

KASVIPLANKTONIN RAVINNERAJOTTEISUUS ERÄÄSSÄ ETELÄ-SUOMALAISSA JÄRVIKETJUSSA

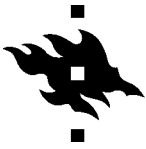
MIRKA AUTIO

KASVIPLANKTONIN RAVINNERAJOITTEISUUS
ERÄÄSSÄ ETELÄ-SUOMALAISESSA JÄRVIKETJUSSA

MIRKA AUTIO

HELSINGIN YLIOPISTO
YMPÄRISTÖTIETEIDEN LAITOS
YMPÄRISTÖEKOLOGIA
PRO GRADU -TUTKIELMA
4.5.2015

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution– Department Ympäristötieteiden laitos	
Tekijä – Författare – Author Mirka Autio			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus eräässä eteläsuomalaisessa järviketjussa			
Oppiaine – Läroämne – Subject Ympäristöekologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu		Aika – Datum – Month and year 05.2015	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Perinteisesti fosforia on pidetty järvien perustuotantoa rajoittavana ravinteena. Uudemmissa tutkimuksissa typen on havaittu olevan ajoittain minimiravinne myös lauhkean vyöhykkeen järvissä. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, onko tyyppi fosforin ohella olla tärkeä tekijä järvien perustuotannossa. Lisäksi selvitettiin vaihtuuko rajoittava ravinne kasvukauden aikana ja vaikuttaako järven viipymä ravinnerajoitteisuuden voimakkuuteen. Tutkittavat järvet Ormajärvi, Suolijärvi, Lehee, Pyhäjärvi ja Iso-Roine ovat Kokemäenjoen vesistön latvajärviä Kanta-Hämeessä.</p> <p>Minimiravinnetestejä varten otettiin vesinäytteet tutkittavista järvistä kerran kuussa kesäkuusta syyskuuhun vuonna 2004 ja toukokuussa 2005 eli koe tehtiin jokaiselle järvelle yhteensä viisi kertaa. Erilaisia käsittelyjä oli neljä: kontrolli, järvivesi + P, järvivesi + N, järvivesi + P + N. Jokaiselle käsittelylle tehtiin viisi toistoa. Molemmilla ravinteilla oli yksi pitoisuustaso, joka määräytyi järveden ravinteisuuden mukaan. Ravinteiden yhteisvaikutuksen selvittämiseksi lisättiin myös molempia ravinteita samanaikaisesti. Typen ravinnelisäyssiä valmistetaan kaliumnitraatista ja fosforin kaliumdivetyfosfaatista. Ravinnetestit tehtiin <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> Pringle'n puhtasviljelmällä.</p> <p>Järvivesinäytteistä poistettiin eläinplankton ja niistä otettiin näytteet ravinneanalyysejä määrittystä varten. Järvivesi autoklavoitiin ja suodatettiin ennen testikasvatusten aloitusta. Erlenmeyer-pulloihin laitettiin 60 ml järvivettä, ravinnelisäykset ja 0,5 ml <i>P. subcapitata</i> –levän puhtasviljelmää. Levä kasvatettiin jatkuvassa valaistuksessa, kunnes eksponentiaalinen kasvu loppui. Levien kasvua seurattiin ottamalla pulloista muutaman ml:n näyte parin päivän välein. Levänäytteet laskettiin Lundin kammiolla mikroskooppilla. Varsinaiset testisuureet olivat saanto eli maksimisolumäärä ja kasvunopeus. Rajoittava ravinne saatiin selville vertaamalla eri ravinnelisäyksien saantoa ja kasvunopeutta kontrolliin. Levätestien tulokset testattiin tilastollisesti ei-parametrisella Kruskal-Wallis H-testillä.</p> <p>Levätestit ilmensivät ainoastaan fosforirajoitteisuutta. Fosfori rajoitti saantoa Suolijärvessä elokuussa 2004 ja toukokuussa 2005. Leheessä ja Pyhäjärvessä fosfori rajoitti kasvunopeutta toukokuussa 2005. Tyypirajoitteisuutta tai typen ja fosforin yhteisrajoitusta ei esiintynyt eikä rajoittava ravinne siten vaihtunut kasvukauden aikana. Fosforikäsittely inhiboi kasvua ajoittain vuonna 2004 Ormajärvessä, Suolijärvessä, Leheessä ja Pyhäjärvessä. Toukokuussa 2005 inhibitiota ei havaittu.</p> <p>Ravinnerajoitteisuus oli sitä voimakkaampaa, mitä pidempi oli järven viipymä. Minimiravinnetestien perusteella fosforikuormituksen pienentäminen hillitsi rehevöitymistä tässä järviketjussa. Inhibitiio ei voinut johtua fosforilisäyksestä, vaan sen aiheuttaja tuli järviin todennäköisesti valuma-alueelta kesän 2004 runsaiden sateiden seurauksena. Inhibition aiheuttaja on voinut olla esimerkiksi sinkki tai arseeni.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Fosfori, inhibitiio, järviketju, kasviplankton, levätesti, minimiravinne, minimiravinnetesti, puhtasviljelmä, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , ravinnerajoitteisuus, tyyppi			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Anne Ojala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Ympäristötieteiden laitos, Lahti			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Biological and Environmental Sciences		Laitos – Institution– Department Department of Environmental Sciences	
Tekijä – Författare – Author Mirka Autio			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Nutrient limitation of phytoplankton growth in a chain of lakes in Southern Finland			
Oppiaine – Läroämne – Subject Environmental ecology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis		Aika – Datum – Month and year 05.2015	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 48
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Phosphorus is traditionally considered to be the primary nutrient limiting primary production in lakes. More recent studies show that sometimes nitrogen can be the limiting nutrient for phytoplankton production in temperate lakes. This study investigated whether the nitrogen has a major role along with phosphorus in the primary production of lakes. In addition, it was studied if the limiting nutrient changes during the growing season and does the residence time of the lake affect the level of nutrient limitation. The subject lakes were Ormajärvi, Suolijärvi, Lehee, Pyhäjärvi and Iso-Roine, which are the headwater lakes of the Kokemäenjoki in Kanta-Häme.</p> <p>The lakes were sampled for bioassays once a month from June to September in 2004 and in May 2005, a total of five times. There were four treatments: control, lake water + P, lake water + N, lake water + P + N. For each treatment there were five replicates. There was one concentration level for each nutrient treatment. The nutrient concentration of treatments depended on the nutrient content of the lakes. To determine the combined effect of nutrients both of them were added at the same time. Nitrogen treatment solution was prepared from potassium nitrate and phosphorus treatment solution from potassium dihydrogen phosphate. Bioassays were conducted as a pure culture of <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> Prinz- algae.</p> <p>Zooplankton was removed from the lake water samples, which were then sampled for nutrient analysis. The water samples were autoclaved and filtered prior to the bioassays. Bioassays were carried out in Erlenmeyer flasks containing 60 ml of lake water, the nutrient solutions and 0.5 ml pure culture of <i>P. subcapitata</i>. Algae were grown in continuous illumination until the exponential growth stopped. Algal growth was monitored by taking samples of a few ml from the flasks roughly every other day. Algae in samples were counted by a microscope in Lund chambers. The actual variables were the maximum number of cells or yield and the growth rate. The limiting nutrient was found out by comparing the yield and the growth rate of different nutrient treatments to the control. The results of the bioassays were tested statistically with non-parametric Kruskal-Wallis H-test.</p> <p>Algal bioassays expressed only phosphorus limitation. Phosphorus limited the yield in the bioassays of Suolijärvi in August 2004 and May 2005. In Lehee and Pyhäjärvi phosphorus limited growth rate in May 2005. There was neither nitrogen limitation nor co-limitation in any of the bioassays. So the limiting nutrient didn't change during the growing season. Phosphorus treatments inhibited the growth of algae from time to time in 2004 in Ormajärvi, Suolijärvi, Pyhäjärvi and Lehee. In May 2005 there was no inhibition.</p> <p>Nutrient limitation was stronger in lakes with a long retention time. These bioassays indicate that reducing phosphorus loading would control eutrophication of this chain of lakes. The phosphorus treatments couldn't cause the inhibition. The cause of inhibition originated most likely from the drainage area due to heavy rains in summer 2004. It could be, for example, zinc or arsenic.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Algal bioassay, inhibition, lake chain, limiting nutrient, nitrogen, nutrient bioassay, nutrient limitation, phosphorus, phytoplankton, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , a pure culture			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Anne Ojala			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Department of Environmental Sciences, Lahti			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	2
1.1. Kasviplankton tuotantoa rajoittavat ravinteet.....	2
1.2. Minimiravinteen määrittäminen levätestillä.....	6
1.3. Tutkimuksen tarkoitus.....	8
2. Aineisto ja menetelmät.....	9
2.1. Tutkimusjärvet.....	9
2.2. Minimiravinnetestit.....	11
2.3. Ravinneanalyysit.....	14
2.4. Tilastolliset analyysit.....	16
3. Tulokset.....	17
3.1. Minimiravinnetestit.....	17
3.2. Ravinnepitoisuudet järvissä.....	25
4. Tulosten tarkastelu.....	27
5. Kiitokset.....	35
6. Kirjallisuus.....	36
Liitteet.....	41

1. Johdanto

Järvien kasviplankton koostuu kirjavasta joukosta lajeja, jotka ovat peräisin useista taksonomisista pääryhmistä. Monet lajit eroavat fysiologisilta vaatimuksiltaan selvästi toisistaan (Kilham & Hecky 1988, Wetzel 2001). Niiden kasvua ja menestymistä säätelevät valo, lämpötila, ravinteet ja hävikit, kuten esimerkiksi kuluttajat ja sedimentaatio (Tilman ym. 1982, Hecky & Kilham 1988). Energian eli auringon säteilyn ja ravinteiden puutteen takia vesieko-
systeemien toteutunut perustuotanto on yleensä pienempi kuin optimiolosuhteissa mahdollinen tuotanto (Beardall ym. 2001, Holland ym. 2004). Perustuotantoon vaikuttavista tekijöistä ravinteiden saatavuutta on vaikeampi ennakoita kuin auringon säteilyä ja lämpötilaa (Lewis 2000), joihin vaikuttavat leveysaste ja vuodenaika eli maapallon planetaariset liikkeet. Ravinteet ovat siinäkin mielessä tärkeitä kasviplanktonituotannon säätelyssä, että kaikista tuotantoon ja biomassaan vaikuttavista tekijöistä vain ne ovat edes jossain määrin ihmisten säädeltävissä (Schindler 1978). Itse asiassa jatkuva puute ravinteista voi mitätöidä lämpötilan ja säteilyn positiiviset vaikutukset; ravinnerajoitteinen trooppinen järvi ei välttämättä ylläpidä suurempaa nettoperustuotantoa kuin samanasteisesti ravinnerajoitteinen lauhkean vyöhykkeen järvi (Lewis 2000). Monien trooppisten järvien seston onkin hyvin ravinnerajoitteista, kun taas subarktiset järvet ovat vähiten ravinnerajoitteisia (Hecky ym. 1993).

1.1. Kasviplanktontuotantoa rajoittavat ravinteet

Kaikki kasviplankton tarvitsee lisääntyäkseen tiettyjä alkuaineita sopivissa suhteissa, koska solujen aineenvaihdunta ja rakenne ovat pääpiirteissään samantlaisia eri lajeilla. Lajien välillä on silti suuriakin eroja joidenkin ravinteiden tarpeen suhteen (Hecky & Kilham 1988). Kemisti Justus von Liebig esitti yli sata vuotta sitten ns. minimitekijöiden lain, jonka mukaan se ravinne, jota on vähiten saatavilla eliöiden tarpeeseen nähden, rajoittaa niiden kasvua (Redfield 1958). Ravinnerajoitteisuus on siis seurausta poikkeamista ihanneravintesuhteista

(Hecky & Kilham 1988). Keskimäärin kasviplankton tarvitsee tärkeimpiä pääravinteita hiiltä (C), typpeä (N) ja fosforia (P) tietyssä molaarisessa suhteessa (106C:16N:1P), ja tämä suhde tunnetaan ns. Redfieldin suhdelukuna (Redfield 1958). Fosforin ja typen kokeelliset lisäykset mesokosmoksiin ja kokonaisuin järviin ovat toistuvasti osoittaneet, että näiden kolmen alkuaineen lisäksi muita alkuaineita ei tarvitse lisätä, jotta kasviplanktonbiomassan kasvua sekoittuvassa kerroksessa alkaa rajoittaa ravinteiden sijasta valon määrä (Hecky & Kilham 1988, Wetzel 2001, Kalff 2002). Järvissä tuotantoa rajoittavana tekijänä on perinteisesti pidetty fosforia ja harvemmin typpeä (esim. Schindler 1977, 1978, Hecky & Kilham 1988), kun taas esim. Suomen läheisillä merialueilla rajoittavana ravinteena on yleensä typpi (Fleming-Lehtinen ym. 2008, Tamminen & Andersen 2007).

Leväsolut tarvitsevat fosforia ja typpeä muun muassa nukleiinihappoihin. Fosforia on lisäksi ATP:ssa ja typpeä aminohapoissa sekä proteiineissa (Nelson & Cox 2000). Fosforin rooli kasviplanktonfysiologiassa on limnologisesti tärkeä, koska suurimmassa osassa vesistöjä sitä on levien tarvitsemista pääravinteista vähiten saatavilla (Redfield 1958, Hecky & Kilham 1988, Wetzel 2001). Liukoisia, biologisesti helposti käyttökelpoisia tyyppiyhdisteitäkin on yleensä niukasti luonnollisissa ympäristöissä (Nelson & Cox 2000). Levät ja monet bakteerit voivat käyttää nitraattia ja nitriittiä pelkistämällä ne entsyymien avulla ammoniakiksi, NH_3 (Nelson & Cox 2000). Ammoniakki liukenee solun sisältämään veteen ja muuttuu solulle käyttökelpoiseen muotoon ammoniumioniksi, NH_4^+ , napatessaan protonin (Mauseth 1998). Vaikka nitraattia ja ammoniumia on suuria määriä maankuoressa, ne eivät silti ole helposti kasvien saatavilla (Wetzel 2001). Tärkeä typenvarasto ja -lähde on ilmakehä, josta 4/5 on molekylaarista typpeä (N_2) (Nelson & Cox 2000). Jotkin bakteerit (mm. osa syanobakteereista) pystyvät sitomaan ilmasta veteen liuennutta N_2 -kaasua ja muuttamaan sen kasviplanktonille käyttökelpoiseen muotoon (Mauseth 1998, Nelson & Cox 2000). Typen lähteitä ovat myös sedimentit, joiden osuus on tärkeä etenkin litoraalissa (Wetzel 2001), sekä eläinten ulosteet (Hanski ym. 1998) ja bakteerien hajottama orgaaninen aines (Hyenstrand ym. 1998). Pohjoisen

lauhkean vyöhykkeen järvissä nitraatti on yleisin epäorgaanisen typen esiintymismuoto keväällä ja alkukesästä (Hyenstrand ym. 1998). Kesän edetessä päänlyyveden nitraattipitoisuus usein pienenee kasviplanktonin kulutuksen ja denitrifikaation takia (Hyenstrand ym. 1998, Rissanen ym. 2013), jolloin typpi voi alkaa rajoittaa perustuotantoa. Tosin Rissanen ym. (2013) havaitsivat denitrifikaation olevan selvästi vähäisempää joissakin boreaalisen alueen järvissä (mm. Ormajärvessä, Suolijärvessä ja Leheessä) kuin lauhkean vyöhykkeen järvissä. Denitrifikaation vähäisyys borealisissa järvissä johtui pääasiassa nitraatin puutteesta. Järviin tuleva typpikuormitus on suurempaa lauhkealla kuin borealisella vyöhykkeellä (Rissanen ym. 2011 ja 2013). Järvien ajatellaan toimivan suodattimina (Kalff 2002), mutta typen osalta näin ei ilmeisesti aina tapahdu borealisissa järvissä denitrifikaatioaktiivisuuden alhaisuuden takia (Rissanen ym. 2013).

Typestä poiketen fosforia ei ole merkittävässä määrin kaasumaisena ilmakehässä, vaan se on sitoutunut maaperään ja vesistöihin. Maaperässä fosfori esiintyy pääasiassa kaliumfosfaattina (Hanski ym. 1998). Fosforia vapautuu maaperästä rapautumisen tuloksena, ja osa siitä kulkeutuu vesistöihin pintavalunnan mukana (Hanski ym. 1998, Wetzel 2001). Fosforia tulee vesistöihin myös pohjaveden ja ilmaperäisen laskeuman mukana. Fosforin kuormitustasot vaihtelevat paljon valuma-alueen maankäytön, geologian ja morfologian mukaan sekä maaperän tuottavuuden, ihmistoiminnan, saastumisen ja muiden vastaavien tekijöiden takia. (Wetzel 2001) Esimerkiksi pieni valuma-alueen koon suhde järven pinta-alaan tai tilavuuteen viittaa pieneen sateita keräävään ja ravinteita vapauttavaan alaan. Sen seurauksena järveen tulee vähän vettä, ulkoinen kuormitus on maltillista ja viipymä on pitkä. (Kalff 2002) Järvien ravinnekuormitus todennäköisesti kasvaa Suomessa ilmastonmuutoksen takia, koska valunta lisääntyy sademäärien kasvaessa ja lämpötilan noustessa (IPCC 2013). Kasviravinteena fosforin tärkein esiintymismuoto on epäorgaaninen fosfaattifosfori, ortofosfaatti (PO_4^{3-}), joka on ainoa kasviplanktonille suoraan käyttökelpoinen epäorgaanisen fosforin liukoinen muoto. Fosfaatti tosin sitoutuu herkästi monien kationien, kuten raudan kanssa muodostaen melko liukenemattomia yhdisteitä. (Wetzel 2001) Monet

kasviplanktonlajit voivat irrottaa fosfaatti-ioneja myös orgaanisista polymeereistä erittämiensä ulkoisten fosfataasientsyymien avulla (Reynolds 2006).

Meta-analyysi 653 ravinnelisäyskokeesta osoitti, että järvien vapaan veden vyöhykkeessä typpi- ja fosforirajoitteisuus ovat yhtä yleisiä. Lisäksi typen ja fosforin yhtäaikaisella lisäyksellä on usein synergistisiä vaikutuksia. (Elser ym. 2007) Koska vesistöjen typpivarastot täydentyvät fosforivarastoja helpommin ulkoisista lähteistä, kasviplanktonin fosforirajoitteisuus on järvissä kuitenkin yleensä voimakkaampaa kuin typpirajoitteisuus (Hecky ym. 1993, Wetzel 2001). Fosfori on usein minimitekijä karuissa, oligotrofisissa järvissä (Wetzel 2001), jollaisia Suomenkin järvet enimmäkseen ovat (Hanski ym. 1998). Fosforin on todettu olevan minimiravinne myös esimerkiksi italialaisissa järvissä (Chiaudani ja Vighi 1974) ja Pohjois-Amerikan suurissa järvissä (Schelske ym. 1978, Sterner ym. 2004). Typen on havaittu olevan minimiravinne järvissä, joissa veden viipymä on pitkä (Maberly ym. 2002). Trooppisissa järvissä veden ja sedimentin lämpötila on ympäri vuoden korkea ja alusvesi tyypillisesti hapeton, minkä takia denitrifikaatio on voimakasta. Päiväntasaajan läheiset järvet ovat näin ollen alttiita typpirajoitteisuudelle (Lewis 2000). Typpi on minimiravinne esimerkiksi eräissä trooppisissa humusjärvissä (Pålsson & Granéli 2004).

