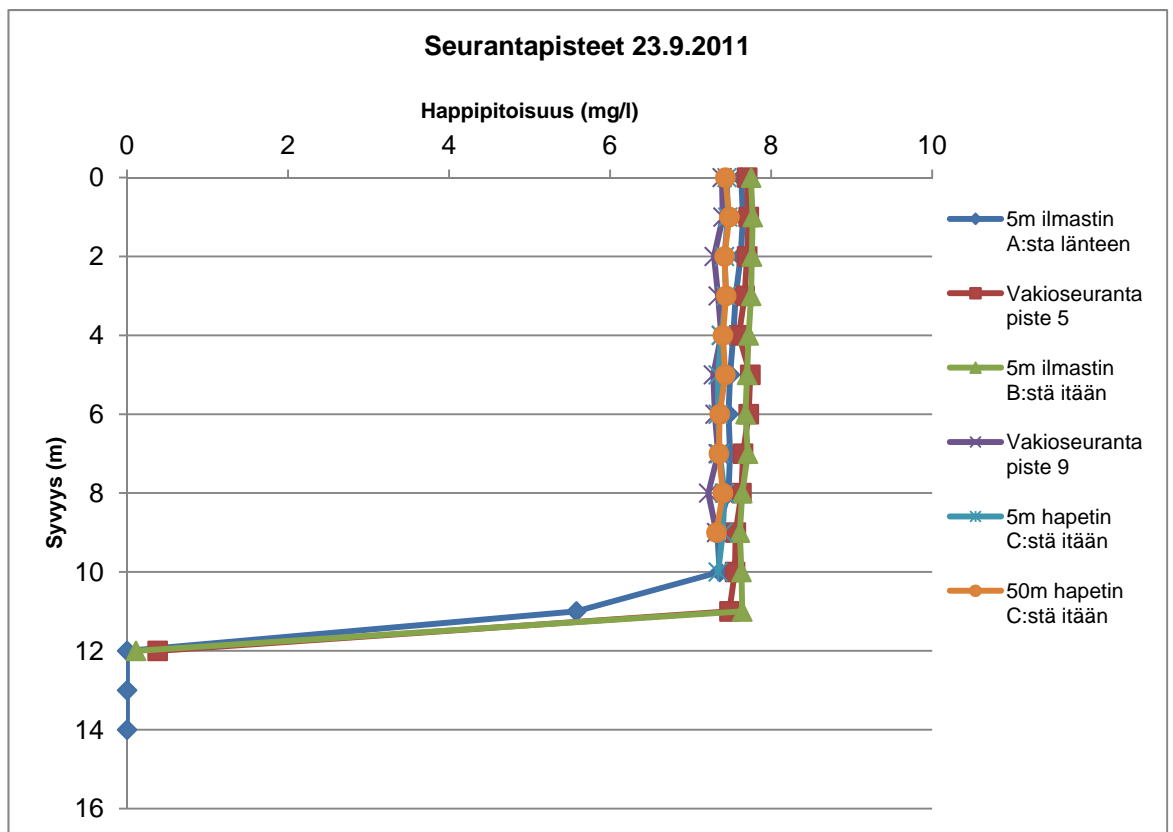
Kuvio 19: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 23.8.2011.



Kuvio 20: Veden lämpötila seurantapisteillä 23.8.2011.

5.3.6 Vedenlaadunseuranta (23.9.2011)

Viimeinen seurantakerta suoritettiin syyskuussa, jolloin Kaksikerranjärven syys-
täyskierto oli lähes täydellinen. Lämpötilakerrostuneisuus oli purkautunut 10 –
11 metrin syvyyteen asti. Ainoastaan syvimmillä seurantapisteillä oli vielä muu-
taman metrin hapeton vesikerros pohjan lähellä. Hapetin C:n toimintaa ei voitu
enää viimeisen tutkimuskerran tuloksista havaita, sillä Kaksikerranjärven itäpään
alueen vesi oli tasalämpöistä ja tasahappista, jolloin hapettimella ei enää ollut
hapettavaa vaikutusta.



Kuvio 21: Happipitoisuus (mg/l) seurantapisteillä 23.9.2011.

5.3.7 Yhteenveto 2011

Kakskerranjärven happitilanne oli kesällä 2011 hieman heikompi kuin vuonna 2010. Kesällä 2011 alusveden liukoinen happi oli jo heinäkuun lopulla kulunut lähes kokonaan loppuun. Myllykylän mittausasemalla pohjanläheinen vesi oli hapetonta heinäkuun puolivälistä lokakuun alkuun asti (liite 6). Heinäkuussa 2010 (20.7.2010) Myllykylän syvänteen alusvedessä oli happipitoisuus noin 2 mg/l tasolla, mahdollisesti osittain Waterix - ilmastimien toiminnan ansiosta. Kesän 2010 happitilanne saattoi myös olla luontaisesti parempi. Ilmastimien kokonaisvaikutusta vedenlaatuun on hyvin vaikea arvioida verrattaessa vuotta 2011 vuoteen 2010, jolloin ilmastimet olivat toiminnassa. Kerättyjen seurantatuloksien perusteella ei voida tehdä varmaa johtopäätöstä siitä, että johtuiko vuoden 2011 huonompi happitilanne Waterix – ilmastimien käytöstä poistosta vai happitilanteen luontaisesta vaihtelusta.

Mixox – hapettimen hapettava vaikutus oli toisinaan havaittavissa vuoden 2011 tuloksista. Havaittu happipitoisuuden nousu oli kuitenkin hyvin pientä. Hapettava vaikutusta voidaan pitää riittämättömänä järven itäaltaan happitilanteen kannalta. Pohjanläheinen vesi hapettimen välittömässä läheisyydessä kärsi lähes koko seurantajakson happivajauksesta ja heinä – ja elokuun mittauksissa se oli täysin hapetonta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaksikerranjärven alusvettä on pyritty ilmastamaan pian lähes neljännes vuosisataa. Listema – kuplailmastimilla onnistuttiin pitkään kohottamaan järven alusveden happipitoisuutta, mutta ilmastimien toiminta kuitenkin osittain purki Kaksikerranjärven lämpötilakerrostuneisuutta, jolloin pintaveden ravinnepitoisuudet kohosivat. Pintaveden ravinnepitoisuudet näyttäisivät olleen koholla 1990 – luvun alkupuolilta aina 2000 – luvun puoliväliin asti. Pintaveden fosforipitoisuudet näyttäisivät laskeneen kuplailmastimen poiston jälkeen 2000 – luvun lopulla. On hyvin vaikea arvioida ovatko kuplailmastuksella saavutetut hyödyt olleet haittoja merkittävämpiä. Sittemmin Kaksikerranjärven alusvettä on pyritty ilmastamaan lämpötila kerrostuneisuutta purkamatta Waterix – ilmastimilla ja Mixox - hapettimella. Vuosien 2009 – 2011 Turun ammattikorkeakoulun suorittaman seurannan perusteella voidaan todeta, että alusveden ilmastuksessa ei olla onnistuttu toivotulla tavalla. Jokaisella seurantajaksolla pohjanläheinen vesi pysyi syvänteissä useamman kuukauden täysin hapettomana, ja pohjanläheisen veden ravinnepitoisuudet olivat korkealla tasolla sisäisestä kuormituksesta johtuen.

Kaksikerranjärven päältäan Waterix – ilmastimia seurattiin koko kolmenvuoden seurantajakson aikana hyvin intensiivisesti. Vuonna 2009 Waterix – ilmastimet olivat erittäin puutteellisessa kunnossa. Idänpuoleinen ilmastin oli pois käytöstä lähes koko kesän 2009. Lännenpuoleinen ilmastin oli käytössä, mutta kesällä 2010 saatujen tietojen perusteella ilmastimesta oli puuttunut kuuden metrin osa imuputkesta, jolloin ilmastimen vaikutuksia ei voitu havaita alusvedessä (Waterix Oy 2010). Ilmastin otti ilmastettavan veden purkupressun sisäpuolelta, ja näin ollen kierrätti ainakin osittain samaa vettä sisällään. Lisäksi molempien Waterix – ilmastimien tukikehikko oli huonossa kunnossa. Vuoden 2009 tutkimuksissa todettiin ilmastimien pintakellukkeet myös puutteellisiksi, koska pintaan ilmastettavaksi tullut vesi virtasi ainakin osittain ilmastimien ulkopuolelle.

Kesäkuun 2010 ilmastimien perusteellisen kunnostusten jälkeen hapetusteho parani selvästi. Vaikkakin ilmastimien läheisyydessä voitiin havaita happipitoi-

suuden nousua 9 – 12 metrin syvyydessä, voidaan hapettavaa vaikutusta pitää edelleen riittämättömänä. Pohjanläheinen vesi kärsi täydestä happikadosta aivan ilmastimien välittömässä läheisyydessä elo – ja syyskuussa. Ilmastimien ensisijainen tavoite Kaksikerranjärvellä olisi pitää pohjanläheinen vesi hapellisenä, ja näin ollen hidastaa hapettomissa olosuhteissa sedimentistä tapahtuvaa ravinteiden vapautumista.

Heikkojen tuloksien perusteella Waterix – ilmastimet päätettiin Kaksikerranjärven neuvottelukunnan päätöksellä poistaa käytöstä kesäksi 2011. Kesän 2011 happikato oli pidempi Kaksikerranjärven pääaltaalla, kuin edellisenä kesänä. Tuloksien perusteella on kuitenkin mahdotonta sanoa, kuinka paljon ilmastimien toiminta vaikutti edellisen kesän hieman parempaan happitilanteeseen, vai joutuiko parempi tilanne vain vuotuisesta vaihtelusta. Kaksikerranjärven kokonaishappitilanteen ja -tilan kannalta ilmastimien toiminnalla ei luultavimmin ole ollut kovin suurta merkitystä.

Kaksikerranjärven itäpäähän Mixox – hapettimen toimintaa seurattiin kesinä 2010 ja 2011. Kesän 2010 seuranta painottui enemmän Waterix – ilmastimiin, mutta kesällä 2011 Mixox – hapetin oli intensiivisessä seurannassa. Kesinä 2010 ja 2011 järven itäpäässä ei ollut merkittävää alusveden happitason nousua havaittavissa. Alusvedessä oli molempina kesinä pitkään hapenvajausta ja aivan pohjanläheinen vesi kärsi happikadosta. Kahden seurantavuoden perusteella voidaan Mixox – hapettimen toimintatehoa ja hapettavaa vaikutusta pitää täysin riittämättömänä Kaksikerranjärven kokonaishappitilanteen ja – tilan kannalta.