Kasviplanktonin vuodenaikaisessa sukkessiossa eri kasvutekijöiden merkitys usein vuorottelee (Ilmavirta ym. 1990), jolloin minimiravinne voi vaihtua suhteellisen nopeasti (Wetzel 2001). Esimerkiksi Lahden Vesijärven on havaittu olevan alkukesällä fosforirajoitteinen ja loppukesällä typpirajoitteinen (Ojala ym. 2003) mahdollisesti denitrifikaation seurauksena. Vesijärvessä alusvesi on lämmin ja pohja hapeton kesällä (Kairesalo & Vakkilainen 2004), mikä voimistaa denitrifikaatiota (Rissanen ym. 2013). Maberly ym. (2002) havaitsivat, että pienet karut ylänköjärvet Iso-Britanniassa ovat yhtä todennäköisesti typpi- kuin fosforirajoitteisia, ja molemmat ravinteet voivat olla minimitekijöitä yhtä aikaa etenkin kasvukauden loppupuolella. Typen ja fosforin yhteisrajoitteisuus voi olla seurausta kasvukauden aikaisista muutoksista kasviplanktonlajistossa, sillä se maksimoi vajaiden resurssien käytön. Myös fosfataasientsyymien käyttö voi

johtaa yhteisrajoitukseen, kun aiemmin kasvua rajoittanutta fosforia on enemmän saatavilla. (Maberly ym. 2002) Typen ja fosforin yhteisrajoitteisuus on havaittu myös esimerkiksi Pohjois-Amerikassa joissakin tekojärvissä (Dzialowski ym. 2005) ja Erie-järvessä (North ym. 2007).

Typen ja fosforin lisäksi mahdollisesti vain epäorgaaninen hiili ja pii voivat muodostua minimiravinteiksi. Muita pääravinteita on yleensä tarpeeksi autotrofiin tarpeisiin. Useimmiten ilmakehän hiilidioksidia liukenee tarpeeksi veteen, jotta tuottajien epäorgaanisen hiilen tarve tyydyttyy (Lewis 2000). Tosin esimerkiksi pienellä humusjärvellä Valkea-Kotisella epäorgaanisen hiilen pitoisuuden on havaittu laskevan kesäkerrostuneisuuden aikaan päällysvedessä niin alas (alle 0,1 μM), että se rajoittanee perustuotantoa (Peltomaa & Ojala 2010). Mahdollisen piirajoitteisuuden seuraukset eivät myöskään ole yhtä merkittävät kuin fosfori- tai typpirajoitteisuuden, koska pii vaikuttaa vain piileviin ja joihinkin kultalevälajeihin (Hecky & Kilham 1988, Lewis 2000). Kasviplanktonin vuodenaikaisessa sukkessiossa piilevillä on kuitenkin monissa järvissä merkittävä rooli, koska ne ovat yleensä valtalajina ns. kevätmaksimissa. Piilevät kuluttavat silloin paljon muitakin ravinteita kuin piitä. Osa näistä ravinteista sedimentoituu piilevien mukana järvien pohjiin, mitä kautta piin saatavuus voi vaikuttaa koko kasviplanktoniyhteisön kesäaikaiseen tuotantoon. Joissakin tapauksissa myös hivenaineet voivat rajoittaa fotosynteesiä, vaikka useimmissa luonnonvesistöissä niiden pitoisuudet ja saatavuus ovat riittäviä. (Wetzel 2001) Esimerkiksi Superior-järvellä Pohjois-Amerikassa raudasta tuli minimiravinne pienekin fosforilisäyksen jälkeen (Sterner ym. 2004). Rautarajoitteisuus on kuitenkin yleisempää valtamerissä kuin järvissä (Martin ym. 1991).

1.2. Minimiravinteen määrittäminen levätestillä

Tekniikoita, joita on perinteisesti käytetty kasviplanktonin kasvun ja tuotannon minimitekijöiden määrittämisessä, ovat mm. järiveden ja sestonin ravinnesuhteiden selvittäminen sekä ravinnelisäyskokeet puhdasviljelmillä tai

luonnonpopulaatioilla (Beardall ym. 2001). Käytännön sovellutusten vuoksi kasviplanktonin ravinnetilan määrittämisen tulee olla teknisesti luotettavaa, mutta samalla vaivatonta (Beardall ym. 2001, Holland ym. 2004). Jos menetelmät ovat vielä standardisoituja, voidaan eri laboratorioiden tuloksia verrata keskenään (López & Dávalos-Lind 1998). Ravinnelisyksikeissa lisätään yhtä tai useampaa ravinnetta näyteveteen ja mitataan kasviplanktonin kasvua useamman päivän kestävästä inkuboinnin aikana (Hecky & Kilham 1988, Holland ym. 2004). Vaikka kasviplankton tarvitsee ainakin 20 alkuainetta protoplasmansa valmistamiseen, tietyn populaation kasvunopeus tietyssä aikana joko muuttuu (ravinnerajoitteinen) tai ei muutu (ei ole ravinnerajoitteinen) ravinteiden lisäyksen seurauksena (Lewis 2000). Joskus ravinnelisyksikeen tulokset viittaavat useamman ravinteen yhtäaikaan rajoitukseen. Esimerkiksi typellä ja fosforilla on havaittu synergistisiä vaikutuksia, kun molempia on lisätty yhtä aikaa (Maberly ym. 2002, Elser ym. 2007). Toisen ravinteen lisäyksen aikaansaaman kasvun seurauksena toinen ravinne voi kulua nopeasti tasolle, jossa siitä tulee rajoittava ravinne. Myös molemmat ravinteet voivat rajoittaa tuotantoa etenkin luonnollisilla kasviplanktonpopulaatioilla tehdyissä levätesteissä, kun eri lajeja rajoittavat eri ravinteet ja lajikoostumus muuttuu kokeen aikana. (Maberly ym. 2002)

Vaikka järveen tulevien ravinteiden seuraukset voidaankin ilmaista määrällisellä indeksillä tai vedenlaatuparametrilla (esim. klorofyllipitoisuuksilla ja veden näkösyvyydellä) (Wetzel 2001), ei ulkoisen ravinnekuormituksen mahdollisia vesistövaikutuksia pysty kattavasti selvittämään pelkästään fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella (López & Dávalos-Lind 1998). Tämä johtuu mm. siitä, että kasviplankton kykenee ottamaan ravinteita pienemmistä pitoisuuksista kuin nyky menetelmillä pystytään mittaamaan (Hecky & Kilham 1988, Jones 1998). Myös kasvua inhiboivia tai myrkyllisiä vaikutuksia on yleensä vaikea havaita normaaleilla kemiallisilla analyyseillä (Forsberg ym. 1978). Ravinteiden biologista saatavuutta, minimiravinnetta ja sitä, kuinka nopeasti eliöt voivat kasvaa vedessä, voidaan selvittää vain biologisilla testeillä (Hecky & Kilham 1988). Puhdasviljelmillä tehdyissä levätesteissä kasvua käytetään ilmaisemaan tutkittavan järviseden kykyä ylläpitää kasviplanktonin kasvua.

Vesinäyte suodatetaan ja siihen siirrostetaan kulloinkin käyttöön valittu testilaji (Beardall ym. 2001). Kun lajina on yksisoluinen kasviplankton, kasvua voidaan mitata usealla eri tavalla. Yleisiä menetelmiä ovat solulukumäärän laskeminen mikroskooppisesti tai virtaussytometrillä, veden sameuden, kemiallisen hapenkulutuksen (COD, chemical oxygen demand), partikkelimaisen orgaanisen hiilen (POC, particulate organic carbon), kuivapainon tai klorofyllipitoisuuden mittaaminen (Beardall ym. 2001, Granéli 1978).

1.3. Tutkimuksen tarkoitus

Kasviplanktonin kasvun ravinnerajoitteisuuden ja minimitekijöiden tunnistaminen on tärkeää vesistöjen ekologian ymmärtämiseksi ja niiden kunnostus- ja hoitokäytäntöjen ohjaamiseksi. Ravinnetiliedon ansiosta kunnostajat voivat laatia kuormituslaskelmia valuma-alueille ja reagoida mahdollisiin häiriöihin asiantuntevin perustein (Beardall ym. 2001). Yhdyskuntajätevesidirektiivissä (91/271/ETY) on määrätty jätevedenpuhdistamoille kokonaistypen poistotehoksi vähintään 70–80 % ja kokonaisfosforin poistotehoksi 80 % sellaisissa vesistöissä, joita uhkaa rehevöityminen. Kokonaistyyppipitoisuus puhdistetussa jätevedessä saa olla 10–15 mg l⁻¹ ja kokonaisfosforipitoisuus 1-2 mg l⁻¹. Direktiivin mukaan paikallisista oloista riippuen jätevedenpuhdistamolla on sovellettava joko molempien ravinteiden tai vain toisen poistotehoa. Tämän takia on tunnettava minimiravinne siinä vesistössä, johon puhdistettu jätevesi johdetaan. Koska Suomessa järvet ovat usein ketjuuntuneet, ei riitä, että rajoittava ravinne tunnetaan vain lähimmässä järvessä. Samassa järviketjussa voi olla hyvin erityyppisiä järviä.

Pro gradu-työni oli osa NUTRIBA-hanketta (Nutrients from River Basins – Experimental and Modelling Approach), jonka osatavoitteena oli tunnistaa ja määrittää ravinnevarantojen kokoa sekä biogeokemialliseen kiertoon, muuntumiseen ja pidättymiseen liittyviä prosesseja ja mekanismeja Kokemäenjoen valuma-alueen latvavesistöissä sekä näiden mahdollista merkitystä Selkämeren vedenlaadulle. Hanke oli osa Suomen Akatemian

Itämerentutkimuksen BIREME-ohjelmaa, joka toimi vuosina 2003–2005. Pro gradu-työni tarkoituksena oli selvittää perustuotantoa rajoittava ravinne ja sen mahdollinen vaihtelu koko kasvukauden ajan Ormajärven, Suolijärven, Leheen, Pyhäjärven ja Iso-Roineen muodostamassa järviketjussa, joka sijaitsee silloisen Lammin, Tuuloksen ja Hauhon alueella Kanta-Hämeessä. Tein minimiravinnetestejä (faktorikoe 2²) *Pseudokirchneriella subcapitata* – levän puhdasviljelmällä. Testien lisäksi ja tueksi tarkastelin järvien typpi- ja fosforipitoisuuksia. Hypoteesini olivat, että

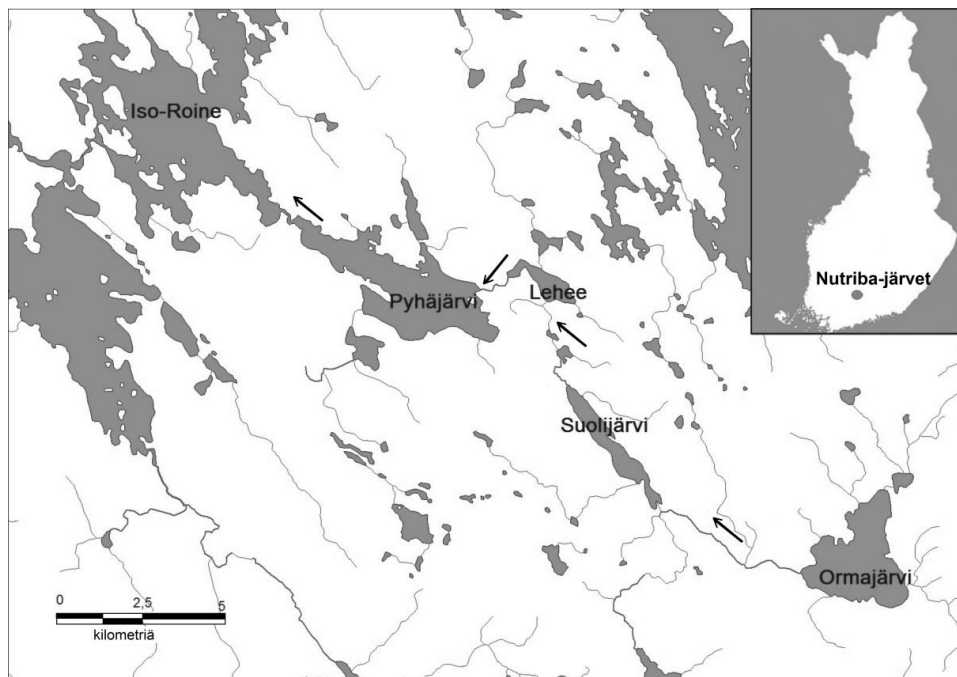
1. fosforin ohella typpi saattaa olla tärkeä tekijä tutkimusjärvieni perustuotannolle ja näin ollen se voi olla rajoittava ravinne
2. rajoittava ravinne voi vaihtua kasvukauden aikana ja
3. järvissä, joissa on pitkä viipymä, ravinnerajoitteisuus on voimakkaampaa kuin lyhyen viipymän järvissä, so. ravinnerajoitteisuudessa on ketjun järvien välillä eroja.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Tutkimusjärvet

Etelä-Suomessa nykyisen Hämeenlinnan alueella sijaitsevat Ormajärvi, Suolijärvi, Lehee, Pyhäjärvi ja Iso-Roine ovat Kokemäenjoen vesistön latvajärviä (kuva 1), jotka eroavat toisistaan morfometrialtaan ja limnologisen perusluonteensa suhteen (taulukko 1). Ne muodostavat järviketjun, jossa virtaussuunta on luoteeseen Ormajärvestä Iso-Roineeseen. Järvien ympärillä on asutusta ja maatalousvaltaisia alueita, mutta myös talousmetsiä (Mäkelä ym. 2004). Välittömässä vaikutuspiirissä ei ole suuria asutuskeskuksia tai teollisuuslaitoksia, mutta Ormajärven rannalla on Lammin kirkonkylän taajama ja sen jätevedenpuhdistamo (Ojala ym. 2011). Suolijärven ja Leheen välissä on Tuuloslammien kosteikkoalue (Valpola & Ojala 2006). Suolijärven pohjoispäässä on myös Tuuloksen kirkonseudun pieni taajama. Iso-Roineeseen laskee järviketjun lisäksi vesiä myös pohjoisesta.

Ormajärven valuma-alue (6,5 km²) ja valuma-alueen suhde järven pinta-alaan (18) ovat pienimmät järviketjun järvistä. Sen viipymä on noin 2,9 vuotta (Rissanen ym. 2013). Suolijärvi ja Lehee ovat matalia läpivirtausjärviä, joiden viipymät ovat noin 5 kuukautta ja 35 vuorokautta (Rissanen ym. 2013, Valpola & Ojala 2006). Leheellä on järviketjun järvistä pienin pinta-ala (1 km²) ja suurin valuma-alueen suhde järven pinta-alaan (243). Pyhäjärvi on keskisyvyydeltään syvin (10 m) järviketjun järvistä. Sen viipymä on noin 1,5 vuotta. Iso-Roineen viipymä ei ole tiedossa. Se on kuitenkin järviketjun järvistä suurin pinta-alaltaan, 30,9 km², ja sen valuma-alue on kooltaan 1171 km². Se on myös syvin, so. maksimisyvyydeltään 73 metriä. (Valpola & Ojala 2006) Ormajärvi, Suolijärvi ja Lehee ovat kasvillisuuden suhteen luokiteltavissa osmankäämi-ratamosarpio – tyyppiin, kun taas Pyhäjärven ja Iso-Roineen kasvillisuus on järviruoko -tyyppiä. (Mäkelä ym. 2004) N:P-suhteiden perusteella ketjun järvet ovat fosforirajoitteisia, koska kaikkien N:P-suhde on suurempi kuin Redfieldin suhdeluku 16 N:1 P (taulukko 1, Redfield 1958). Järvien morfologisia ja kemiallisia ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1. Tutkimuksen kohteena olleet järvet ja niiden sijainti kartalla. Nuolet kuvaavat veden virtaussuuntaa.

Taulukko 1. Järvien morfologisia ja kemiallisia ominaisuuksia (Rissanen ym. 2013, Valpola & Ojala 2006, T. Tulonen, suull. tiedonanto). Kemialliset tiedot ovat pintaveden keskiarvoja vuosina 2003–2004 avovesikautena toukokuusta lokakuuhun (näytteenotto syvyys 1 m).

	Ormajärvi	Suoli- järvi	Lehee	Pyhäjärvi	Iso-Roine
Sijainti	61°06' N 24°58' E	61°07' N 24°49' E	61°10' N 24°47' E	61°10' N 24°42' E	61°13' N 24°34' E
Pinta-ala, km ²	6,5	2,0	1,0	9,5	30,9
Valuma-alue, km ²	116	214	243	332	1171
Valuma-alue: pinta-ala -suhde	18	107	243	35	38
Keskisyvyys, m	8,5	4,7	1,4	10,1	7,2
Maksimisyvyys, m	31	10	4,1	35	73
Viipymä, vuosia	2,9	0,4	0,1	1,5	-
Sähkönjohto- kyky, mS m ⁻¹	15,6	13,0	12,5	11,7	7,9
Klorofylli α , mg m ⁻³	6,8	13,5	18,2	5,7	4,1
Kokonaisfosfori, mg m ⁻³	19	26	35	14	11
Kokonaistyppe, mg m ⁻³	678	759	729	552	388
N:P-suhde	36	29	21	39	35

2.2. Minimiravinnetestit

Minimiravinnetestejä varten kerättiin vesinäytteet kaikkien viiden järven pelagiaalialueelta kerran kuussa kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa vuonna 2004 ja toukokuussa 2005. Olin itse mukana näytteenotossa kesäkuussa 2004. Muulloin järvesinäytteet hakivat Lammin biologisen aseman henkilökunta ja NUTRIBA-hankkeen muut tutkijat muun näytteenoton yhteydessä. Ennen näytteenottoa määritettiin näkösyvyys Secchi-levyllä 0,5 m:n tarkkuudella (taulukko 2).

Näytteet otettiin metrin mittaisella (tilavuus 7,7 dm³) Sormunen-putkinoutimella vesikerroksesta, joka oli paksuudeltaan kaksi kertaa näkösyvyys. Tällöin näytteet kattoivat pääosan tuottavasta kerroksesta (Pietiläinen 2004). Näytteenotto- ja syvyysvaihtelivat järvi- ja järvivälillä 0-2 ja 0-8 metriä. Tutkimuksen aikana näkösyvyys ei vaihdellut. Metrin osanäytteet tuottavan kerroksen vesipatsaasta sekoitettiin ja seoksesta otettiin kokoomanäyte, joka suodatettiin 25 µm planktonhaavin läpi eläinplanktonin poistamiseksi. Kokoomanäytteistä määritettiin myös ravinnepitoisuudet. Ravinneanalyysistä on kerrottu kappaleessa 2.3.

Taulukko 2. Järvien näkösyvyys metreinä näytteenottoajankohtina.

	Näytteenotto- vko / vuosi	Ormajärvi	Suolijärvi	Lehee	Pyhäjärvi	Iso- Roine
Näkö- syvyys	26 / 2004	3	2	1	3,5	4
	29 / 2004	3	2	1	3	4
	34 / 2004	3	2	1	3	4
	38 / 2004	2	1,5	1	3	3,5
	20 / 2005	2,5	2	1	3	4

Koska tutkimuksen kohteena oli viisi järveä ja kokeet toistettiin viitenä kuukautena, tein yhteensä 25 levätestiä. Käytin ravinnetestissä *Pseudokirchneriella subcapitata* -viherlevän puhdasviljelmää noudattaen soveltuvien osien Yhdysvaltojen ympäristöhallinnon ohjeita levätesteistä (Miller ym. 1978). Puhdasviljelmän kasvatuksessa käytetyn ravinneliuoksen valmistusohje on liitteessä 2. Käyttämäni levälajia on jo vuosikymmeniä hyödynnetty minimiravinne- ja toksisuustesteissä (aiemmin nimellä *Selenastrum capricornutum*, nykyään myös nimellä *Raphidocelis subcapitata*, mm. Miller ym. 1978, Krienitz ym. 2011). Tässä työssä käytetty leväkanta oli peräisin Suomen ympäristökeskuksesta. Koeasetelma oli faktoriaalinen (0, N, P, N+P) viidellä toistolla. Ravinnelisäysten taso määräytyi järvivedestä kesäkuussa 2003 mitattujen ravinnepitoisuuksien mukaan (taulukko 3). Lisäsin typpeä ja fosforia siten, että testipulloissa typen pitoisuus oli noin puolitoistakertainen järven luonnolliseen tasoon verrattuna ja fosforin noin kaksinkertainen. Valmistin typen ravinnelisäysohjeiden kaliumnitraatista (KNO₃) ja fosforin kaliumdivetyfosfaatista (KH₂PO₄).

Taulukko 3. Järvien kokonaisfosfori- ja kokonaistyppipitoisuudet kesäkuussa 2003 ja niiden perusteella lasketut pitoisuudet ravinnelisäyksissä.

	Järviveden kokonaisravinne- pitoisuudet kesäkuussa 2003		Ravinnelisäykset	
	tot P $\mu\text{g l}^{-1}$	tot N $\mu\text{g l}^{-1}$	P $\mu\text{g l}^{-1}$	N $\mu\text{g l}^{-1}$
Ormajärvi	22	775	22	387,5
Suolijärvi	28	800	28	400
Lehee	39	699	39	349,5
Pyhäjärvi	18	644	18	322
Iso-Roine	10	401	10	200,5

Ennen kasvatusten aloitusta autoklavoin järvivesinäytteet (30 min, $T=121\text{ }^{\circ}\text{C}$, paine 1,21 bar), ja suodatin ne lasikuitusuodattimien (\varnothing 47 mm Whatman[®] GF/C) läpi hiukkasten poistamiseksi (Miller ym. 1978). Levien kasvatusta varten täytin 100 ml:n kuivasteriloidut (4h, $120\text{ }^{\circ}\text{C}$) Erlenmeyer-pullot 60 ml:lla järvivettä ja lisäsin ravinteet sekä 0,5 ml *P. subcapitata* – levän eksponentiaalisen kasvun vaiheessa olevaa puhdasviljelmää. Suljin pullot pumpulilla kaasunvaihdon mahdollistamiseksi ja ravistelin niitä ennen asettamista satunnaiseen järjestykseen kasvatuskaappiin. Kasvatin leviä vakio- lämpötilassa ($+18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) jatkuvassa valaistuksessa vähintään siihen asti, kunnes eksponentiaalinen kasvu loppui eli pystyin näin ollen analysoimaan ravinnelisäyksen vaikutuksen kaikkiin kasvun vaiheisiin. Levien kasvatusajat vaihtelivat 12 vuorokaudesta 19 vuorokauteen. Valonlähteenä oli 18–20 kpl 39 W:n loisteputkia. Mittasin valaistuksen intensiteetin eri kohdista kasvatuskaapin hyllyä Li-Cor 2π anturilla (Li-Cor Biosciences, Inc., USA), joka oli yhdistetty LI-1400 -tiedonkeruuyksikköön. Valaistuksen intensiteetti oli keskimäärin $142\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, mutta se vaihteli välillä $60\text{--}223\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ riippuen hyllypaikasta. Intensiteetti väheni myös loisteputkien vanhetessa, joten niitä vaihdettiin tarvittaessa uusiin. Vaihdoin pullojen paikkoja satunnaisesti kerran päivässä, jotta kaikki saivat saman verran valoa. Koska *P. subcapitata* on liikuntakyvytön, ravistelin pulloja kerran päivässä. Seurasin levien kasvua ottamalla jokaisesta pullosta muutaman ml näytteen 2-3 päivän välein. Kestävöin näytteet Lugolin liuoksella (Lund & Talling 1957).

Tässä työssä laskettiin solulukumäärät mikroskoopilla. Tällä menetelmällä on muihin verrattuna se etu, että samalla pystyi arvioimaan leväsolujen kuntoa. Laskin yli 3000 näytteestä levien solumäärät Lundin kammiolla (Lund 1959) 400-kertaisella kokonaissuurenoksella (objektiivi 40x) Olympus-tutkimusmikroskoopilla. En voinut käyttää 100- tai 200-kertaista suurennosta, koska solut olisivat näkyneet liian pieninä, ja niitä olisi ollut liian monta yhdessä näkökentässä. Laskin näytteistä vähintään kolme satunnaisesti valittua näkökenttää tai niin monta, että soluja tuli laskettua yhteensä vähintään sata (Lund 1959). Tuloksista määritin kaksi testisuureta: kasvunopeuden ja saannon eli maksimisolumäärän. Laskin spesifisen kasvukertoimen (r_n, d^{-1}) eksponentiaalisen kasvun vaiheessa vähintään kolmen pisteen kautta kaavalla:

$$\frac{\delta N}{\delta t} = N_0 e^{r_n t} \quad (1)$$

jossa

N on populaation koko

δN on muutos populaation koossa

t on aika

δt on muutos ajassa

N_0 on populaation koko ajan hetkellä $t = 0$

e on luonnollisen logaritmin kantaluku

2.3. Ravinneanalyysit

Järvien tuottavasta kerroksesta määritettiin kokonaistypen ja -fosforin sekä liukoisten ravinteiden eli ammonium-, nitraatti- ja nitriittitypen sekä fosfaattifosforin pitoisuudet. Liukoisten ravinteiden määrittämiseen tarkoitettuja järvivesinäytteitä jäivät minulta esikäsittelyvaiheessa virheellisesti suodattamatta. Määrittäminen tehtiin spektrofotometrisesti FIA-tekniikalla (Flow Injection Analysis) Lachat Quikchem 8000 –ravinneanalyysaattorilla (Zellweger Analytics Inc., USA) Helsingin yliopiston Lammin biologisella asemalla. Mittaukset teki laboratorion henkilökunta.

Kokonaistypen määrittämisessä näytteiden typpiyhdisteet hapetetaan autoklavoimalla näytteet persulfaattiliuoksessa, minkä jälkeen muodostunut nitraatti pelkistetään nitriitiksi kuparoidulla kadmiumputkella. Nitriitti kompleksoidaan happamassa liuoksessa sulfaniiliamiinin kanssa diatsoyhdisteeksi, joka muodostaa spektrofotometrisesti aallonpituudella 540 nm mitattavan atsoväriaineen reagoidessaan aromaattisen amiinin kanssa. Nitraatin ja nitriitin pitoisuuksien määrittämiseksi näyte pelkätään värjätään, ja nitriitin pitoisuus mitataan spektrofotometrisesti 540 nm:n aallonpituudella. Nitraatin pitoisuus puolestaan saadaan vähentämällä nitriitin pitoisuus nitraatin ja nitriitin pitoisuuksien summasta, joka saadaan pelkistämällä näytteen nitraatti nitriitiksi ja värjäämällä se. (Wood ym. 1967) Ammoniumtypen pitoisuusmäärittämisessä näytteen ammoniakki reagoi hypokloriitin kanssa emäksisessä liuoksessa muodostaen monokloramiinin, joka fenolin, nitroprussidi-ionien ja hypokloriitin kanssa muodostaa sinisen väriaineen. Sen absorbanssi mitataan spektrofotometrillä 630 nm:n aallonpituudella. (D'Elia ym. 1977, Grasshoff ym. 2009)

Kokonaisfosforin määrittämisessä näytteiden fosforiyhdisteet hapetetaan autoklavoimalla näytteet persulfaattiliuoksessa. Hapetuksessa syntynyt ortofosfaatti muodostaa happamassa liuoksessa molybdaatin ja kolmen arvoisen antimonin kanssa antimoni-12-fosforimolybdeenihappoa. Se pelkistetään askorbiinihapolla 880 nm:n aallonpituudella absorboivaksi siniseksi kompleksiyhdisteeksi. Liuenneen ortofosfaatin määrittämisessä näyte värjätään happamassa liuoksessa molybdaatin, kolmen arvoisen antimonin ja askorbiinihapon kanssa spektrofotometrillä 880 nm:n aallonpituudella mitattavaksi kompleksiksi. (Koroleff 1983, Murphy & Riley 1962)

2.4. Tilastolliset analyysit

Testisuureet tilastollisissa analyyseissä olivat kasvunopeus ja maksimisolumäärä eli saanto. Eri ravinnelisäystasojen kasvunopeutta ja saantoa verrattiin kontrolliin rajoittavan ravinteen selvittämiseksi. Koska levätestit toistettiin perättäisinä kuukausina ja koska vesi järviketjun jälkimmäisissä järvissä on jossain määrin riippuvainen edeltävistä järvistä, toistomittausten ANOVA (analysis of variance) –testillä olisi voinut analysoida kasvukauden ja järviketjun vaikutusta ravinnelisäysten lisäksi ja kaikkien näiden tekijöiden yhdysvaikutusta. Testattava aineisto ei kuitenkaan täyttänyt tämän parametrisen testin edellytyksiä. Aineisto ei ollut normaalisti jakautunut, ja varianssit olivat heterogeeniset muunnosyrityksistä huolimatta. Tämän takia aineisto testattiin ei-parametrisella Kruskal-Wallis H -testillä, joka sopii usean otoksen vertailuun (Ranta ym. 1989). Tällä testillä pystyttiin aineistosta analysoimaan ravinnelisäysten vaikutus, joka oli tärkeämpi faktori kuin kuukausi tai järvi itsessään.

Vertailua varten havainnot yhdistettiin, asetettiin suuruusjärjestykseen ja korvattiin järjestyslukuillaan, joille tehtiin useampisuuntainen varianssianalyysi PASW Statistics 18-ohjelmalla. Pää- ja yhdysvaikutusten testaukseen käytettiin testisuuretta H , joka laskettiin varianssianalyysin antamien neliösummien avulla. Testisuureen H arvoja verrattiin χ^2 -taulukon kriittisiin arvoihin riskitasolla 0,05 vastaavien neliösummien vapausasteita käyttäen. Ravinnelisäysten, järvien ja kuukausien yhdysvaikutusten selvittämiseksi aineisto jaettiin osiin ja ravinteiden vaikutusta testattiin erikseen muiden faktorien käsittelytasojen sisällä. Tilastollinen analysointi tehtiin ympäristötieteiden laitoksen Biometria-kurssilla, jossa aineistoni oli esimerkkinä.

3. Tulokset

3.1. Minimiravinnetestit

Minimiravinnetesteissä vain fosforilla oli vaikutusta levien kasvunopeuteen ja saantoon (taulukko 4). Typellä yksin tai yhdessä fosforin kanssa ei ollut vaikutusta levien kasvunopeuteen eikä saantoon minkään järven minimiravinnetesteissä. Tilastollisten testien mukaan typpikäsittelyllä ei ollut yhdysvaikutusta myöskään järven tai levätestin ajankohdan kanssa. Fosforikäsittelylle, järvelle ja levätestien ajankohdalle löytyi yhdysvaikutus sekä saanto- että kasvunopeustuloksissa. Kun jokaiselle järvelle testattiin erikseen fosforin ja levätestien ajankohdan vaikutuksia, fosforikäsittelylle löytyi tilastollisesti merkitsevä vaikutus kasvunopeuteen Ormajärven, Suolijärven ja Leheen levätesteissä (taulukko 5). Levätestien ajankohdalla eli kuukaudella oli vaikutus sekä saantoon että kasvunopeuteen jokaisessa järvessä. Fosforilla ja kuukaudella oli yhdysvaikutus saantoon Suolijärven levätesteissä ja kasvunopeuteen Leheen, Suolijärven ja Pyhäjärven levätesteissä. Joka kuukaudelle erikseen testattujen yhdysvaikutusten tulokset on esitetty taulukossa 6.

Kasvunopeudet ja saannot käyttäytyivät hieman eri tavalla 13 levätestissä eli noin 50 % kaikista 25 levätestistä (taulukko 7). Kasvunopeus ja saanto antoivat saman tuloksen vain niissä 12 levätestissä, joissa ravinnelisäyksillä ei ollut vaikutuksia. Yhdessä levätestissä ne osoittivat fosforille sekä toksisen että rajoittavan vaikutuksen (kuvat 3 ja 4). Fosforikäsittelyissä esiintyi inhibitiota 40 %:ssa kaikista testeistä. Kerran inhibitio ilmeni saannossa ja yhdeksässä tapauksessa kasvunopeuksissa. Toukokuussa 2005 inhibitiota ei havaittu missään levätestissä. Tilastollisten testien tulokset on esitetty taulukoissa 4-6 ja levätestien tulokset on esitetty yhteenvetona taulukossa 7.

Taulukko 4. Typen, fosforin, järven ja kuukauden pää- ja yhdysvaikutukset saantoon ja kasvunopeuteen.

Faktori	Saanto		Kasvunopeus	
	p-arvo	merkit-sevyys	p-arvo	merkit-sevyys
Typpi	> 0,1		> 0,1	
Fosfori	> 0,1		< 0,001	***
Järvi	< 0,001	***	< 0,01	**
Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
Typpi x Fosfori	> 0,1		> 0,1	
Typpi x Järvi	> 0,1		> 0,1	
Typpi x Kuukausi	> 0,1		> 0,1	
Fosfori x Järvi	> 0,1		< 0,001	***
Fosfori x Kuukausi	> 0,1		< 0,001	***
Järvi x Kuukausi	< 0,001	***	< 0,01	**
Typpi x Fosfori x Järvi	> 0,1		> 0,1	
Typpi x Fosfori x Kuukausi	> 0,1		> 0,1	
Typpi x Järvi x Kuukausi	> 0,1		> 0,1	
Fosfori x Järvi x Kuukausi	< 0,05	*	< 0,001	***
Typpi x Fosfori x Järvi x Kuukausi	> 0,1		> 0,1	

Taulukko 5. Fosforin ja kuukauden pää- ja yhdysvaikutukset saantoon ja kasvunopeuteen tutkituissa järvissä.

Järvi	Faktori	Saanto		Kasvunopeus	
		p-arvo	merkit-sevyys	p-arvo	merkit-sevyys
Ormajärvi	Fosfori	> 0,1		< 0,001	***
	Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
Suolijärvi	Fosfori x kuukausi	> 0,1		> 0,1	
	Fosfori	> 0,1		< 0,05	*
	Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
Lehee	Fosfori x kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
	Fosfori	> 0,1		< 0,001	***
	Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
Pyhäjärvi	Fosfori x kuukausi	> 0,1		< 0,001	***
	Fosfori	> 0,1		> 0,1	
	Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
Iso-Roine	Fosfori x kuukausi	> 0,1		< 0,05	*
	Fosfori	> 0,1		> 0,1	
	Kuukausi	< 0,001	***	< 0,001	***
	Fosfori x kuukausi	> 0,1		> 0,1	

Taulukko 6. Fosforin vaikutus saantoon tai kasvunopeuteen tutkittuina kuukausina niissä järvissä, joissa fosforilla ja kuukaudella havaittiin yhdysvaikutuksia.

Kuukausi	Järvi	Saanto		Kasvunopeus	
		p-arvo	merkitsevyys	p-arvo	merkitsevyys
Kesäkuu 2004	Suolijärvi	<0,001	***	> 0,1	
	Lehee			< 0,001	***
	Pyhäjärvi			> 0,1	
Heinäkuu 2004	Suolijärvi	> 0,1		< 0,001	***
	Lehee			< 0,001	***
	Pyhäjärvi			> 0,1	
Elokuu 2004	Suolijärvi	< 0,05	*	< 0,05	*
	Lehee			< 0,001	***
	Pyhäjärvi			< 0,01	**
Syyskuu 2004	Suolijärvi	> 0,01		< 0,001	***
	Lehee			< 0,001	***
	Pyhäjärvi			< 0,001	***
Toukokuu 2005	Suolijärvi	< 0,01	**	> 0,01	
	Lehee			< 0,001	***
	Pyhäjärvi			< 0,001	***

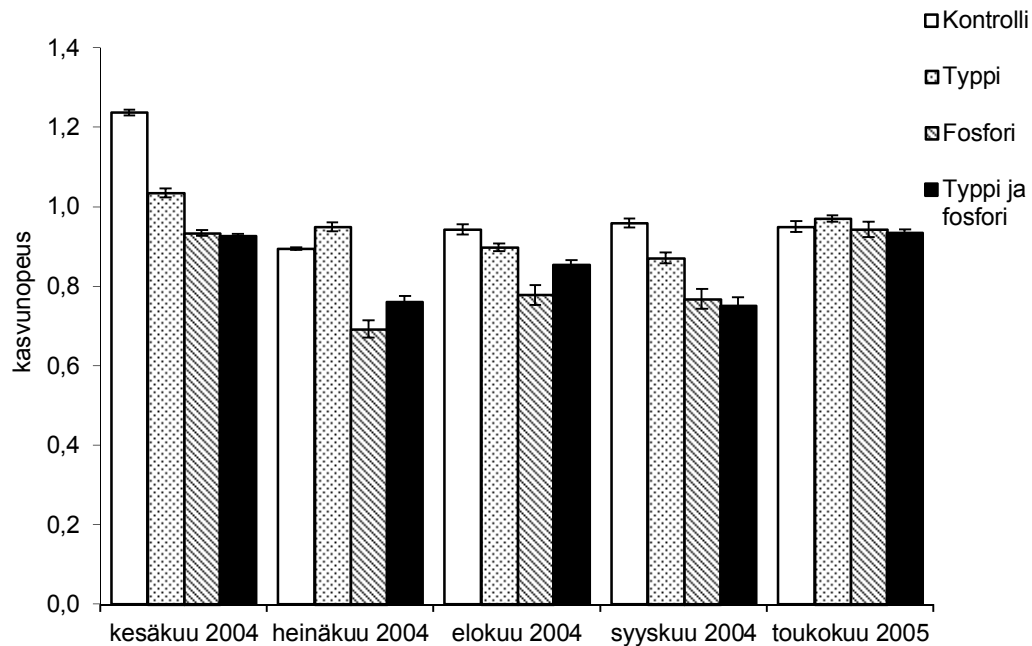
Taulukko 7. Ravinnerajoitteisuuden ja inhibition esiintyminen levätesteissä. Kasvunopeus ja saanto olivat mitatut parametrit. P = fosforirajoitteisuus, inh = inhibitio, ei = ei minimiravinnettä eikä inhibitiota.

	Kesäkuu 2004		Heinäkuu 2004		Elokuu 2004	
	Kasvu- nopeus	Saanto	Kasvu- nopeus	Saanto	Kasvu- nopeus	Saanto
Ormajärvi	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Suolijärvi	ei	inh	inh	ei	inh	P
Lehee	inh	ei	inh	ei	inh	ei
Pyhäjärvi	ei	ei	ei	ei	inh	ei
Iso-Roine	ei	ei	ei	ei	ei	ei

	Syyskuu 2004		Toukokuu 2005	
	Kasvunopeus	Saanto	Kasvunopeus	Saanto
Ormajärvi	ei	ei	ei	ei
Suolijärvi	inh	ei	ei	P
Lehee	inh	ei	P	ei
Pyhäjärvi	inh	ei	P	ei
Iso-Roine	ei	ei	ei	ei

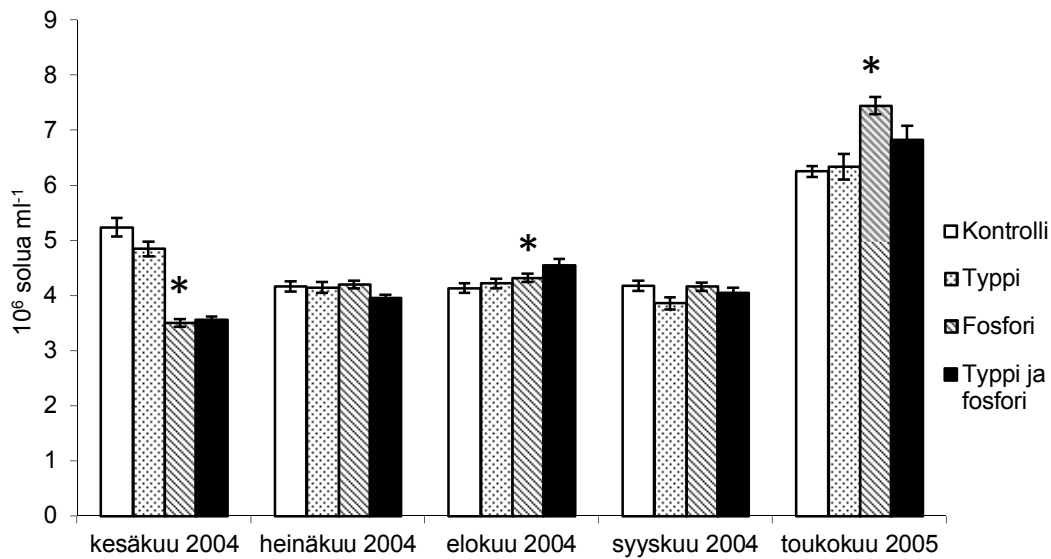
Ormajärven levätesteissä fosforikäsittelyllä oli vaikutusta kasvunopeuteen (kuva 2), mutta ei saantoon (taulukko 5). Fosforilisäys laski levien kasvunopeutta

vuonna 2004 kesäkuusta syyskuuhun (25, 23, 17 ja 20 %, tässä järjestyksessä) ja vuonna 2005 toukokuussa 1 % (kuva 2), mutta tilastollisen analyysin mukaan levätestien ajankohdalla ja fosforilisäyksellä ei kuitenkaan ole yhdysvaikutusta (taulukko 5). Siksi en ole merkinnyt taulukkoon 7 inhibitiota Ormajärven kasvunopeussarakkeisiin. Ormajärven levätestien saannot on esitetty taulukossa 8.