6.1 Pohdintaa

Kolmen vuoden tutkimuksen ja seurannan perusteella Waterix – ilmastimien suurimpina heikkouksina voidaan mielestäni pitää pintakellukkeiden puutteellista toteutusta sekä toimintavarmuutta. Vaikka ilmastimien pintakellukkeita paranneltiin ja pressukehää korotettiin n. 15 cm kesäkuussa 2010, pääsi pintaan nostettu vesi edelleen virtaamaan osittain ilmastimen pintakehikon ulkopuolelle (kuva 5). Jos pintaan ilmastettavaksi pumpattu vesi pysyisi täysin ilmastimen

sisäpuolella, olisi toimintateho lähempänä ilmastimen täyttä potentiaalia. Lisäksi imuputken pään tulisi olla lähempänä alusvettä pumppaavaa moottoria, sillä nykyisellään on vaara, että moottori kierrättää uudelleen jo ilmastettavaksi nousutta vettä pinnassa.

Ilmastimien toimintavarmuutta tulisi myös parantaa, sillä ilmastimet kärsivät usein vaurioita talven aikana. Pintakehikko ei nykyisellään välttämättä kestä paksun jääkannen puristusta. Jos pintaan ilmastettavaksi nostettu vesi pysyisi täysin ilmastimen pintakehikon sisäpuolella, tarkoittaisi se sitä, että vesi jäätyisi heti ilmastimen ulkopuolelta, jolloin myös jäiden aiheuttama puristusvoima kasvaisi. Lisäksi moottori sijaitsee vedenpinnan yläpuolella, jolloin se on alttiina pakkaselle ja luonnonvoimille. Vain yhtenä esimerkkinä talvella 2009 – 2010 toisen ilmastimen moottori varastettiin, kun ilmastimien luokse pääsi kulkemaan jäitä pitkin.

Waterix AIRIT 70 + - toimintamalli joka perustuu osittain niin kutsuttuun Bernhardin toimintaperiaatteeseen, on itsellään todettu toimivaksi. Esimerkiksi Vesi – Eko Oy:n hyvin samalla toimintaperiaatteella toimiva Visiox - ilmastin saavutti hyvät tulokset VTT:n hapetuslaitteiden laboratorio- ja kenttäkokeissa (Sassi ja Keto 2005). Muutamien parannusten avulla Waterix AIRIT – ilmastin saattaisi saavuttaa merkittävästi paremman hapetustehon ja toimintavarmuuden.

Kahden vuoden seurannan perusteella Kaksikerranjärven itäpäähän Mixox 500 – hapetin ei ole juurikaan onnistunut parantamaan alusveden happitilannetta. Vaikka hapetin ei näy veden pinnalle, Vesi – Eko Oy:n vuosiraportin ja näytteenotto havaintojen perusteella Mixox – hapetin on ollut toiminnassa avovesikaudet 2010 ja 2011. Luultavimmin Mixox – 500 hapettimen toimintateho ei vain ole riittävä Kaksikerranjärven itäisen altaan alusveden hapettamiseksi.

Kukkonen ja Kauppinen toteavat Vesi – Eko Oy:n vuosiraportissa ”Kaksikerranjärven Mixox – hapetus vuonna 2010”, että hapetuksen seurauksena Harjattulan syvänteen happitilanne muuttui huonoksi vasta elokuussa, kun aiempina vuosina happitilanne on ollut heikko jo heinäkuun alussa (Kukkonen ja Kauppinen 2011, 13). Henkilökohtaisesti en voi vahvistaa Kukkonen ja Kauppisen pää-

telmiä siitä, että Mixox – hapettimen toiminnan seurauksena kesän 2010 happi-tilanne olisi ollut parempi. Hapettimen toiminnan vaikutukset ovat olleet vain ajoittain havaittavissa seurantatuloksissa, eikä veden happipitoisuus ole kertaa-kaan noussut merkittävästi hapettimen läheisyydessä seurantajakson aikana. Luultavimmin kesän 2010 hieman parempi happi-tilanne on seurausta luontai-sesta vaihtelusta, sillä kesällä 2011 pohjanläheinen vesi kärsi happikadosta jo heinäkuun loppupuolella aivan hapettimen välittömässä läheisyydessä.

Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimiston ja Vesi – Eko Oy:n tekemään kahden vuoden mittaiseen sopimukseen sisällytettiin vaihtoehto, että jos Mixox MC - 500 hapettimen toimintateho ei ole riittävä, voidaan se korvata Mixox 750 hapettimella ilman lisäkustannuksia. Jo vuoden 2010 seurannan perusteella päätettiin Kaksikerranjärven neuvottelukunnan kokouksessa toukokuussa 2011, että Mixox 500 – hapetin korvataan tehokkaammalla mallilla, mutta vielä loka-kuuhun 2011 mennessä hapetinta ei ollut vaihdettu. Nykyisellä Mixox – mallilla ei saavuteta riittävää hapetusvaikutusta Kaksikerranjärven happi-tilanteeseen, joten joko hapetin olisi korvattava tehokkaammalla versiolla tai kokonaan eri mallilla. Mixox – tyyppisen kierrätys-hapettimen mitoitus hapetettavan kohteen mukaan on erittäin tärkeää, sillä liian tehokkaana hapetin saattaa purkaa lämpö-tilakerrostuneisuutta, ja voi olla jopa haitaksi hapetettavalle kohteelle. Kerrostu-neisuuden purkautuessa ravinteiden määrä tuottavassa vesikerroksessa saat-taa kohota, ja näin ollen kasviplankton-tuotanto kiihtyä. Lisäksi esimerkiksi vii-leämmän veden habitaatit kärsivät tasalämpöisestä vedestä lämpiminä kesä-kuukausina, koska koko vesimassan lämpötila on usein lähellä normaalia pinta-veden lämpötilaa. Lämpötilakerrostuviin järviin ei yleisesti suositella kerrostu-neisuuden purkavia hapetustekniikoita. (North american lake management so-ciety ja Terrene institute 2001, 242 sekä Ashley 1981, 8).