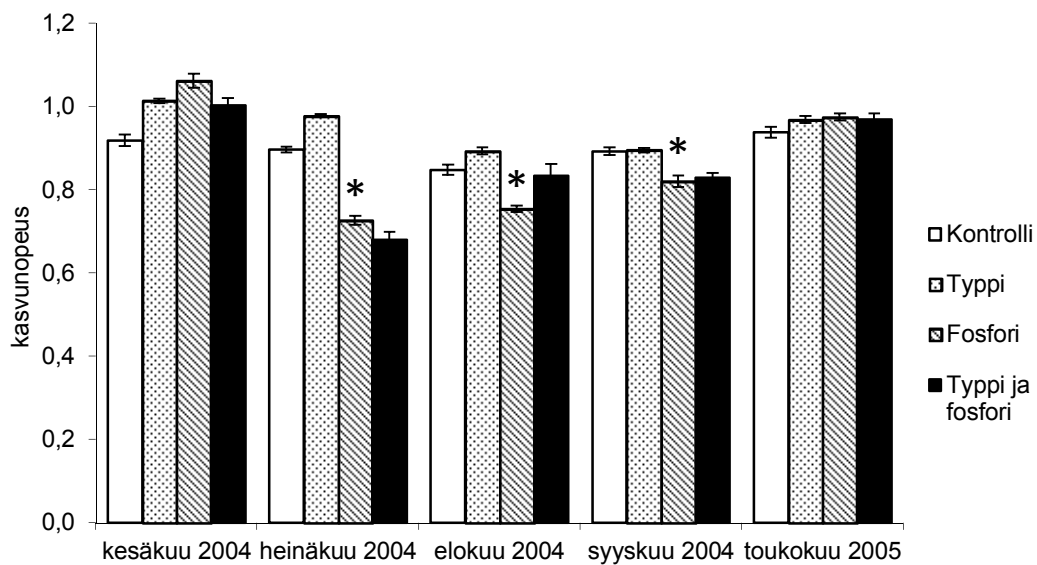


Kuva 2. Ormajärven minimiravinnetestin kasvunopeudet (spesifinen kasvukerroin, d^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n=5$).

Suolijärven levätesteissä fosforikäsittelyt vaikuttivat joko levien saantoon tai kasvunopeuteen joka kuukausi (kuvat 3 ja 4). Tilastollisten testien mukaan sekä saanto- että kasvunopeustuloksissa fosforikäsittelyllä ja levätestien ajankohdalla oli yhdysvaikutus (taulukot 5 ja 6). Vuoden 2004 levätesteissä fosforilisäys inhiboi joko kasvunopeutta tai saantoa. Kesäkuussa 2004 Suolijärven levätestin fosforikäsittelyssä saanto oli 33 % pienempi kuin kontrollissa. Heinäkuussa 2004 fosforikäsittely hidasti levien kasvunopeutta 19 % ja syyskuussa 8 %. Elokuussa 2004 levien kasvunopeus oli fosforikäsittelyssä 11 % hitaampaa kuin kontrollissa, mutta saanto oli lopulta 4 % kontrollia suurempi. Toukokuussa 2005 fosfori lisäsi saantoa kontrolliin verrattuna 19 %.



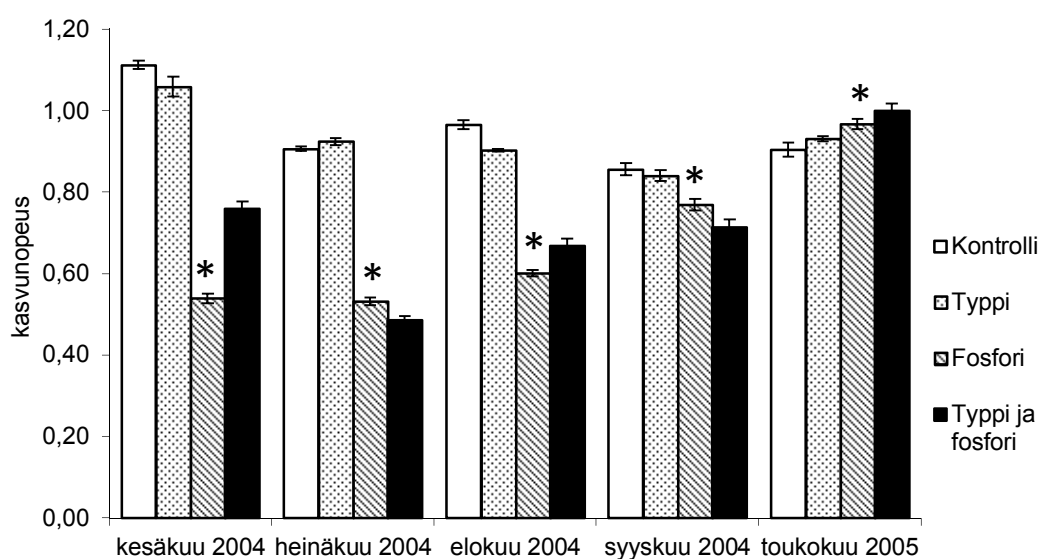
Kuva 3. Suolijärven minimiravinnetestien maksimisolumäärät eli saannot (10^6 solua ml^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n=5$). Tilastollisesti merkitsevät tulokset on merkitty tähdellä.



Kuva 4. Suolijärven minimiravinnetestin kasvunopeudet (spesifinen kasvukerroin, d^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n=5$). Tilastollisesti merkitsevät tulokset on merkitty tähdellä.

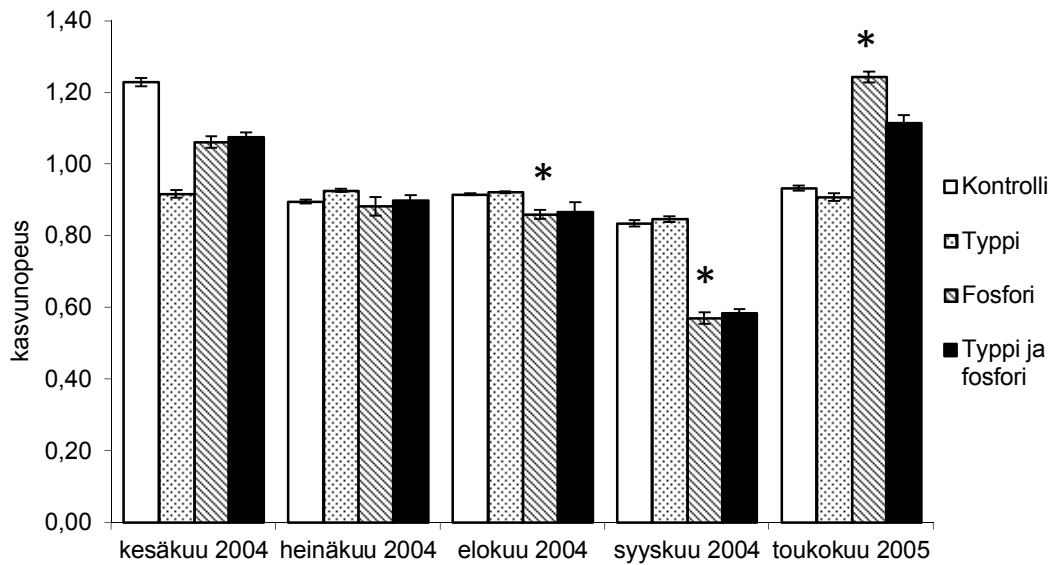
Leheen minimiravinnetesteissä fosforikäsitellyt vaikuttivat levien kasvunopeuteen kaikkina viitenä tutkittuna kuukautena (kuva 5, taulukko 6). Leheen levätestien

fosforikäsittelyjen kasvunopeustuloksissa esiintyi inhibitiota vuonna 2004 joka kuukausi kesäkuusta syyskuuhun. Vuonna 2004 kesäkuussa levien kasvu oli fosforikäsittelyssä 52 % hitaampaa kuin kontrollissa, heinäkuussa kasvu hidastui 41 %, elokuussa 38 % ja syyskuussa 10 %. Toukokuussa 2005 fosfori nopeutti levien kasvua 7 %. Tilastollisissa testeissä löytyi fosforikäsittelylle ja mittaussajakohdalle merkitsevä vaikutus erikseen ja yhdessä kasvunopeustuloksissa, mutta saantotuloksissa ei löytynyt yhdysvaikutusta (taulukko 5). Leheen levätestien saannot on esitetty taulukossa 8.



Kuva 5. Leheen minimiravinnetestin kasvunopeudet (spesifinen kasvukerroin, d^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n=5$). Tilastollisesti merkitsevät tulokset on merkitty tähdellä.

Pyhäjärven levätestien kasvunopeustuloksista tilastollisessa analyysissä löytyi fosforilisäykselle ja levätestin ajankohdalle yhdysvaikutus (taulukko 5). Pyhäjärven minimiravinnetesteissä levien kasvu oli elokuussa 2004 fosforikäsittelyssä 6 % hitaampaa kuin kontrollissa ja syyskuussa 2004 32 % hitaampaa (kuva 6). Toukokuussa 2005 fosfori nopeutti levien kasvua 33 %. Toukokuussa 2005 Pyhäjärven levätestien saannot olivat suurimmillaan, mutta tilastollisissa testeissä ei löytynyt yhdysvaikutusta fosforikäsittelylle ja levätestien ajankohdalle (taulukko 5). Pyhäjärven levätestien saannot on esitetty taulukossa 8.



Kuva 6. Pyhäjärven minimiravinnettestin kasvunopeudet (spesifinen kasvukerroin, d^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n=5$). Tilastollisesti merkitsevät tulokset on merkitty tähdellä.

Iso-Roineen testeissä ravinnekäsittelyt eivät vaikuttaneet levien saantoon eivätkä kasvunopeuteen. Tilastollisten testien mukaan kuukausien välillä oli eroja, mutta fosforikäsittelyllä ja levätestien ajankohdalla ei ollut yhdysvaikutusta (taulukko 5). Iso-Roineen levätestien saannot on esitetty taulukossa 8 ja kasvunopeudet taulukossa 9.

Taulukko 8. Saannot (10^6 solua ml^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n = 5$) Ormajärven, Leheen, Pyhäjärven ja Iso-Roineen levätesteissä, joissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyiden välillä (p -arvot $> 0,1$). K = kontrolli, N = typpilisäys, P = fosforilisäys, N+P = typen ja fosforin yhteisilisäys.

Järvi	Kuukausi	K	N	P	N+P
Ormajärvi	Kesäkuu 2004	$4,3 \pm 0,21$	$4,5 \pm 0,05$	$4,6 \pm 0,1$	$4,9 \pm 0,23$
	Heinäkuu 2004	$3,9 \pm 0,09$	$4,2 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,2$
	Elokuu 2004	$4,3 \pm 0,05$	$4,1 \pm 0,02$	$4,0 \pm 0,06$	$4,2 \pm 0,13$
	Syyskuu 2004	$4,3 \pm 0,08$	$4,2 \pm 0,07$	$4,0 \pm 0,06$	$4,1 \pm 0,08$
	Toukokuu 2005	$6,6 \pm 0,18$	$6,4 \pm 0,15$	$6,3 \pm 0,19$	$6,6 \pm 0,22$
Lehee	Kesäkuu 2004	$3,5 \pm 0,15$	$3,2 \pm 0,12$	$3,1 \pm 0,16$	$3,5 \pm 0,07$
	Heinäkuu 2004	$3,8 \pm 0,12$	$3,9 \pm 0,05$	$3,7 \pm 0,11$	$3,8 \pm 0,04$
	Elokuu 2004	$3,9 \pm 0,07$	$4,2 \pm 0,09$	$4,1 \pm 0,04$	$4,0 \pm 0,15$
	Syyskuu 2004	$3,9 \pm 0,07$	$3,9 \pm 0,08$	$4,3 \pm 0,12$	$4,2 \pm 0,07$
	Toukokuu 2005	$6,7 \pm 0,21$	$6,5 \pm 0,08$	$6,6 \pm 0,16$	$6,7 \pm 0,34$
Pyhäjärvi	Kesäkuu 2004	$4,4 \pm 0,38$	$4,6 \pm 0,18$	$4,4 \pm 0,11$	$4,7 \pm 0,14$
	Heinäkuu 2004	$4,0 \pm 0,06$	$4,1 \pm 0,04$	$3,9 \pm 0,08$	$3,9 \pm 0,14$
	Elokuu 2004	$3,8 \pm 0,08$	$4,1 \pm 0,1$	$4,1 \pm 0,12$	$4,2 \pm 0,06$
	Syyskuu 2004	$3,8 \pm 0,04$	$4,0 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,06$	$3,9 \pm 0,06$
	Toukokuu 2005	$5,9 \pm 0,12$	$6,4 \pm 0,15$	$6,2 \pm 0,11$	$6,5 \pm 0,27$
Iso-Roine	Kesäkuu 2004	$4,7 \pm 0,08$	$4,7 \pm 0,13$	$4,5 \pm 0,11$	$4,6 \pm 0,09$
	Heinäkuu 2004	$3,9 \pm 0,09$	$3,9 \pm 0,06$	$3,8 \pm 0,07$	$3,8 \pm 0,03$
	Elokuu 2004	$4,0 \pm 0,08$	$3,8 \pm 0,05$	$4,0 \pm 0,03$	$3,9 \pm 0,06$
	Syyskuu 2004	$1,8 \pm 0,42$	$1,4 \pm 0,02$	$1,1 \pm 0,05$	$1,7 \pm 0,59$
	Toukokuu 2005	$6,0 \pm 0,15$	$6,7 \pm 0,18$	$5,9 \pm 0,15$	$6,0 \pm 0,13$

Taulukko 9. Kasvunopeudet (spesifinen kasvukerroin, d^{-1} ; keskiarvo \pm keskivirhe, $n = 5$) Iso-Roineen levätesteissä, joissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyiden välillä (p -arvot $> 0,1$). K = kontrolli, N = typpilisäys, P = fosforilisäys, N+P = typen ja fosforin yhteisilisäys.

Kuukausi	K	N	P	N+P
Kesäkuu 2004	$1,15 \pm 0,012$	$1,09 \pm 0,015$	$0,98 \pm 0,023$	$1,17 \pm 0,006$
Heinäkuu 2004	$0,90 \pm 0,008$	$0,86 \pm 0,007$	$0,94 \pm 0,011$	$0,78 \pm 0,012$
Elokuu 2004	$0,89 \pm 0,004$	$0,95 \pm 0,006$	$0,81 \pm 0,014$	$0,88 \pm 0,01$
Syyskuu 2004	$0,72 \pm 0,017$	$0,65 \pm 0,007$	$0,62 \pm 0,017$	$0,67 \pm 0,032$
Toukokuu 2005	$1,13 \pm 0,017$	$1,15 \pm 0,019$	$1,12 \pm 0,012$	$1,03 \pm 0,016$

3.2. Ravinnepitoisuudet järvissä

Liukoisten ravinteiden, kuten fosfaattifosforin, nitraatti- ja nitriittitypen sekä ammoniumtypen pitoisuudet voivat olla todellista suuremmat näytteiden käsittelyssä tapahtuneen virheen vuoksi (s. 14) Fosfaattifosforin pitoisuudet pysyivät yleensä lähellä määritysrajaa ($2-3 \mu\text{g l}^{-1}$) kaikkina kuukausina kaikissa järvissä (taulukko 10). Kokonaistypen sekä nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat suurimmillaan kaikissa järvissä toukokuussa 2005. Järviketjun pienimmissä Ormajärvessä, Suolijärvessä ja Leheessä kokonaistyyppipitoisuudet vaihtelivat kasvukauden aikana epäsäännöllisesti. Suuremmissa Pyhäjärvässä ja Iso-Roineessa kokonaistyyppipitoisuudet laskivat vuoden 2004 kasvukauden aikana syyskuuhun asti, jolloin ne taas nousivat.

Ormajärven kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin pitoisuuksissa oli kasvukauden aikana vain vähän vaihtelua (taulukko 10, liite 1, kuva 8). Toukokuussa 2005 mitattiin Ormajärvestä ainoana koko järviketjussa kokonaistyyppiä yli $1000 \mu\text{g l}^{-1}$. Kokonaistypen sekä nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat pienimmillään Ormajärvessä heinäkuussa 2004 (liite 1, kuva 7). Useimmissa järviketjun järvissä ammoniumtypen pitoisuus oli pienimmillään ($6-12 \mu\text{g l}^{-1}$) kesä- tai heinäkuussa 2004, mutta Ormajärvestä mitattiin syyskuussa $8 \mu\text{g l}^{-1}$. Elokuussa 2004 ammoniumtypen pitoisuus oli Ormajärvessä suurimmillaan eli $29 \mu\text{g l}^{-1}$.

Suolijärvessä ammoniumtypen pitoisuus oli pienimmillään kesäkuussa 2004 ja suurimmillaan elokuussa 2004 (taulukko 10, liite 1, kuva 10). Kokonaisfosforin pitoisuus oli pienimmillään heinä- ja elokuussa 2004 ja suurimmillaan syyskuussa 2004 ja toukokuussa 2005, mutta vaihteluväli oli pieni, $17-20 \mu\text{g l}^{-1}$ (taulukko 10, liite 1, kuva 10). Myös kokonaistypen pitoisuus oli pienimmillään heinäkuussa 2004 ja suurimmillaan toukokuussa 2005 (liite 1, kuva 9). Nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuus oli puolestaan pienimmillään syyskuussa 2004 ja toukokuussa 2005 mitattiin suurin pitoisuus koko järviketjussa: $476 \mu\text{g l}^{-1}$ (liite 1, kuva 9).

Taulukko 10. Tutkittujen järvien ravinnepitoisuudet ($\mu\text{g l}^{-1}$) tuottavassa kerroksessa. kokN = kokonaistyyppi, kokP = kokonaisfosfori, $\text{N/NO}_2+\text{NO}_3$ = nitraatti- ja nitriittityppi, N/NH_4 = ammoniumtyppi, P/PO_4 = fosfaattifosfori

		kok N	kok P	$\text{N/NO}_2+\text{NO}_3$	N/NH_4	P/PO_4
Ormajärvi	Kesäkuu 2004	701	14	177	13	2
	Heinäkuu 2004	626	14	159	23	2
	Elokuu 2004	846	16	238	29	3
	Syyskuu 2004	678	14	216	8	2
	Toukokuu 2005	1025	16	461	24	3
Suolijärvi	Kesäkuu 2004	935	19	296	12	3
	Heinäkuu 2004	768	17	240	21	3
	Elokuu 2004	810	17	241	45	2
	Syyskuu 2004	819	20	149	43	2
	Toukokuu 2005	983	20	476	22	3
Lehee	Kesäkuu 2004	613	26	19	6	7
	Heinäkuu 2004	776	26	20	22	4
	Elokuu 2004	782	20	94	24	3
	Syyskuu 2004	732	19	69	50	3
	Toukokuu 2005	899	23	376	12	3
Pyhäjärvi	Kesäkuu 2004	584	10	109	16	2
	Heinäkuu 2004	527	12	68	9	2
	Elokuu 2004	520	9	31	18	2
	Syyskuu 2004	666	13	58	24	3
	Toukokuu 2005	849	14	295	11	2
Iso-Roine	Kesäkuu 2004	410	9	10	9	2
	Heinäkuu 2004	400	10	11	6	2
	Elokuu 2004	380	8	11	7	2
	Syyskuu 2004	505	9	19	13	2
	Toukokuu 2005	607	13	140	17	4

Leheestä mitattiin järviketjun suurimmat kokonaisfosforin, fosfaattifosforin ja ammoniumtyypen pitoisuudet: 26, 7 ja $50 \mu\text{g l}^{-1}$, tässä järjestyksessä (taulukko 10, liite 1, kuva 12). Kokonaisfosforin pitoisuus oli suurimmillaan kesä- ja heinäkuussa 2004, fosfaattifosforin kesäkuussa 2004, ja ammoniumtyypen syyskuussa 2004. Samaan aikaan syyskuussa 2004 oli kokonaisfosforin pitoisuus pienimmillään, $19 \mu\text{g l}^{-1}$. Kesäkuussa 2004 olivat kokonaistypen, ammoniumtyypen sekä nitraatti- ja nitriittityypen pitoisuudet pienimmillään (liite 1, kuvat 11 ja 12).

Pyhäjärvässä kokonaisfosforin, kokonaistypen sekä nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat pienimmillään elokuussa 2004 (taulukko 10, liite 1, kuvat 13 ja 14). Syyskuussa 2004 mitattiin Pyhäjärvässä kasvukauden suurin ammoniumtypen pitoisuus, $24 \mu\text{g l}^{-1}$. Kokonaisfosforin, kokonaistypen sekä nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuudet olivat suurimmillaan toukokuussa 2005.

Iso-Roineesta määritettiin järviketjun pienimpiä pitoisuuksia kaikista tutkituista ravinteista (taulukko 10). Nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuus oli pienimmillään $10 \mu\text{g l}^{-1}$ kesäkuussa 2004, ammoniumtypen $6 \mu\text{g l}^{-1}$ heinäkuussa 2004 ja kokonaisfosforin $8 \mu\text{g l}^{-1}$ sekä kokonaistypen $380 \mu\text{g l}^{-1}$ elokuussa 2004 (liite 1, kuvat 15 ja 16). Iso-Roineessa kaikkien määritettyjen ravinteiden pitoisuudet olivat suurimmillaan toukokuussa 2005.

4. Tulosten tarkastelu

Ravinnerajoitteisuutta esiintyi vain neljässä levätestissä 25:stä (taulukko 7). Suolijärven levätesteissä saanto ilmensi fosforirajoitteisuutta elokuussa 2004 ja toukokuussa 2005. Leheen ja Pyhäjärven levätesteissä puolestaan kasvunopeus ilmensi fosforirajoitteisuutta toukokuussa 2005. Näiden levätestien perusteella Suolijärven, Leheen ja Pyhäjärven perustuotanto on siis fosforirajoitteista kasvukauden alussa toukokuussa. Tätä tukevat monet minimiravinnetutkimukset, joiden mukaan boreaalisen vyöhykkeen järvet ovat usein fosforirajoitteisia (mm. Schindler 1977, Hecky & Kilham 1988). Myös Vesijärven on havaittu olevan nimenomaan alkukesästä fosforirajoitteinen (Ojala ym. 2003). Tosin perinteisen näkemyksen mukaan karut järvet ovat usein fosforirajoitteisia (Wetzel 2001). Suolijärven ja Leheen tulos poikkeaa tästä näkemyksestä. Typpirajoitteisuutta tai typen ja fosforin yhteisrajoitusta ei havaittu missään järvässä minään ajankohtana. Rajoittava ravinne ei siten vaihtunut kasvukauden aikana. Ensimmäinen ja toinen hypoteesi oli siis hylättävä. Kolmas hypoteesi puolestaan sai vahvistuksen, koska toukokuussa 2005 fosforirajoitteisuus oli sitä voimakkaampaa, mitä pidempi oli

järven viipymä. Leheen viipymä on lyhin, reilu kuukausi, ja fosforikäsittelyssä levien kasvunopeus oli vain 7 % suurempi kuin kontrollissa. Suolijärven viipymä on noin 0,4 vuotta ja fosforikäsittely lisäsi saantoa 19 % kontrolliin verrattuna. Pyhäjärven viipymä on näistä kolmesta järvestä pisin, 1,5 vuotta, ja fosforikäsittelyn ja kontrollin ero kasvunopeudessa oli myös suurin, 33 %. Tosin Miller ym. (1978) toteavat, että eri käsittelyiden kasvuvasteet katsotaan identtisiksi, jos niillä on eroa alle 20 %. Näin ollen Lehee ei olisi ollut fosforirajoitteinen toukokuussa 2005 eikä Suolijärvi elokuussa 2004 (kuva 3), vaikka tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä. Myös Suolijärven toukokuun 2005 fosforirajoitteisuus on siinä rajalla. Levätestien perusteella Ormajärvi ja Iso-Roine eivät olleet ravinnerajoitteisia tutkimuksen aikana (taulukko 5).

Suomen vesiensuojelun keskeisin tavoite on rehevöitymistä aiheuttavan fosfori- ja typpikuormituksen vähentäminen sekä sisävesillä että merialueilla (Ympäristöministeriö 2007). Rajoittavan ravinteen tunteminen on tarpeen vesienhoidon suunnittelussa ja rehevöitymisen torjunnassa, jolloin jätevesien käsittely ja maatalouden päästöjen rajoittaminen voidaan keskittää juuri siihen ravinteeseen, jonka vähentäminen tehokkaimmin vaikuttaa alapuolisten vesistöjen perustuotantoon. Toukokuussa 2005 kaikkien järvien nitraatti- ja nitriitti- sekä kokonaistyyppipitoisuudet olivat korkeimmillaan (taulukko 10). Silloin Suolijärvi, Lehee ja Pyhäjärvi olivat fosforirajoitteisia levätestien mukaan, mutta Ormajärvi ja Iso-Roine eivät olleet. Iso-Roineessa olivat sekä kokonais- että fosfaattifosforin pitoisuudet suurimmillaan toukokuussa 2005, mikä voi selittää sen, ettei Iso-Roineessa esiintynyt fosforirajoitteisuutta (liite 1, kuva 16). Keväällä sulamisvesien aiheuttaman fosforikuormituksen pienentämisellä olisi siis vaikutusta perustuotannon määrään ainakin Suolijärvessä, Leheessä ja Pyhäjärvessä. Ilmastonmuutoksen myötä lumien sulamisesta johtuva ravinnekuormitus aikaistunee ja pienenee, koska sade tulee talvella todennäköisesti nykyistä useammin vetenä lumen sijasta. Talviaikainen ravinnekuormitus järviin toisaalta lisääntyy suuremman valunnan takia. (IPCC 2013) Ravinnekuormitusta pienentäisi esimerkiksi se, että pellot olisivat talvella kasvipeitteisiä. Fosfaattifosforin pitoisuus oli kaikissa järvissä niin pieni, että se

oli lähellä määrittärajaa. Suurimmillaan sen pitoisuus oli $7 \mu\text{g l}^{-1}$ Leheessä kesäkuussa 2004, mutta muuten se oli kaikissa järvissä koko tutkitun ajan noin $2\text{--}3 \mu\text{g l}^{-1}$ (taulukko 10). Fosforin puute alkaa yleensä vaikuttaa kasvunopeuteen, kun sen pitoisuus on alle $3 \mu\text{g l}^{-1}$ ($<0,1 \mu\text{M P}$) (Reynolds 2006). Liukoisten ravinteiden osalta on muistettava, että mitatut pitoisuudet voivat olla todellista korkeammat.

Ormajärvessä ja Suolijärvessä nitraatti- ja nitriittipitoisuudet pysyivät melko korkeina koko kasvukauden ajan, mikä voi selittää sen, etteivät nämä järvet olleet typpirajoitteisia. Leheessä, Pyhäjärvässä ja Iso-Roineessa puolestaan nitraatin ja nitriitin pitoisuudet olivat pieniä kesäkuusta syyskuuhun vuonna 2004 verrattuna toukokuun 2005 pitoisuuksiin. Se on yleistä pohjoisen lauhkean vyöhykkeen järvissä (Hyenstrand ym. 1998). Kun Leheen, Pyhäjärven ja Iso-Roineen päällisveden nitraatti- ja nitriittipitoisuudet pienenevät kesän edetessä, olisi voinut olettaa typen alkavan rajoittaa levien kasvua. Kenties niiden pitoisuudet eivät kuitenkaan laskeneet levien kasvua rajoittavalle tasolle tai levien kasvua rajoitti jokin muu kuin käytettävissä olevat typpiyhdisteet. Myös ammoniumtypen pitoisuudet olivat ajoittain hyvin pienet Ormajärvessä, Leheessä, Pyhäjärvässä ja Iso-Roineessa (taulukko 10). Pyhäjärvässä ja Iso-Roineessa kokonaistyyppipitoisuus pieneni vuonna 2004 kesä-, heinä- ja elokuussa (liite 1, kuvat 13 ja 15), mikä johtui todennäköisesti denitrifikaatiosta ja typen sedimentaatiosta. Rissanen ym. (2013) havaitsivat, että mitä pidempi järven viipymä on, sitä enemmän järveen pidättyy typpeä. Syyskuussa 2004 typpipitoisuudet ovat kasvaneet todennäköisesti syystäyskierron takia, koska kesällä 2004 kerrostuneisuus saattoi olla heikko viileän ja sateisen sään takia (Ojala ym. 2011). Kokonaistypen pitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut kaikissa viidessä järvissä suurta vaihtelua kasvukauden aikana toukokuuta 2005 lukuun ottamatta (taulukko 10). Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaan typen poistoa teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesistä tehostetaan silloin, kun typpikuorman vähentämisellä voidaan parantaa vesien tilaa (Ympäristöministeriö 2007). Koska järviketjun perustuotanto ei ole tämän tutkimuksen perusteella typpirajoitteinen, typpikuormituksen pienentämisestä ei olisi merkittävää hyötyä rehevöitymisen

estämisessä näillä järvillä. Molempien ravinteiden kuormituksen pienentäminen Kokemäenjoen valuma-alueella voisi kuitenkin hillitä Selkämeren rehevöitymistä (Andersen ym. 2011).

Vuonna 2004 levätestien fosforikäsittelyissä esiintyi inhibitiota, mikä oli odottamaton tulos. Inhibitiota oli Suolijärven, Leheen ja Pyhäjärven levätestien lisäksi myös Ormajärven levätesteissä (kuva 2, taulukko 7). Tilastollisten testien tulokset eivät kuitenkaan olleet selkeät Ormajärven osalta (taulukot 5 ja 6). Kirjallisuudessa esitetään levätesteissä esiintyvälle inhibitiolle syiksi mm. reagenssien pilaantumista (Ohki ym. 1986) ja luonnossa esiintyviä raskasmetalleja (Kuwabara 1985, Knauer & Hemond 2000). Myös se, että järvivesi autoklavoitiin ennen suodatusta, on voinut muuttaa veden kemiaa tavalla, joka on edesauttanut inhibitiota. Ohki ym. (1986) osoittivat, että epäorgaanisen fosfaatin lisäyksillä oli suurehkoina määrinä myrkyllinen vaikutus moniin merissä esiintyviin leviin, mutta se johtui ainakin osittain reagenssin kontaminoitumisesta raskasmetalleilla. Omassa tutkimuksessani synteettisen kasvatusliuoksen valmistuksessa (liite 2, s. 44) käytettiin samaa kaliumdivetyfosfaattia kuin levätestien fosforikäsittelyissä. Lisäksi vuonna 2004 ravinnelisäykset valmistettiin samalla tavalla kuin toukokuussa 2005, jolloin levätesteissä ei ilmennyt inhibitiota (taulukko 7).

Ravinnerajoitteisuuden viittaavia tuloksia olisi voinut odottaa useammassa levätestissä inhibitiosta huolimatta. Yleensä ravinnelisäykset aiheuttavat kasvuvasteen joka saannossa tai kasvunopeudessa tai molemmissa. Tällaisissa batch-viljelmissä, joissa ravinteet lisätään (usein melko suurena) kerta-annoksena, levät kasvavat eksponentiaalisesti. Samalla levät kuluttavat ravinteita, kunnes jotain ravinnetta on kasvatusalustassa niin vähän, että se alkaa rajoittaa levien kasvua. Muutos kasvunopeudessa voi olla niin äkillinen, että sitä on vaikea havaita 2-3 päivän välein otetuilla näytteillä. (O'Brien ym. 1972) Kenttäkokeissa kasviplanktonin kasvunopeudessa ja saannossa voi useammin havaita eroja, koska ravinteet täydentyvät jatkuvasti ja ovat pienempinä pitoisuuksina kuin batch-viljelmissä (Maberly ym. 2002). Jos populaatio ei reagoi ravinnelisäyksiin, sen kasvuympäristössä on riittävästi ravinteita eli joko se kasvaa maksiminopeudella

ympäristötekijöiden tilapäisesti rajoittamatta tai jokin muu tekijä, esimerkiksi valo, rajoittaa sitä (Lewis 2000). Levätesteissäni hyllyn etualalla ollessaan kasvatukset saivat eniten valoa. Koska jokaisesta käsittelystä oli viisi toistoa ja pullojen paikkoja vaihdettiin satunnaisesti yleensä kerran päivässä, jokainen käsittely sai oletettavasti keskimäärin saman verran valoa. Myös ravinteiden saatavuus on voinut rajoittaa levien kasvua, jos ravistelu ei ollut riittävää, koska solut voivat ottaa ravinteita vain aivan solun läheltä. Jatkuva ravistelu ja yhtä voimakas valo olisivat parantaneet tulosten luotettavuutta. Toisaalta toukokuussa 2005 ravistelu, valaistus ja lämpötila olivat samanlaiset kuin vuonna 2004, mutta silti toukokuussa 2005 esiintyi ravinnerajoitteisuutta useammin kuin vuonna 2004. Inhibitio saattoi kuitenkin peittää fosforirajoitteisuuteen viittaavia tuloksia vuonna 2004. Typpirajoitteisuutta ei olisi esiintynyt ilman inhibitiotakaan, koska levätestien typpikäsittelyjen saannot ja kasvunopeudet eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi suurempia eivätkä pienempiä kuin kontrolli (taulukko 4).

Vanhemmissa tutkimuksissa on myös havaittu fosfaattilisäysten inhihoivan levien kasvua minimiravinnetesteissä veden luonnollisesti alhaisesta fosforipitoisuudesta huolimatta (Hamilton 1969). Hamilton (1969) ja myöhemmin myös Lehman (1976) epäili inhibition johtuvan siitä, että ravinne lisättiin leväviljelmiin tai järviveteen fosforin kaliumsuolana. Omassa työssäni ravinnelisäykset nostivat järvivesien pH:ta vain 0,01-0,09. Ympäristön kaliumionipitoisuudet voivat olla myrkyllisiä esimerkiksi monille *Dinobryon*-lajeille. Siten ne rajoittavat sekä levien maantieteellistä että vuodenaikaista esiintymistä. (Lehman 1976) Lean & Pick (1981) puolestaan tulkitsivat minimiravinnekokeissa ilmenevän inhibition olevan vain terveiden levien normaali vaste ravinnelisäykselle. Levät vain siirtyivät äkillisesti hiilen yhteyttämisestä vastikään lisääntyneiden ravinteiden ottoon ja varastointiin (Lean & Pick 1981). Inhibitiota oli kuitenkin vain vuonna 2004 tehdyissä levätesteissä eikä silloinkaan kaikissa järvissä, vaan neljässä ensimmäisessä: Ormajärvessä, Suolijärvessä, Leheessä ja Pyhäjärvässä. Iso-Roineessa eli järviketjun suuressa, kirkasvetisessä päätyjärvässä fosforilisäys ei aiheuttanut tilastollisesti merkitsevää inhibitiota eikä muitakaan havaittavia tuloksia. Käytetty koejärjestely oli niin pitkälle pelkistetty, että ainoa asia, joka

kokeessa muuttui, oli järvivesi itsessään; koelevä oli aina sama ja kasvatuskaappi lämpö- ja valaistusoloiheen pysyi samana. Laskin myös itse kaikki näytteet satunnaisessa järjestyksessä, joten inhimillisten määrityserojen ja odotusten vaikutus oli minimoitu. Inhibitiotuloksen aiheuttajan on siis oltava peräisin järvistä tai niiden valuma-alueelta. Se voi olla jotain, joka reagoi kaliumdivetyfosfaatin kanssa tai muuten vaikutti leviin vain fosforikäsittelyissä.

Järviketjun kolmen ensimmäisen järven, Ormajärven, Suolijärven ja Leheen, levätesteissä ilmeni inhibitiota kesäkuusta syyskuuhun vuonna 2004 (kuva 1, s. 10). Pyhäjärven levätesteissä esiintyi inhibitiota elokuussa 2004 eli kaksi kuukautta myöhemmin. Jos inhibitiota aiheuttava tekijä on tullut järviketjuun valuma-alueelta esimerkiksi valunnan mukana, sitä on täytynyt tulla jo Ormajärven valuma-alueelta. Vuonna 2004 satoi runsaasti kasvukaudella toukokuusta alkaen, ja kesäkuun lopusta heinäkuun loppuun välisenä aikana esiintyi lisäksi paikallisia tulvia aiheuttaneita rankkasateita (Ilmatieteenlaitos 2004a,b). Lammin seudulla kesäaikainen sademäärä kaksinkertaistui vuonna 2004 (Ojala ym. 2011). Ensimmäiset levätestit tehtiin kesäkuussa ennen rankkasateiden alkua, mutta epäpuhtauksia on voinut tulla järviin jo keväällä sulamisvesien myötä ja alkukesän sateiden mukana. Tilavuudeltaan suureen Pyhäjärveen (0,0953 km³, OIVA 2014) tulleet aineet ovat laimentuneet enemmän kuin pienempiin Suolijärveen (0,0095 km³, OIVA 2014) ja Leheeseen (tilavuus ei tiedossa). Siksi inhibitiota oli Pyhäjärven levätesteissä myöhemmin kuin järviketjun aiemmissa järvissä. Pyhäjärven levätesteissä inhibitio oli voimakkainta syyskuussa 2004 (kuva 6), kun taas Suolijärven ja Leheen levätesteissä inhibitio oli voimakkaimmillaan kesäkuussa 2004 (kuvat 3, 4 ja 5). Kesäkuun jälkeen inhibitio heikkeni Suolijärven ja Leheen levätesteissä joka kuukausi syyskuuhun 2004 asti eli haitta-aine oli kulkeutunut järviketjussa eteenpäin tai sedimentoitunut alkupään järvissä. Iso-Roineen levätestit saattoivat säästyä inhibitiolta sen takia, että sen tilavuus on suurin ketjun järvistä (0,2213 km³, OIVA 2014) (taulukko 1). Iso-Roineeseen laskee tässä tutkitun järviketjun lisäksi vesiä myös koillisesta.