6.2 Kaksikerranjärven kunnostustoimenpiteet tulevaisuudessa

Kaksikerranjärven hapetuksella ei ole saavutettu merkittävää hyötyä vuosien varrella. Lämpötilakerrostuneisuutta purkavalla ilmastuksella saatettiin jopa ai-

heuttaa järven rehevyytason nousua. Hapellinen alusvesi ja rehevyytason nousu ei välttämättä ole huono asia järven vesieliöstön kannalta, mutta se on kuitenkin virkistyskäyttöarvoa alentava tekijä. Mielestäni Kaksikerranjärven alusveden hapetuksella voitaisiin selvästi vähentää järven sisäistä ravinnekuormitusta. Olisi kuitenkin ensisijaisen tärkeää, että hapetuslaitteet todella hapettaisivat riittävästi alusvettä sekä olisivat luotettavia. Hapetus tulisi ehdottomasti toteuttaa siten, että järven lämpötilakerrostuneisuus säilyy. Kaksikerranjärvi on pinta-alaltaan (1,7 km²) riittävän pieni ilmastushoidon tehokkuutta mietittäessä. Alusveden tilavuuden ollessa pieni, voidaan alusveden hapetushoito toteuttaa tehokkaasti ilman, että hapetuksen kustannukset kasvavat liian suuriksi.

Nykyinen tilanne jossa hapetuslaitteisto ei pysty hapettamaan alusvettä riittäväällä teholla, ja käytettävä laitteisto ei toimi luotettavasti, on resurssien tehotonta käyttöä. Mikäli toimivaa ja luotettavaa hapetuslaitteistoa ei ole saatavilla, Kaksikerranjärvellä voitaisiin harkita hapetuksen lopettamista, ja resurssien kohdentamista muihin kunnostustoimenpiteisiin. Kaksikerranjärven neuvottelukunnan kokouksessa 2011 päätettiin poistaa Waterix – ilmastimet käytöstä, ja seurata onko ilmastuksen lopettamisella merkittäviä vaikutuksia järven vedenlaatuun. Turun ammattikorkeakoulun seurantatuloksien perusteella vuosina 2008 – 2011 ei Kaksikerranjärvellä ole ollut riittäväällä tasolla toimivaa hapetuslaitteistoa, mutta näiden vuosien aikana järvellä ei myöskään ole ollut runsaita sinileväkukintoja, joista järvi on aiemmin kärsinyt. Järvellä on havaittu vähäisiä sinileväkukintoja lähinnä loppukesästä tai alkusyksystä, esimerkiksi vuonna 2010 sinilevöpitoisuudet olivat korkeimmillaan 7. – 12. syyskuuta (liite 4). Kaksikerranjärvi on virkistyskäyttöarvoltaan ollut suhteellisen hyvässä kunnossa viimeisien vuosien aikana. Lisäksi Kaksikerranjärven hapetushistorian huomioiden, saattaisi olla perusteltua kohdistaa enemmän resursseja vaihtoehtoisiin kunnostustoimenpiteisiin.

Vaihtoehtoisia kunnostustoimenpiteitä joiden avulla voitaisiin suoraan puuttua järven sisäiseen ravinnekuormitukseen, on hyvin vähän. Hoitokalastuksilla voidaan pyrkiä vähentämään järvien sisäistä kuormitusta korjaamalla vääristynyttä kalaston rakennetta särkikalojen poistokalastuksen avulla (Airaksinen 2004).

Vuonna 2010 RKTL:n tekemissä koekalastuksissa kuitenkin todettiin Kakskeranjärven kalaston rakenne selkeästi ahvenkalavaltaiseksi, jolloin poistokalastus ei välttämättä ole varteenotettava vaihtoehto. Toinen sisäiseen kuormitukseen vaikuttava kunnostustoimenpide on alusveden poisto. Alusveden poiston positiivisista vaikutuksista on hyvin vähän kokemuksia ja se on hyvin vähän käytetty menetelmä (Airaksinen 2004). Muita rehevyyttä rajoittavia kunnostustoimenpiteitä ovat mm. järven kemikaalikäsittely, heikkolaatuisen pohjasedimentin ruoppaus, vesikasvien poisto, mutta näitä toimenpiteitä on yleensä sovellettu lähinnä erittäin rehevien ja matalien järvien kunnostukseen.