Tässä tutkimuksessa käytetyillä levätesteillä ja muilla menetelmillä ei saanut tietoa inhibition aiheuttajasta. Todennäköisesti inhibition on kuitenkin aiheuttanut jokin järvisedessä oleva epäpuhtaus, kuten esimerkiksi raskasmetalli. Raskasmetallien myrkyllisyys vaihtelee paljon ympäristön olosuhteiden mukaan (Wetzel 2001). Esimerkiksi humusaineet voivat sitoa metalleja ja vähentävää siten niiden myrkyllisyyttä, mutta samalla välttämättömien metallihivenaineiden saatavuus huonontuu (Jones 1998). Liunneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuus Ormajärven pintavedessä oli vuoden 2004 avovesikaudella keskimäärin $8,1 \text{ mg l}^{-1}$ (Ojala ym. 2011). Mikroravinteisiin kuuluu useita metalleja, joiden saatavuus luonnollisissa vesistöissä vaihtelee puutteesta myrkyllisiin pitoisuuksiin. Esimerkiksi vanadiinia ja bariumia tarvitaan niin pieniä määriä, että niitä ei tarvitse lisätä kasviplanktonin kasvatusliuoksiin, koska niitä on riittävästi jo epäpuhtauksina. (Reynolds 2006) Vanadiinin myrkyllisyys puolestaan johtuu siitä, että vanadaatti-ioni on rakenteeltaan fosfaatti-ionin kaltainen ja inhiboi ATPaasien toimintaa ja fosforylaatiota. (Nelson & Cox 2000). Järviketjun järvistä tiettävästi vain Iso-Roineesta on tutkittu metallien pitoisuuksia, mutta tutkimus on tehty 1980-luvulla. Sinkkiä löytyi silloin tuottavasta kerroksesta enimmillään $8 \mu\text{g l}^{-1}$ (OIVA 2014). Uudemmassa tutkimuksessa on mitattu Lammilla Ormajärven läheltä pintamaasta sinkkipitoisuudeksi $400\text{--}430 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tarvainen 2011). Se on tärkeä hivenaine entsyymaattisissa tai sytokromin reaktioissa samoin kuin esimerkiksi kupari ja koboltti, mutta ne ovat kaikki myös myrkyllisiä yli 10 nmol l^{-1} pitoisuuksissa (Reynolds 2006, s. 167). *Selenastrum capricornutum* -levällä (nykyiseltä nimeltään siis *Pseudokirchneriella subcapitata*) tehdyssä tutkimuksessa kohonneet sinkkipitoisuudet häiritsivät levän kasvua eri vaiheissa (Kuwabara 1985). Myöhemmässä tutkimuksessa Kuwabara ym. (2007) havaitsivat, että lag-vaihe piteni myös eräillä muilla levälajeilla merkittävästi sinkkipitoisuuden kasvaessa. Levätesteissäni inhibitiota esiintyi enimmäkseen kasvunopeuksissa ja kerran saannossa. Lisäksi elokuussa 2004 Suolijärven levätestin fosforikäsittelyssä kasvunopeudessa oli inhibitiota, mutta saanto osoitti lievää fosforirajoitettisuutta (kuvat 3 ja 4). Kuwabara (1985) havaitsi *S. capricornutum* -levällä näennäisen saantoon vaikuttavan fosforirajoitettisuuden johtuneen kohonneista sinkkipitoisuuksista. Sinkki siis häiritsee levien

fosforimetabolialla (Kuwabara 1985). Myöhemmissä tutkimuksissa Kuwabara ym. (2007) havaitsivat että, kun sinkin biosaatavuus lisääntyy, fosforin käyttö estyy ja päinvastoin eli, kun fosfaatin biosaatavuus paranee, sinkin toksisuus lieventyy. Omassa tutkimuksessani fosfaattipitoisuuksia ja inhibition voimakkuutta on vaikea verrata, koska fosfaattipitoisuudet olivat useimmiten lähellä määritysrajaa.

Myös arseenin on havaittu inhihoivan levien kasvua. *Chlorella* sp.-viherlevällä tehdyssä arseenialtistuskokeessa lag-vaihe oli sitä pidempi, mitä pienempi fosforipitoisuus oli, vaikka arseenipitoisuus oli sama. Suhteellisen korkea fosforipitoisuus ei kuitenkaan suojannut soluja arseenin myrkyllisyydeltä (Knauer & Hemond 2000). Hämeessä on kallioperässä runsaasti arseenia (GTK 2012). Levät siis saattoivat ottaa vedestä arsenaattia fosfaatin sijasta, koska arsenaatti-ioni on analoginen fosfaatti-ionin kanssa (Nelson & Cox 2000). OIVA-tietopalvelussa ei ole tutkimustuloksia arseenipitoisuuksista järviketjun järvissä. Toisaalta inhibition aiheuttaja on ilmeisesti tullut järviin kesällä 2004 runsaiden sateiden seurauksena, koska inhibitio heikkeni kesästä syksyyn vuonna 2004 ja toukokuussa 2005 inhibitiota ei enää esiintynyt levätesteissäni. Siksi vanhoista järvivesianalyyseistä tai uusista näytteenotoista ei olisi hyötyä inhibition aiheuttajan selvittämisessä. Levätesteitä varten vuonna 2004 otettujen järvivesinäytteiden arseeni- tai sinkkipitoisuuksia olisi voinut mitata sen jälkeen, kun inhibitio havaittiin. Jos jotain haitta-ainetta olisi löytynyt niistä näytteistä, jatkotutkimuksena olisi voinut tehdä kyseisen haitta-aineen altistuskokeen *P. subcapitata* –levälle yhdessä ravinnelisäysten kanssa.

Yhteenvedon tulokset osoittivat, että Suolijärvi, Lehee ja Pyhäjärvi ovat fosforirajoitteisia ainakin kasvukauden alussa. Fosforirajoitteisuus oli sitä voimakkaampaa, mitä pidempi oli järven viipymä. Tulokset vahvistivat perinteistä näkemystä siitä, että boreaalisen vyöhykkeen järvet ovat fosforirajoitteisia. Keväällä sulamisvesien aiheuttaman fosforikuormituksen pienentämisellä olisi vaikutusta perustuotannon määrään ainakin osassa järviketjua. Typpikuormituksen pienentämisestä ei olisi merkittävää hyötyä rehevöitymisen estämisessä tutkituilla järvillä, koska typpirajoitteisuutta ei havaittu. Järviketjun

alapuolisessa vesistöissä tai Selkämerellä molempien ravinteiden kuormituksen pienentäminen voisi kuitenkin hillitä rehevöitymistä. Fosforirajoitteisuuteen viittaavia tuloksia olisi voinut odottaa useammassa levätestissä joissakin fosforikäsittelyissä esiintyneestä inhibitiosta huolimatta. Inhibition aiheuttaja on todennäköisesti tullut järviin valuma-alueelta kesällä 2004 runsaiden sateiden seurauksena. Se voi olla esimerkiksi sinkki tai arseeni. Ormajärven läheltä on pintamaasta mitattu korkeita sinkkipitoisuuksia (Tarvainen 2011) ja Hämeessä on kallioperässä runsaasti arseenia (GTK 2012).

5. Kiitokset

Suuret kiitokset Ph.D. Anne Ojalalle työni kärsivällisestä ohjauksesta. Kiitokset Lammin biologisen aseman tutkijoille ja henkilökunnalle: näytteitä puolestani hakeneille tutkimusteknikko Pertti Saaristolle, FM Eeva Huitulle ja FM Suvi Mäkelälle, ravinteiden analysoinnista ja avusta laboratoriotyöskentelyssä erikoislaboratoriomestareille Riitta Ilolalle ja Jaakko Vainionpäälle sekä neuvoista ja muusta avusta FT Tiina Tuloselle, professori Lauri Arvolalle ja amanuenssi Ilpo Hakalalle. Ph.D. Juha Mikolalta sain korvaamatonta apua tilastollisiin analyyseihin.

Kiitos Lasselle tuesta ja kärsivällisyydestä sekä rauhallisten kirjoitushetkien järjestämisestä. Kiitos äidilleni kaikenlaisesta tuesta opiskelujen aikana ja kiitos isälle kannustuksesta. Haluan kiittää myös Marja-Liisaa ja Reinoaa merkittävästä lastenhoitoavusta.

6. Kirjallisuus

- Andersen, J.H., Axe, P., Backer, H., Carstensen, J., Claussen, U., Fleming-Lehtinen, V., Järvinen, M., Kaartokallio, H., Knuuttila, S., Korpinen, S., Kubiliute, A., Laamanen, M., Lysiak-Pastuszek, E., Martin, G., Murray, C., Möhlenberg, F., Nausch, G., Norkko, A. & Villnäs, A. 2011: Getting the measure of eutrophication in the Baltic Sea: towards improved assessment principles and methods. – *Biogeochemistry*. 106:137-156.
- Beardall, J., Young, E. & Roberts, S. 2001: Approaches for determining phytoplankton nutrient limitation. – *Aquatic Sciences* 63: 44-69.
- Becker, E.W. 1994: *Microalgae. Biotechnology and Microbiology*. – Cambridge University Press, Cambridge, Iso-Britannia. 293 s.
- Chiaudani, G. & Vighi, M. 1974: The N:P ratio and tests with Selenastrum to predict eutrophication in lakes. – *Water Research* 8: 1063-1069.
- D'Elia, C.F., Steudler, P.A. & Corwin, N. 1977: Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. – *Limnology and Oceanography* 22:760-764.
- Dzialowski, A.R., Wang, S.-H., Lim, N.-C., Spotts, W.W. & Huggins, D.G. 2005: Nutrient limitation of phytoplankton growth in central plains reservoirs, USA. – *Journal of Plankton Research* 27: 587-595.
- Elser, J.J., Bracken, M.E.S., Cleland, E.E., Gruner, D.S., Harpole, W.S., Hildebrand, H., Ngai, J.T., Seabloom, E.W., Shurin, J.B. & Smith, J.E. 2007: Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. – *Ecology Letters* 10: 1135-1142.
- Fleming-Lehtinen, V., Laamanen, M., Kuosa, H., Haahti, H. & Olsonen, R. 2008: Long-term development of inorganic nutrients and chlorophyll α in the open Northern Baltic Sea. – *Ambio* 37: 86-92.
- Forsberg, C., Ryding, S.-O., Claesson, A. & Forsberg, Å. 1978: Water chemical analyses and/or algal assay? – Sewage effluent and polluted lake water studies. - *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 21: 352-363.
- Granéli, E. 1978: Algal assay of limiting nutrients for phytoplankton production in the Öresund. – *Vatten* 2: 117-127.
- Grasshoff, K., Kremling, K. & Ehrhardt, M. 2009: *Methods of Seawater Analysis*. 3. painos. – Wiley-VCH, Weinheim, Saksa. 632 s.
- Geologian tutkimuskeskus (GTK) 2012: Valtakunnallinen taustapitoisuusrekisteri (TAPIR). www.gtk.fi/tapir (Päivitetty 3.12.2012)
- Hamilton, D.H.Jr. 1969: Nutrient limitation of summer phytoplankton growth in Cayuga Lake. - *Limnology and Oceanography* 14: 579-590.
- Hanski, I., Lindström, J., Niemelä, J., Pietiläinen, H. & Ranta, E. 1998: *Ekologia*. – WSOY, Juva. 508 s.
- Hecky, R.E., Campbell, P. & Hendzel, L.L. 1993: The stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in particulate matter of lakes and oceans. – *Limnology and Oceanography* 38: 709-724.
- Hecky, R.E., & Kilham, P. 1988: Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. – *Limnology and Oceanography* 33: 796-822.

- Holland, D., Roberts, S. & Beardall, J. 2004: Assessment of the nutrient status of phytoplankton: a comparison between conventional bioassays and nutrient-induced fluorescence transients (NIFTs). – *Ecological Indicators* 4: 149-159.
- Hyenstrand, P., Blomqvist, P. & Pettersson, A. 1998: Factors determining cyanobacterial success in aquatic systems – a literature review. – *Archiv für Hydrobiologie. Special Issues Advances in Limnology* 51: 41–62.
- Ilmatieteenlaitos 2004a: *Ilmastokatsaus 08/04* – 9. vuosikerta. 12 s.
- Ilmatieteenlaitos 2004b: *Ilmastokatsaus 09/04* – 9. vuosikerta. 8 s.
- Ilmavirta, V., Persson P.-E. & Kettunen, J. 1990: Haitallisten levien ja leväkukintojen hallinta. – Teoksessa: Ilmavirta, V. (toim.), *Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet*. Yliopistopaino, Helsinki. 441 s.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2013: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. – Cambridge University Press, Cambridge, Iso-Britannia. 1535 s.
- Jones, R.I. 1998: Phytoplankton, primary production and nutrient cycling. – Teoksessa: Hessen, D.O. & Tranvik, L.J. (toim.): *Aquatic Humic Substances. Ecology and Biogeochemistry*. Springer, Berliini. 346 s.
- Kairesalo, T. & Vakkilainen, K. 2004: Lake Vesijärvi and the city of Lahti (southern Finland): comprehensive interactions between the lake and the coupled human community. – *SILnews* 41: 1-5.
- Kalff, J. 2002: *Limnology*. – Prentice-Hall, Inc. USA. 592 s.
- Kilham, P. & Hecky, R.E. 1988: Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton. – *Limnology and Oceanography* 33: 776-795.
- Kilham, S., Kreeger, D., Lynn, S., Goulden, C. & Lazaro, H. 1998: COMBO: a defined freshwater culture medium for algae and zooplankton. – *Hydrobiologia* 377: 147-159
- Knauer, K. & Hemond, H. 2000: Accumulation and reduction of arsenate by the freshwater green alga *Chlorella* sp. (Chlorophyta). – *Journal of Phycology* 36: 506-509.
- Koroleff, F. 1983: Determination of phosphorus. – Teoksessa: Grasshoff, K., Ehrhardt, M. & Kremling, K. (toim.), *Methods of Seawater Analysis*: 125-136. Verlag Chemie, Saksa.
- Krienitz, L., Bock, C., Nozaki, H. & Wolf, M. 2011: SSU rRNA gene phylogeny of morphospecies affiliated to the bioassay alga "Selenastrum capricornutum" recovered the polyphyletic origin of crescent-shaped Chlorophyta. – *Journal of Phycology* 47: 880-893.
- Kuwabara, J. 1985: Phosphorus-zinc interactive effects on growth by *Selenastrum capricornutum* (Chlorophyta). – *Environmental Science & Technology* 19: 417-421.
- Kuwabara, J., Topping, B., Woods, P. & Carter, J. 2007: Free zinc ion and dissolved orthophosphate from Couer d'Alene Lake, Idaho. – *Environmental Science & Technology* 41: 2811-2817.
- Lean, D.R.S. & Pick, F.R. 1981: Photosynthetic response of lake plankton to nutrient enrichment: A test for nutrient limitation. – *Limnology and Oceanography* 26: 1001–1019.

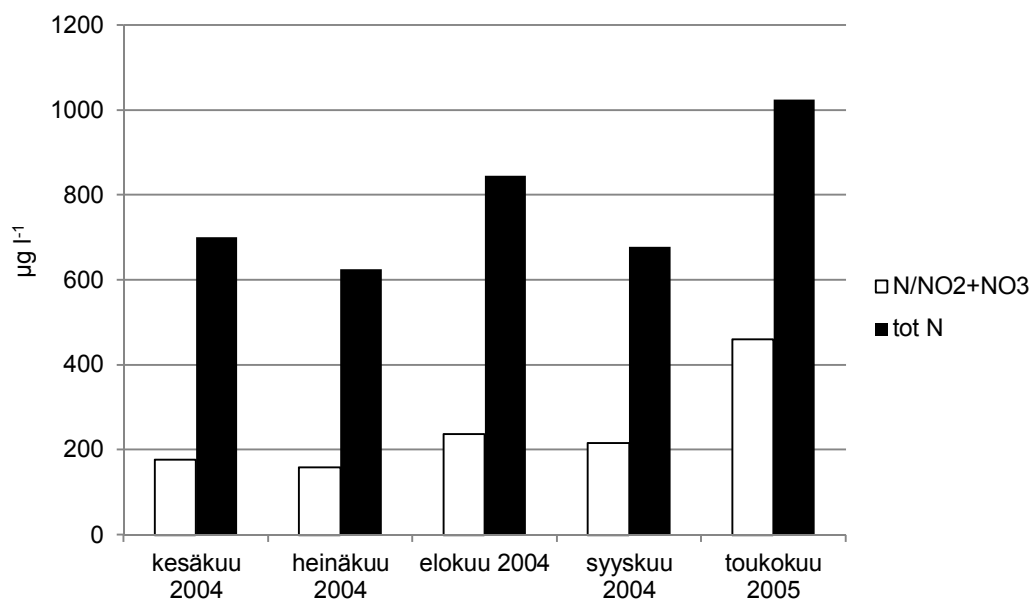
- Lehman, J.T. 1976: Ecological and nutritional studies on Dinobryon Ehrenb.: Seasonal periodicity and the phosphate toxicity problem. – *Limnology and Oceanography* 21: 646-658.
- Lewis, W.M. 2000: Basis for protection and management of tropical lakes. – *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 5: 35-48.
- López, E.L. & Dávalos-Lind, L. 1998: Algal growth potential and nutrient limitation in a tropical river-reservoir system of the Central Plateau, Mexico. – *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 345-351.
- Lund, J.W.G 1959: A simple counting chamber for nanoplankton. – *Limnology and Oceanography* 4: 57-65.
- Lund, J.W.G. & Talling, J.F. 1957: Botanical limnological methods with special reference to the algae. – *The Botanical Review* 23:489-589.
- Maberly, S.C., King, L., Dent, M.M., Jones, R.I. & Gibson, C.E. 2002: Nutrient limitation of phytoplankton and periphyton growth in upland lakes. – *Freshwater Biology* 47: 2136-2152.
- Martin, J.H., Gordon, R.M. & Fitzwater, S.E. 1991: The case for iron. – *Limnology and Oceanography* 36: 1793-1802.
- Mauseth, J.D. 1998: *Botany: An Introduction to Plant Biology*. 2. painos – Jones and Bartlett Publishers, USA. 794 s.
- Miller, W., Greene, J. & Shiroyama, T. 1978: *The Selenastrum capricornutum Printz algal assay bottle test. Experimental design, application, and data interpretation protocol*. – United States Environmental Protection Agency. EPA-600/9-78-018. 126 s.
- Murphy, J., & Riley, J.P. 1962: A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. – *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Mäkelä, S., Huitu, E. & Arvola, L. 2004: Spatial patterns in aquatic vegetation composition and environmental covariates along chains of lakes in the Kokemäenjoki watershed (S. Finland). – *Aquatic Botany* 80: 253-269.
- Nelson, D.L. & Cox, M.M. 2000: *Lehninger Principles of Biochemistry*. 3. painos. – Worth Publishers, USA. 1152 s.
- North, R.L., Guildford, S.J., Smith, R.E.H., Havens, S.M. & Twiss, M.R. 2007: Evidence for phosphorus, nitrogen, and iron colimitation of phytoplankton communities in Lake Erie. – *Limnology and Oceanography* 52: 315-328.
- O'Brien, W.J. 1972: Limiting factors in phytoplankton algae: their meaning and measurement. – *Science* 178: 616-617.
- Ohki, K., Rueter, J.G. & Fujita, Y. 1986: Cultures of the pelagic cyanophytes *Trichodesmium erythraeum* and *T. thiebautii* in synthetic medium. – *Marine Biology* 91: 9-13.
- OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu (valtion ympäristöhallinnon virastot) 2014: <http://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> (Aineisto otettu tietopalvelusta 29.5.2014).
- Ojala, A., Kokkonen, S. & Kairesalo, T. 2003: The role of phosphorus in growth of phytoplankton in Lake Vesijärvi, southern Finland – a multitechnique approach. – *Aquatic Sciences* 65: 287-296.
- Ojala, A. López Bellido, J., Tulonen, T., Kankaala, P. & Huotari, J. 2011: Carbon gas fluxes from a brown-water and a clear-water lake in the boreal zone

- during a summer with extreme rain events. – *Limnology and Oceanography* 56: 61-76.
- Peltomaa, E. & Ojala, A. 2010: Size-related photosynthesis of algae in a strongly stratified humic lake. – *Journal of Plankton Research* 32: 341-355.
- Pietiläinen, O.-P. 2004: Kasviplanktonin kasvatuskokeet. – Teoksessa: Ruoppa, M. & Heinonen, P. (toim.) 2004: *Suomessa käytetyt biologiset vesitutkimusmenetelmät*. Suomen ympäristö 682. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki. 119 s.
- Pålsson, C. & Granéli, W. 2004: Nutrient limitation of autotrophic and mixotrophic phytoplankton in a temperate and tropical humic lake gradient. – *Journal of Plankton Research* 26: 1005-1014.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989: *Biometria – Tilastotiedettä ekologeille*. – Yliopistopaino, Helsinki, Suomi. 569 s.
- Redfield, A.C. 1958: The biological control of chemical factors in the environment. – *American Scientist* 46: 205-222.
- Reynolds, C.S. 2006: *Ecology of Phytoplankton*. – Cambridge University Press, Cambridge, Iso-Britannia. 535 s.
- Rissanen, A.J., Tirola, M. & Ojala, A. 2011: Spatial and temporal variation in denitrification and in the denitrifier community in a boreal lake. – *Aquatic Microbial Ecology* 64: 27-40.
- Rissanen, A.J., Tirola, M., Hietanen, S. & Ojala, A. 2013: Interlake variation and environmental controls of denitrification across different geographical scales. – *Aquatic Microbial Ecology* 69: 1-16.
- Schelske, C.L., Rothman, E.O. & Simmons, M.S. 1978: Comparison of bioassay procedures for growth-limiting nutrients in the Laurentian Great Lakes. – *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 21: 65-80.
- Schindler, D.W. 1977: Evolution of phosphorus limitation in lakes. – *Science* 195: 260-262.
- Schindler, D.W. 1978: Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. – *Limnology and Oceanography* 23: 478-486.
- Sterner, R.W., Smutka, T.M., McKay, R.M.L., Xiaoming, Q., Brown, E.T. & Sherrell, R.M. 2004: Phosphorus and trace metal limitation of algae and bacteria in Lake Superior. – *Limnology and Oceanography* 49: 495-507.
- Stein, J. R. (toim.) 1973: *Handbook of Phycological Methods: Culture Methods and Growth Measurements*. – Cambridge University Press, Cambridge, Iso-Britannia. 448 s.
- Suull. tiedonanto, Tiina Tulonen, Lammin biologinen asema, Lammi.
- Tamminen, T. & Andersen, T. 2007: Seasonal phytoplankton nutrient limitation patterns as revealed by bioassays over Baltic Sea gradients of salinity and eutrophication. – *Marine Ecology Progress Series* 340: 121-138.
- Tarvainen, T. 2011: *Hämeenlinnan taajamageokemia*. – Hämeenlinnan ympäristöjulkaisu 17. 30 s.
- Tilman, D., Kilham, S.S. & Kilham, P. 1982: Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. – *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 349-372.