Kakskeranjärven hapetukseen käytettävien resurssien kohdentaminen ulkoista kuormitusta vähentäviin toimenpiteisiin saattaisi olla varteenotettava vaihtoehto. Alusveden poistoa voitaisiin harkita koeluontoisesti toteutettavaksi, mutta sen toteuttamisen kannattavuus tulisi laskea erittäin tarkasti. Alusveden poiston tehokkuus riippuu alusveden ja poistovirtaaman välisistä suhteista (Ulvi 2005, 205). Kakskeranjärven viipymä on pitkä ja veden vaihtuvuus täten hidasta, joten alusveden poisto olisi luultavasti Kakskeranjärvellä tehotonta. Lisäksi alusveden poistolla aiheutetaan suurta ravinnekuormitusta järven alapuoliseen vesistöön, johon poistettavaa alusvettä ohjataan.

Järven hapetuksen vuosikustannukset ovat noin 50 – 170 €/ha/a (vuoden 2002 kustannustasolla) (Airaksinen 2004). Kakskeranjärven hapetuksen sähkökustannukset olivat vuonna 2010 noin 2000€ (Mäki 2011). Sähkökulujen lisäksi kustannuksia syntyy ajoittain hapetuslaitetoimittajien urakointikuluista, joten todelliset kustannukset ovat luultavimmin noin 2000 – 3000 euroa vuodessa. Mikäli hapetuksesta Kakskeranjärvellä haluttaisiin luopua, tulisi resurssit mielestäni kohdentaa valuma – alueelta tulevan ulkoisen kuormituksen vähentämiseen. Mahdollisia kunnostustoimenpiteitä olisi erilaisten kosteikoiden, laskeutusaltaiden ja pohjapatojen rakentaminen järveen laskeviin ojiin. Turun ympäristönsuojelutoimiston toimesta järven länsipäähän on jo päätetty rakentaa kosteikko, joten ehkä Kakskeranjärven kunnostustoimenpiteet tulevat tulevaisuudessa keskittymään entistä enemmän järven ulkoisen kuormituksen vähentämiseen.

6.3 Kiitokset

Suuret kiitokset Turun ammattikorkeakoululle ja Turun ympäristönsuojelutoimistolle jotka ovat mahdollistaneet opinnäytetyöni teon. Kiitokset myös Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle tutkimuksien rahoittamisesta. Lisäksi haluan vielä kiittää Kaksikerranjärven suojeluyhdistyksen talkoolaisia, jotka ovat kesinä 2010 ja 2011 huoltaneet Myllykylän mittausasemaamme.

LÄHTEET

- Turun kaupunki. 2010. Kaskerranjärvi. Viitattu 27.9.2011. <http://www.turku.fi/public/default.aspx?nodeid=12151&uielementsiz=3>
- Hertta – tietokanta. V-S ELY-keskus. Viitattu 27.9.2011. <http://wwwwp2.ymparisto.fi/scripts/hearts/welcome.asp>
- Mixox – hapetin. Vesi – Eko Oy. Viitattu 27.9.2011. <http://www.vesieko.fi/content/view/34/43/>
- Loisa, O. 2009. Kaskerranjärven vedenlaadun tutkimukset 2008. Turun ammattikorkeakoulu.
- Särkkä, J. 1996. Järvet ja ympäristö, limnologian perusteet. Tampere: Gaudeamus – kirja.
- Happikato. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Viitattu 5.10.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1831&lan=fi>
- Lehtonen, H. 2003. Iso kalakirja – ahvenesta vimpään. Helsinki: WSOY.
- Waterix Oy henkilökohtainen tiedonanto syyskuu 2010. Viitattu 5.10.2011.
- Lappalainen, K.M; Lakso, E. Järvien kunnostus. 2005. Toim. Ulvi, T; Lakso, E. Helsinki: Edita, Suomen ympäristökeskus.
- Eloranta, P. Järvien kunnostus. 2005. Toim. Ulvi, T; Lakso, E. Helsinki: Edita, Suomen ympäristökeskus.
- Kukkonen, M; Kauppinen, E. 2011. Kaskerranjärven Mixox – hapetus vuonna 2010 – vuosiraportti. Joensuu: Vesi – Eko Oy.
- Koivunen, S. 2008. Kaskerranjärven tarkkailututkimus – Vuosiraportti 2007. Lounais – Suomen vesi – ja ympäristötutkimus.
- Kauppinen, E; Saarijärvi, E. 2006. Kaskerranjärven hapettoman sedimentin alueellinen laajuus ja sedimentin kemialliset ominaisuudet. Kuopio: Vesi – Eko Oy.
- Epäsuora lähde: Jumppanen, C; Mattila, J. 1990. Kaskerranjärven tarkkailututkimus, pohjasedimenttitutkimus ja ojatutkimus.
- Koivunen, S. 2009. Kaskerranjärven tarkkailututkimus – Vuosiraportti 2008. Lounais – Suomen vesi – ja ympäristötutkimus.
- Kaasinen, S. 2010. Valumavesien kemiallinen puhdistus ja suodatus. TEHO & Turun kaupunki.
- Sairanen, S. 2007. Kaskerranjärven koekalastukset vuonna 2007. RKTL, Evon riistan – ja kalantutkimus.
- Sairanen, S; Ahonen, J. 2010. Kaskerranjärven kalaston rakenne ja kuhan kasvu vuonna 2010. RKTL, Evon riistan – ja kalantutkimus.
- Koivunen, S. 2010. Kaskerranjärven tarkkailututkimus – Vuosiraportti 2009. Lounais – Suomen vesi – ja ympäristötutkimus.
- Ashley, K.I. 1981. Effects of hypolimnetic aeration of functional components of the lake ecosystem. The university of British Columbia.