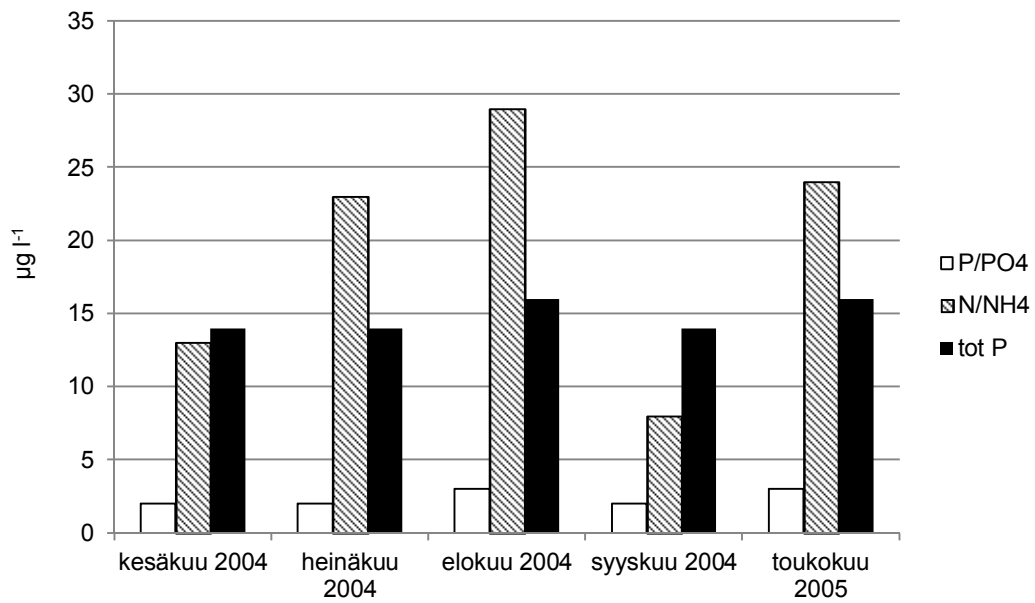
- Valpola, S.E. & Ojala, A.E.K. 2006: Post-glacial sedimentation rate and patterns in six lakes of the Kokemäenjoki upper watercourse, Finland. – *Boreal Environment Research* 11: 195-211.
- Wetzel, R.G. 2001: *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3. painos. – Academic Press, USA. 1006 s.
- Wood, E.D., Armstrong, F.A. & Richards, F.A. 1967: Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. – *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 47: 23-31.
- Ympäristöministeriö 2007: *Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015, Valtioneuvoston periaatepäätös*. – Ympäristöministeriö. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 90 s.

Liitteet

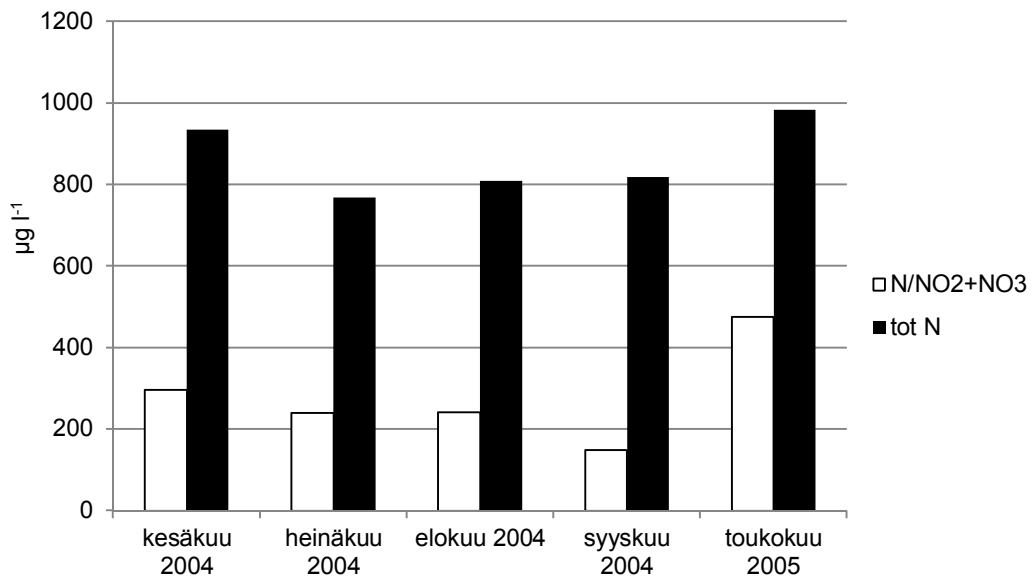
Liite 1. Tutkimieni järvien ravinnepitoisuuksia ($\mu\text{g l}^{-1}$) tuottavassa kerroksessa. Ammoniumtyypen pitoisuudet on esitetty samassa kuvassa fosfaattifosforin ja kokonaistypen kanssa, koska niiden pitoisuudet ovat samaa tasoa. Näytteenottoajat ja -syvyydet on kerrottu kappaleessa 2.2 ja analyysimenetelmät kappaleessa 2.3.



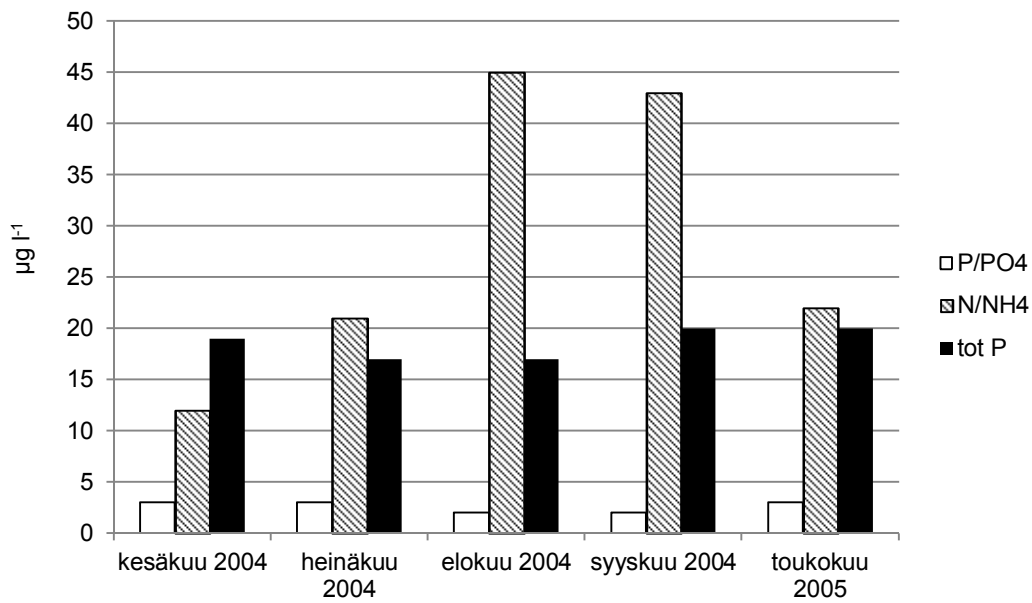
Kuva 7. Ormajärven nitraatti- ja nitriittityypen ($\text{N/NO}_2+\text{NO}_3$) sekä kokonaistypen (tot N) pitoisuudet ($\mu\text{g l}^{-1}$) tuottavassa kerroksessa.



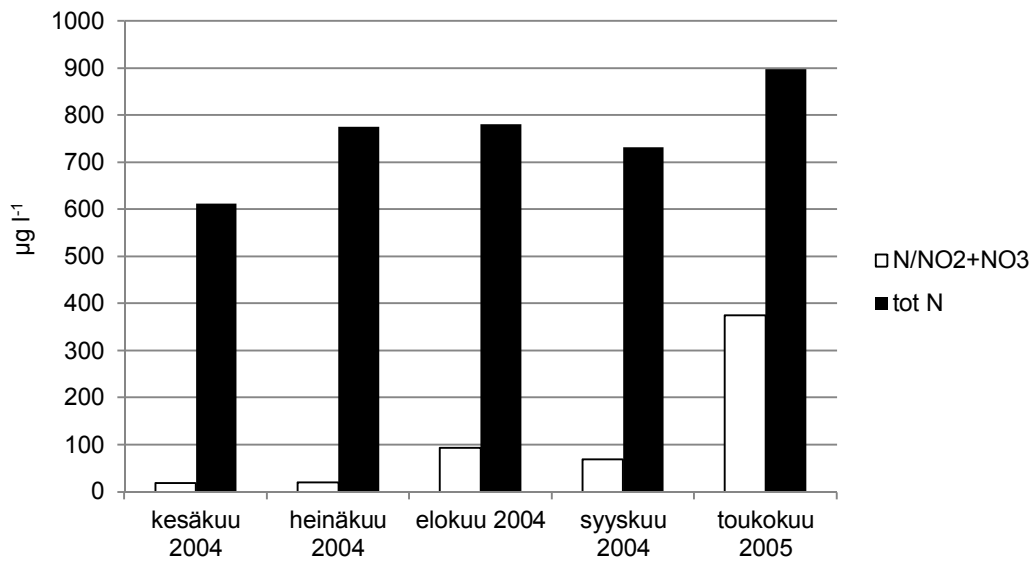
Kuva 8. Ormajärven fosfaattifosforin (P/PO₄), ammoniumtyypen (N/NH₄) ja kokonaisfosforin (tot P) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



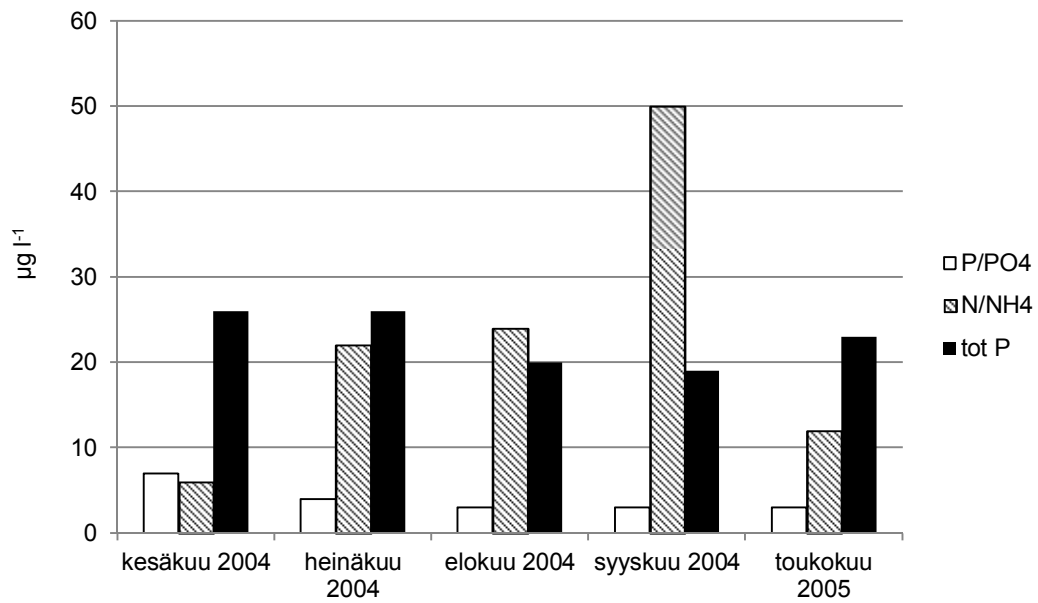
Kuva 9. Suolijärven nitraatti- ja nitriittityypen (N/NO₂+NO₃) sekä kokonaistypen (tot N) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



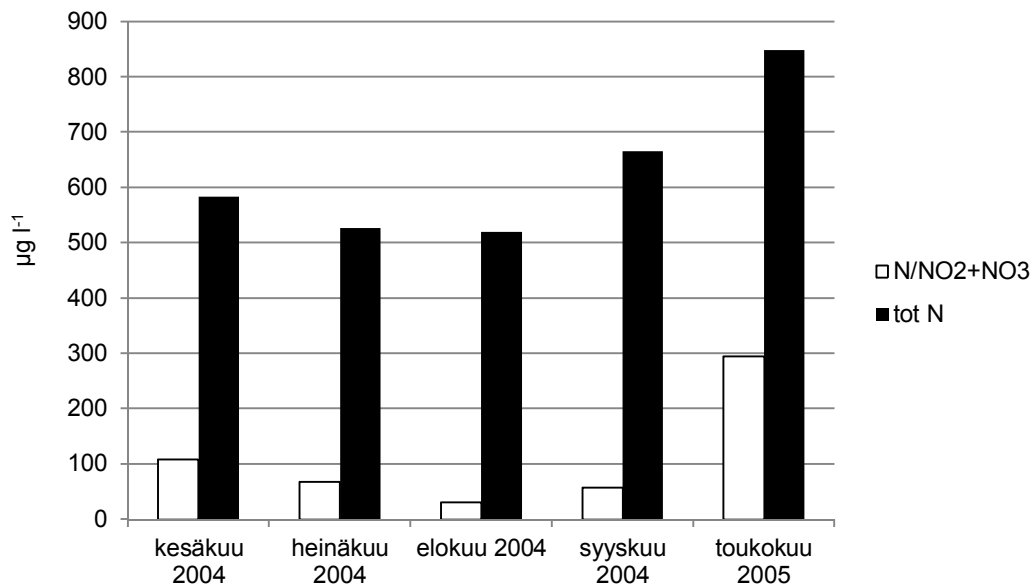
Kuva 10. Suolijärven fosfaattifosforin (P/PO₄), ammoniumtyypen (N/NH₄) ja kokonaisfosforin (tot P) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



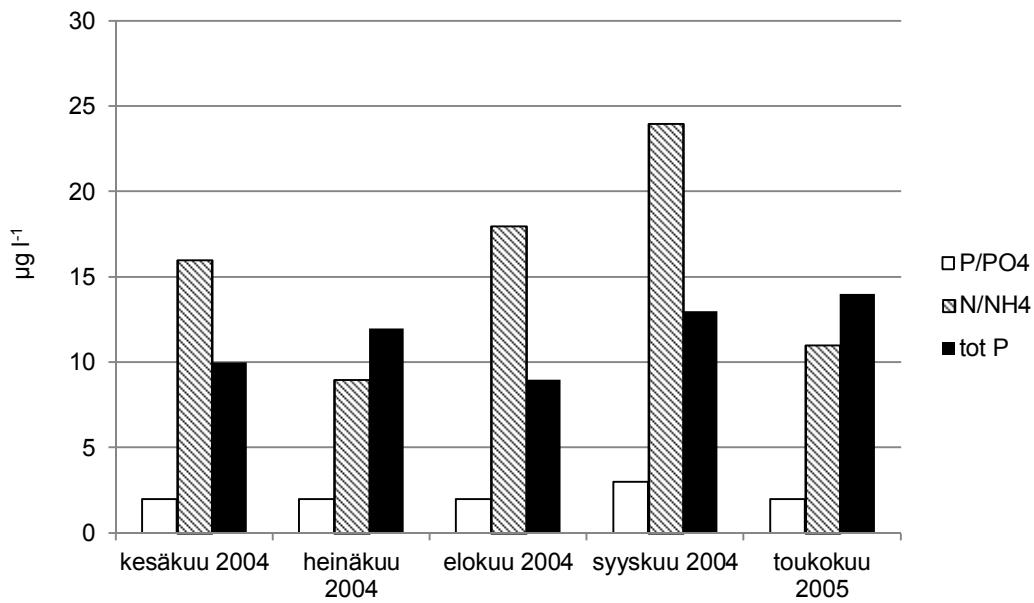
Kuva 11. Leheen nitraatti- ja nitriittityypen (N/NO₂+NO₃) ja kokonaistypen (tot N) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



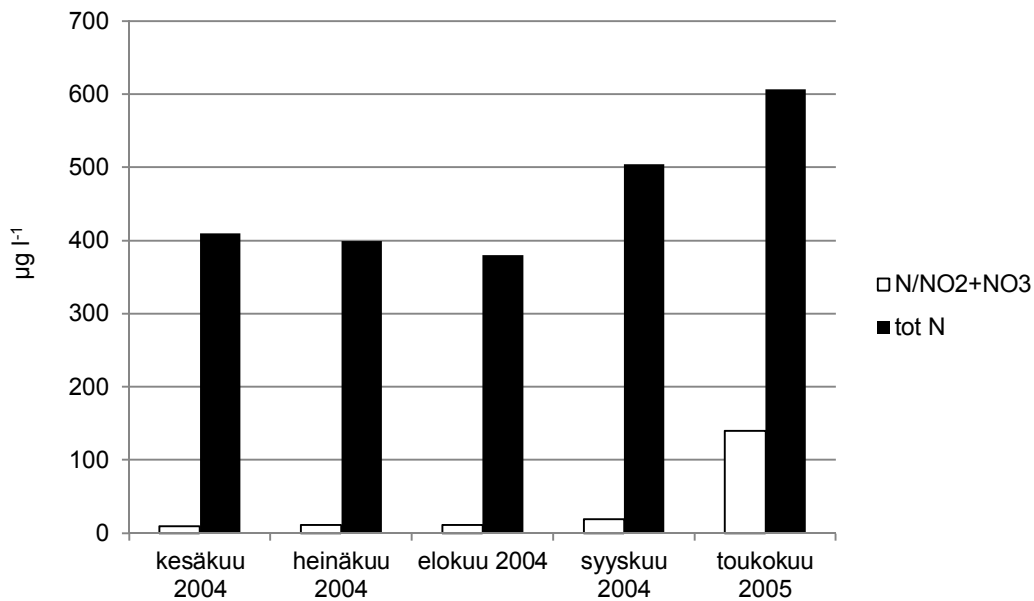
Kuva 12. Leheen fosfaattifosforin (P/PO₄), ammoniumtyyppen (N/NH₄) ja kokonais-fosforin (tot P) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



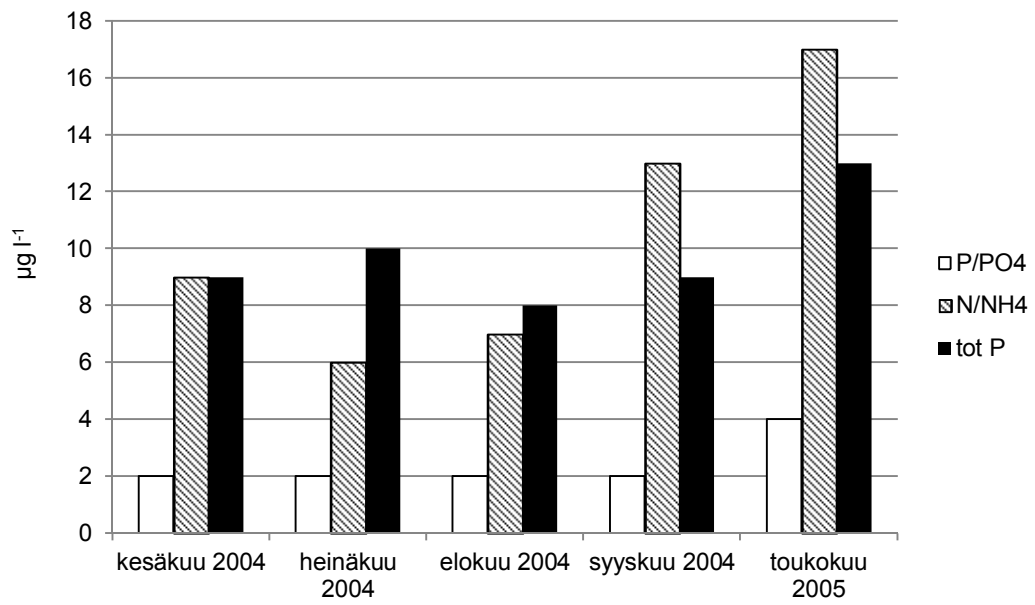
Kuva 13. Pyhäjärven nitraatti- ja nitriittityyppen (N/NO₂+NO₃) sekä kokonaistyyppen (tot N) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



Kuva 14. Pyhäjärven fosfaattifosforin (P/PO₄), ammoniumtyypen (N/NH₄) ja kokonaisfosforin (tot P) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



Kuva 15. Iso-Roineen nitraatti- ja nitriittityypen (N/NO₂+NO₃) ja kokonaistypen (tot N) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.