Mercier, P; Perret, J. 1949. Aeration of lake Bret 1949. Montastbaull, Schweig. Ver. Gas. Was-sefahm.

Vesi – Eko Oy. 2003. Mixox toimintaperiaate kuvasarjana. Viitattu 21.10.2011. <http://www.vesieko.fi/content/view/34/43/>

Kemppainen, I. 2008. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden yleissuunnitelma Kaksikerranjärven valuma-alueella. Lounais – Suomen ympäristökeskus ja Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto.

Mäki, O.P. 2011. Suullinen tiedonanto. Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto.

Huhta, E; Kaseva, A; Loisa, O. 2010. Kaksikerranjärven vedenlaadunseuranta – Kesäkuu – syyskuu 2009. Turun ammattikorkeakoulu.

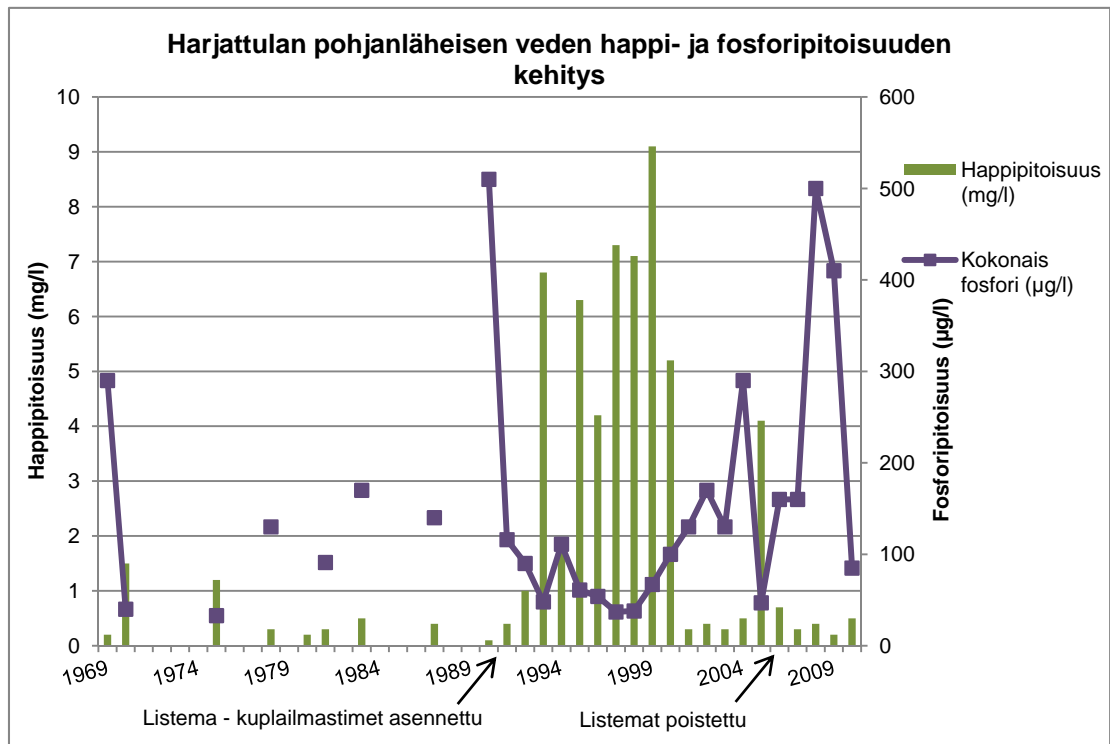
Airaksinen, J. 2004. Vesivelho – hankkeen loppuraportti – suunnitteluohjeistus rehevöityneiden järvien kunnostukseen. Savonia ammattikorkeakoulu.

Kalff, J. 2001. Limnology: inland water ecosystems. New Jersey: Prentice – hall inc.

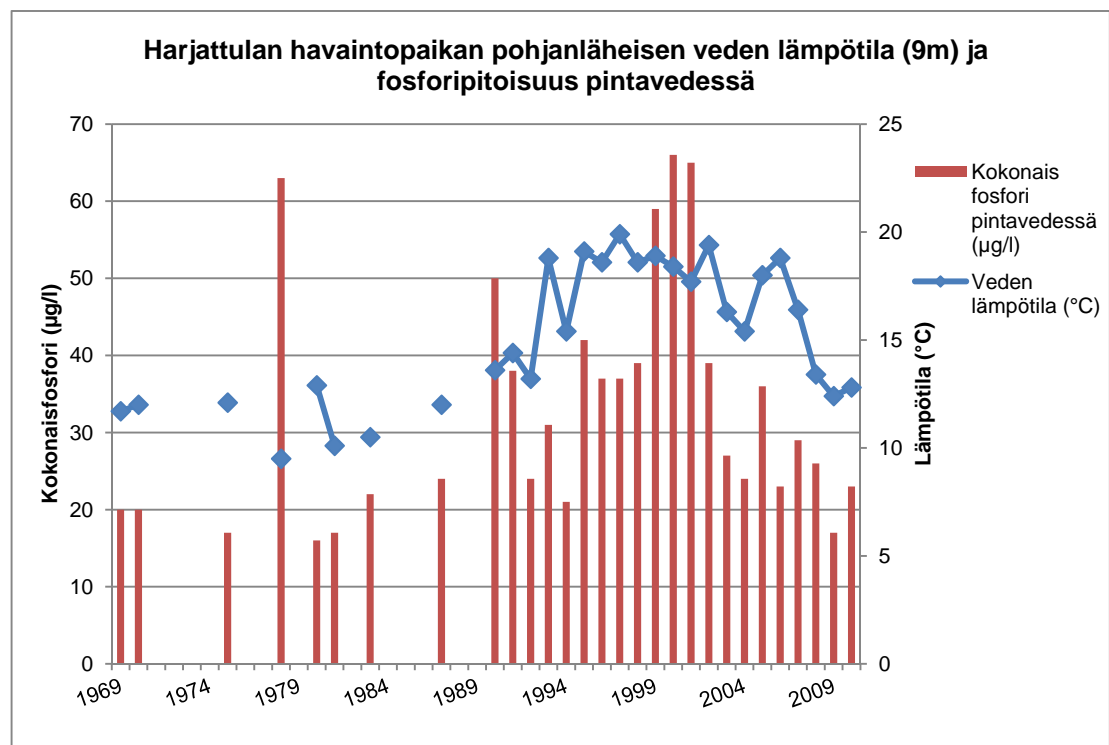
North american lake management society; Terrene institute. 2001. Managing lakes and reservoirs. Washington, D.C. U. S. environmental protection agency.

Liitteet

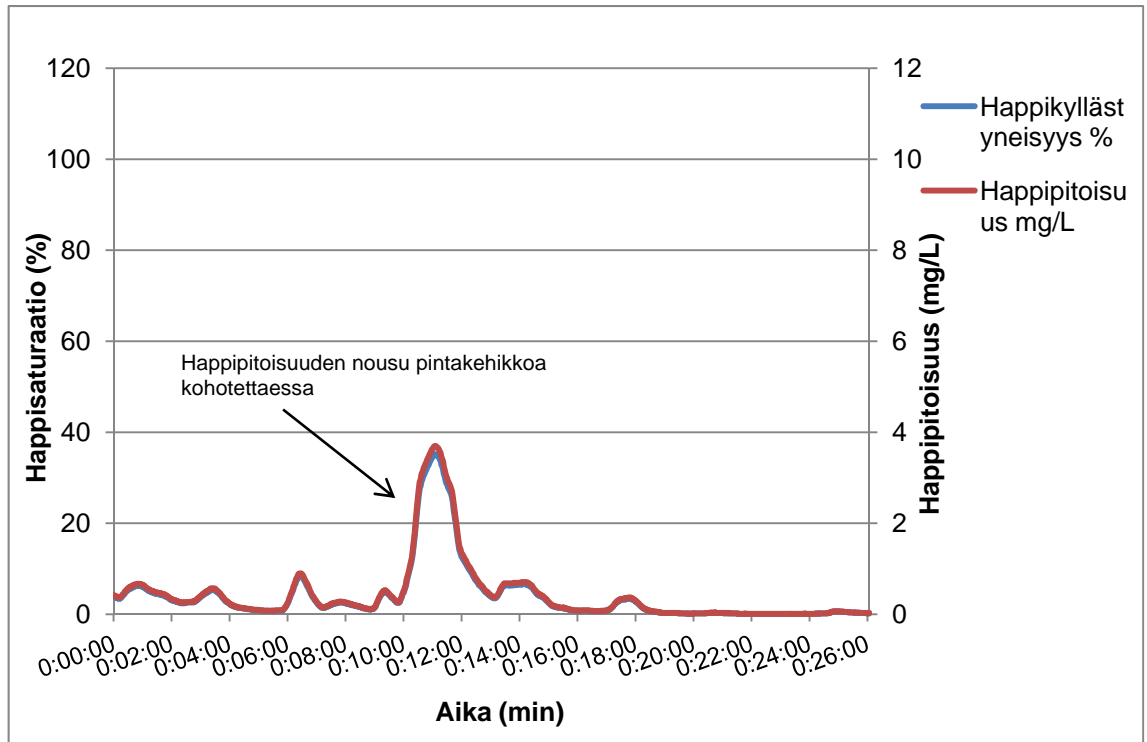
Liite 1: Harjattulan havaintopaikan loppukesän (17.7. – 27.8.) pohjanläheisen veden happi- ja kokonaisfosforipitoisuus vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta (ympäristöhallinnon OIVA - vedenlaatutietokanta).



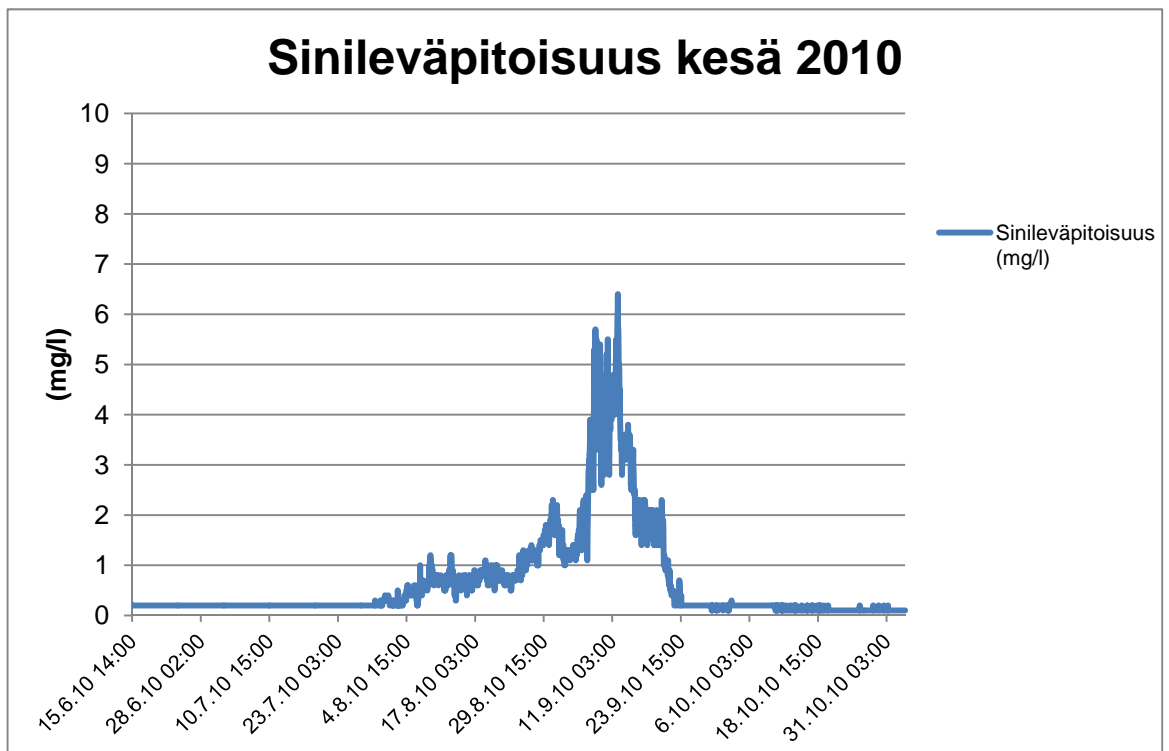
Liite 2: Harjattulan havaintopaikan loppukesän (17.7. – 27.8.) pohjanläheisen veden lämpötila (9m) ja pintaveden kokonaisfosforipitoisuus pintavedessä vuosina 1969 – 2010. Kaikki vuoden 1987 jälkeiset tulokset ovat elokuulta (ympäristöhallinnon OIVA – vedenlaatutietokanta).



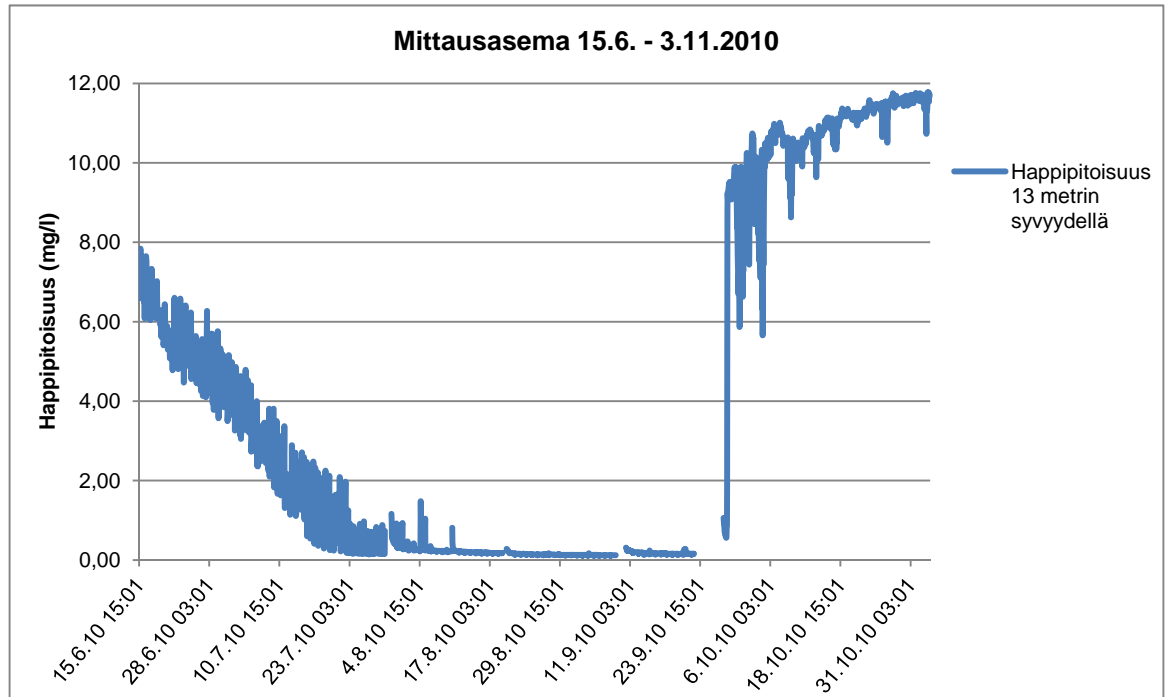
Liite 3: Hapen määrä 11 metrin syvyydessä ilmastimen toiminnan tehostamisen aikana (24.9.2009).



Liite 4: Sinileväpitoisuus Myllykylän jatkuvatoimisella mittausasemalla kesän 2010 aikana.



Liite 5: Kesän 2010 happipitoisuus (mg/l) Myllykylän mittausasemalla 13 metrin syvyydellä.



Liite 6: Kesän 2011 happipitoisuus (mg/l) Myllykylän mittausasemalla 13 metrin syvyydellä.