Kuva 16. Iso-Roineen fosfaattifosforin (P/PO₄), ammoniumtypen (N/NH₄) ja kokonaisfosforin (tot P) pitoisuudet (µg l⁻¹) tuottavassa kerroksessa.

Liite 2. *P. subcapitata* –viherlevän puhdasviljelmän ravinneliuoksen valmistusohje.

Ohjeen alkuperä ei ole tiedossa, mutta siinä mainitaan, että se on *Scenedesmus* –viherlevän ravinneliuos. Ravinneliuoksien valmistusohjeita levien puhdasviljelmiä varten on julkaistu useita (mm. Becker 1994, Kilham ym. 1998, Miller ym. 1978, Stein 1973).

Sakkaantumisen estämiseksi valmistetaan ensin deionisoituun veteen 6 kantaliuosta, jotka autoklavoidaan (30 min, T=121 °C, paine 1,21 bar). Huom! Kantaliuosta 1. säilytettävä huoneenlämmössä ja muita jääkaapissa. Hivenainekantaliuos (kantaliuos 5.) valmistetaan kahdesta osaliuoksesta A₄ ja B₇. 500 ml:aa osaliuosta A₄ ja 50 ml:aa osaliuosta B₇ yhdistetään ja laimennetaan 1 litraksi deionisoidulla vedellä.

	Kantaliuoksessa ao. ainetta g l ⁻¹	Kantaliuosta käyttöliuokseen ml l ⁻¹
Kantaliuos 1. KNO ₃	200	12,5
Kantaliuos 2. MgSO ₄ × 7 H ₂ O	100	5,0
Kantaliuos 3. KH ₂ PO ₄	27	5,0
Kantaliuos 4. FeSO ₄ × 7 H ₂ O	10	
C ₆ H ₅ Na ₃ O ₇ × 2 H ₂ O	20	2,0
Na ₂ - EDTA	20	
Kantaliuos 5. Hivenaineet	(ks. alempi ohje)	2,0
Kantaliuos 6. Ca(NO ₃) ₂ × 7 H ₂ O	2,36	10,0

Osaliuos A₄:

	mg l ⁻¹
H ₃ BO ₃	2860
MnCl × 4 H ₂ O	1810
ZnSO ₄ × 7 H ₂ O	222
CuSO ₄ × 5 H ₂ O	79

Osaliuos B7: seuraavat aineet liuotetaan 1 litraan 0,1 N H₂SO₄.

	mg l ⁻¹
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ × 4 H ₂ O	27
NH ₄ VO ₃	22
KCr(SO ₄) ₂ × 12 H ₂ O	96
NiSO ₄ × 6 H ₂ O	45
Co(NO ₃) ₂ × 6 H ₂ O	49
Na ₂ WO ₄ × 2 H ₂ O	18
TiCl ₃ (15 %)	0,22 ml

HELSINGIN YLIOPISTON YMPÄRISTÖTIEDEIDEN LAITOKSEN
(LAHTI) TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA (1.-17. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ)

- No. 1 1999 TURPEINEN RIINA: Mikrobiston vaikutus arseenin metylaatioon ja liikkuvuuteen maaperässä sekä mikrobiston arseeniresistenttiys. (pro gradu)
- No. 2 2000 RAILO HELENA: Kaatopaikkojen ympäristövaikutukset, esimerkkinä Pasilan kaatopaikka. (pro gradu)
- No. 3 2001 ONKILA HANNU: Tuhkan ja sen sisältämän kadmiumin vaikutukset metsämaan änkyrimatopopulaatioihin. (pro gradu)
- No. 4 2001 TÖRN ANNE: Kohotetun hiilidioksidipitoisuuden ja typpilannoituksen vaikutukset ombrotrofiseen suokasvillisuuteen. (pro gradu)
Effects of elevated CO₂ and increased N deposition on ombrotrophic bog vegetation
- No. 5 2001 HOVI SANNA: Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset pieniin järviin - paleolimnologinen selvitys. (pro gradu)
- No. 6 2001 ANTTILA SAKU: Päällyslevästön biomassan kertyminen eri ravinnetasoilla sekä vaikutukset veden ravinnepitoisuuksiin. (pro gradu)
- No. 7 2002 KOSKINEN SARI: Hiilidioksidialtistuksen vaikutukset järvikortteen (*Equisetum fluviatile*) ja järvikaislan (*Schoenoplectus lacustris*) aerobiseen ja anaerobiseen hajoamiseen. (pro gradu)
- No. 8 2002 KORKAMA TIINA: Maaperän hajottajaeliöyhteisön vuorovaikutussuhteet ja hajotustoiminta lyijyllä saastuneessa maassa. (pro gradu)
- No. 9 2002 LEHTIMÄKI ELENA: Auringonkukan vaikutus atrasiiniin ja simantsiiniin hajoamiseen kaupunkimaaperässä. (pro gradu)
- No. 10 2003 KAJALA SAIJA: Rihmamaisten syanobakteerien ja niiden toksiinien ravintoketjuvaikutukset. (pro gradu)
- No. 11 2003 TAHVANAINEN JUULIA: Elisa-konsernin ympäristökuormitustekijöiden nykytilan kartoitus.. (pro gradu)
- No. 12 2003 SUSILUOTO SANNAMAIIJA: Comparison of drought avoidance and tolerance strategies in *Eucalyptus microtheca*. (pro gradu)
- No. 13 2003 KUUKKA HANNA: Särjen ravinnon käytön vaikutus vedenlaatuun ja kasviplanktoniin. (pro gradu)
- No. 14 2003 FLYKT ENNI: Mineraaliöljy- ja bioöljypohjaisten hydraulikkaöljyjen vaikutukset boreaalisen metsämaan hajottajaravintoverkkoon. (pro gradu)
- No. 15 2003 HOLMA ANNE: Tuhkan ja typen vaikutukset kuusen (*Picea abies* L. Karst) ektomykorritsaan. (pro gradu)
- No. 16 2003 LATTUNEN PETRA: Yritysten ympäristöjärjestelmät – erilaisten indikaattorimenetelmien vertailu. (pro gradu)
- No. 17 2003 TAIPALE SAMI: Lipidimarkkerit kompostin mikrobisukcession määrittämisessä. (pro gradu)

- No. 18 2003 KÄKI TIINA: Boreaalisen järven rantavyöhykkeen metaaniemissiot sekä niiden suhde ympäristöoloihin ja kasvillisuuden kehitykseen. (lis.tutkimus)
- No. 19 2004 JÄRVI ANNE: Populaatiotiheyden vaikutus pentakloorifenolin myrkyllisyyteen änkyrimadolla. (pro gradu)
- No. 20 2004 HÖLSÄ JENNI: Kompostin sieniyhteisön kehittyminen ja karakterisointi molekyylibiologisin menetelmin (pro gradu)
- No. 21 2004 MÄKINEN JUSSI: Vesijärven kilpiäistenpohjan ekologinen tila ja hoitosuunnitelma (pro gradu)
- No. 22 2004 LÖNNGREN HANNA: Ympäristöasioiden hallinta kaupunkikuntien toimintayksiköissä – Tapaustutkimuksena Hyvinkään kaupungin tilapalvelu (pro gradu)
- No. 23 2004 HUOTARI JUSSI : *DAPHNIA LONGISPINA* ja *D. PULEX*- vesikirppujen lisääntyminen simuloituissa ilmastonmuutos olosuhteissa: ekosysteemitason CO₂-altistus (pro gradu)
- No. 24 2004 SAARINEN TUOMAS: Petoäyriäisen merkitys Vesijärven ulappavyöhykkeen eläinplanktoniyhteisössä (pro gradu)
- No. 25 2004 VAKKILAINEN KIRSI: The role of zooplankton in controlling phytoplankton biomass in lake littoral (lis.tutkimus)
- No. 26 2004 HAGNER MARLEENA: Koivutisle torjunta-aineena: vaikutukset lehtokotiloon (*Arianta arbustorum*) ja maaperään (pro gradu)
- No. 27 2004 JÄRVINEN KIRSI: Vesikasvien pintojen ja pehmeiden pohjien päällys- ja pohjaeläimistö matalien järvien tilan kuvaajina (pro gradu)
- No. 28 2004 SUUTARI MILLA: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus Lahden Vesijärvessä kesällä 2000 (pro gradu)
- No. 29 2005 VAURAMO SAARA: Decomposition of chitinase transgenic silver birch (*Betula pendula*) leaf litter and effects on decomposer populations in a field trial (pro gradu)
- No. 30 2005 IKONEN SUVI: Kasvukauden aikaiset muutokset ravinnonkäytössä kahdessa jäännehalkoisjalkaisen populaatiossa (pro gradu)
- No. 31 2005 PARTANEN PASI: Bakteeridiversiteetin määrittäminen molekyylibiologisin menetelmin kompostointiprosessin eri vaiheissa (pro gradu)
- No. 32 2005 MÄNTYLÄ MINNA: Humuskuormituksen vaikutus nuottaruohon (*Lobelia Dortmanna* L.) fotosynteesiaktiivisuuteen sekä sedimentin happioloihin ja bakteerien entsyymiaktiivisuuksiin (pro gradu)
- No. 33 2005 TAIPALE TIINA: Lahopuu luonnonmetsäsuksessiossa (pro gradu)
- No. 34 2006 VALENTINI MARCO: The assessment of toxicity in lead contaminated soils (master science thesis)
- No. 35 2005 AALTONEN HERMANNI: Kohonneiden alailmakehän otsoni- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaikutukset maaperän mikrobisyhteisön rakenteeseen (pro gradu)
- No. 36 2006 ENBERG EIJA: Ympäristö- ja laatu järjestelmän liittäminen yhteiseksi toimintajärjestelmäksi julkisen hallinnon organisaatiossa, Kymenlaakson sairaanhoitopiiriin kuntayhtymässä (pro gradu)
- No. 37 2006 NIITYMIES HEIDI: Ympäristövaikutukset ja -vastuu: esimerkkinä suolakyllästämön alue (pro gradu)

- No. 38 2006 KOSKINEN KAISA: Öljyvuojojen puhdistus tupasvillan avulla ja öljyn bioremediaatio Itämeren rannikkoalueilla (pro gradu)
- No. 39 2006 KAUPPI SARI: Öljyllä pilaantuneen maan biologisen hajotuksen tehostaminen (pro gradu)
- No. 40 2006 PASANEN TIINA: Koivutislehtokotiloiden (*Arianta arbustorum*) karkotteena ja sen käytön ympäristövaikutukset maaperässä ja vesieliöissä
- No. 41 2006 KARJALAINEN ANNE-MARI: Ecotoxicity and Bioavailability of CCA in Soils at an Old Wood Impregnation Site (pro gradu)
- No. 42 2007 LJUNGBERG REETTA: Vuollejokisimpukan elinympäristövaatimukset ja liikkuminen Nummenjoen yläosassa
- No. 43 2007 HANNULA EMILIA: The effect of diesel and its removal on the population dynamics of the bacteria in the Baltic Sea (pro gradu)
- No. 44 2007 PELTOMAA ELINA: Kasviplanktonin vuotuiset ja vuosiväliset vaihtelut pienessä humuspitoisessa metsäjärven v. 1990-2003 (pro gradu)
- No. 45 2007 FINGERROOS TERO: Biosensoribakteerin käyttö raskasmetallin pitoisuuden määrittämisessä maaperästä – lyijyn ekotoksisuus suhteessa sen biosaatavuuteen (pro gradu)
- No. 46 2007 TORKKELI MINNA: Lyijyosaamisen vaikutukset maaperäekosysteemin toimintaan ja eliöyhteisön rakenteeseen entisellä ampumarata-alueella (pro gradu)
- No. 47 2008 VUORIMAA PAULA: Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä – vertailua kaupunkien ja kuntien välillä (pro gradu)
- No. 48 2008 ANTTILA JARNA: Ekologinen riskinarviointi: lyijyn biosaatavuuden määrittäminen ampumaradan lyijyllä pilaantuneesta maasta (pro gradu)
- No. 49 2008 SWANSON SAARA: Yksittäisen sateen vaikutus ekosysteemin liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrään (pro gradu)
- No. 50 2008 PELTONEN SANNA: Lahden ekologinen verkosto ja sen merkitys kaupungissa esiintyville nisäkkäille (pro gradu)
- No. 51 2008 RANTANEN MARI: Lyijyn vaikutukset typen transformaatioihin havumetsäekosysteemeissä (pro gradu)
- No. 52 2008 TOLONEN IRMA: Monimuotoiset luontokohteet tiivistyvässä kaupunkiympäristössä - kaupunkiekologinen tarkastelu lehtojen merkityksestä (pro gradu)
- No. 53 2008 RISTOLA JUHA-PEKKA: Lahden kaupungin kehittymisen vaikutus alueensa pohjavesien laatuun (pro gradu)
- No. 54 2008 JÄÄSKELÄINEN VIRPI: Polyaromaattisten hiilivety-yhdisteiden vaikutukset kaupunkiekosysteemeissä – fenantreeni ja pyreeni malliaineina (pro gradu)
- No. 55 2008 VÄRTTÖ HEIDI: Kasviplanktondynamiikka suhteessa fysikaalis-kemiallisten tekijöiden vaihteluihin eri vesikerroksissa Vesijärven Enonselällä (pro gradu)
- No. 56 2008 TOIVAINEN KATRI: Metallien toksisuus vesiselkärangattomilla – kudospitoisuusperusteinen tarkastelu

- No. 57 2008 MARI VESA: Elektrokineettisen käsittelyn optimoiminen öljyllä pilaantuneen maan puhdistamiseksi
- No. 58 2008 MIA SUONTAUS: Biologisten ja kemiallisten lisäaineiden vaikutus kompostin mikrobistoon- kokeellinen tutkimus plfa-menetelmällä (pro gradu)
- No. 59 2008 ANU JULMALA-JÄNTTI: Ristilimaskan (lemina trisulca) ja pikkulimaskan (lemina minor) välinen resurssikilpailu – esimerkkeinä typpi ja fosfori (pro gradu)
- No. 60 2008 ELINA LIND: Kasviplanktonpigmentit vesijärven enonselän paleolimnologisessa tutkimuksessa (pro gradu)
- No. 61 2008 MARJA KOSME: Lierojen vaikutukset tuhkalannoitetussa metsämaassa: Mikrokosmoskoe (pro gradu)
- No. 62 2008 HANNU NIUKKANEN: Lahden keskusta-alueen aiheuttama hulevesikuormitus Vesijärven Enonselälle (pro gradu)
- No. 63 2008 HEIDI KONTIO: Lyijyllä saastuneen maaperän mikroympäristöt lyijylle herkkien bakteerilajien runsauden selittäjinä (pro gradu)
- No. 64 2008 JENNI OJALA: Tuhkalla tehostetun kompostin kypsyyden ja laadun arviointi (pro gradu)
- No. 65 2008 DAN YU: Pesticides and Microbial Degradation in the Subsurface Sediments in Finland (pro gradu)
- No. 66 2008 KAISA KERMINEN: Atratsiinin ja terbutryynin hajoaminen pintamaassa (pro gradu)
- No. 67 2008 SANNA ERONEN: Ihmistoiminnasta peräisin olevat ainekertymät (PCB, PBDE, PAH ja lyijy) Vesijärven Enonselän syvänsedimentissä vuosina 1968-2006 (pro gradu)
- No. 68 2009 MERVİ VIRTANEN: Heijastuuko viherympäristö ihmisten hyvinvointiin kaupungissa? (pro gradu)
- No. 69 2009 KATRIINA ARRAKOSKI-MÄKINEN: Luonnonkasvien käyttö rakennetuilla viheralueilla – koekasvina kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*) (pro gradu)
- No. 70 2009 KAISU MANKINEN: Itämeren kalasta ja järvi- sekä tuontikalasta Suomessa 2000-luvulla mitatut organotinapitoisuudet ja niiden saantilaskelmat (pro gradu)
- No. 71 2009 SIRKKA KUISMA: Impacts of habitat fragmentation on the community structure of moss-inhabiting fauna (pro gradu)
- No. 72 2010 MARJUT SINIVUO: Pirstoutumisen vaikutus kaupunkilehtojen maaperään ja sen eliöstöön (pro gradu)
- No. 73 2010 ANNE KEMPPAINEN: Allelopatian merkitys tulokaslajin (lemna gibba) menestymiselle akvaattisissa kasviyhteisöissä (pro gradu)
- No. 74 2008 VUOKKO MALK: Jätevesiperäisten yhdisteiden estrogeeniaktiivisuus jokiympäristössä – bisfenoli A:n ja 4-tert-oktyylifenolin vaikutus vaeltajakotilon (*Potamopyrgus antipodarum*) lisääntymiseen (pro gradu)
- No. 75 2010 VIRPI PAJUNEN: Valkjärveen laskevien ojien kiintoaine- ja ravinnekuormitus sekä kunnostustoimien optimointi (pro gradu)

- No. 76 2010 MERVI MYYRÄ: Pienten haitta-ainepitoisuuksien vaikutukset kolmen kasvilajin kasvuun (pro gradu)
- No. 77 2010 NIINA HÄTINEN: Hulevesien haitta-aineet ja käsittelytarve pohjavesialueilla sijaitsevilla teollisuuskiinteistöillä (pro gradu)
- No. 78 2010 KIRSI KÄHKÖNEN: DNRA:n (dissimilatorinen nitraatin pelkistys ammoniumiksi) esiintyminen ja siihen vaikuttavat tekijät Suomenlahden rannikkosedimenteissä (pro gradu)
- No. 79 2010 PERTTU TAMMINEN: Sedimentin resuspension aiheuttama sisäinen fosforikuormitus Vesijärven Enonselällä (pro gradu)
- No. 80 2010 EEVA SOMERKOSKI: Rauduskoivun genotyypin, ravinnetilanteen ja kirvan (*Eucraphis betulae*) yhteys rauduskoivupopulaation ruskaan (pro gradu)
- No. 81 2010 MILLA PUNKARI: Eläinplanktonin merkitys Alasenjärven rehevöitymiskehityksessä (pro gradu)
- No. 82 2011 RIIKKA-ELISA MÄKELÄ: The bioremediation of creosote-contaminated soil using methyl- β -cyclodextrin and ultrasound (pro gradu)
- No. 83 2011 ANNA DEGERHOLM: Ylioppilaiden terveydenhoitosäätiön ympäristösuunnitelma (pro gradu)
- No. 84 2011 SANNI J. TURUNEN: Fotosynteesin valovastekäyrät järven perustuotannon mittauksessa: Pulloinkubointien ja ns. vapaan veden menetelmän vertailu (pro gradu)
- No. 85 2011 MINNA VESTERINEN: Kreosotilla pilaantuneen maan kasvivasteet bakteereiden haitta-aineen hajotukseen sopeutumisen ilmentäjinä (pro gradu)
- No. 86 2011 MARIKA TIKKA: Humusjärvien planktisten levien soveltuvuus biodieselin raaka-aineeksi (pro gradu)
- No. 87 2011 MARI HANSI: Kuparin myrkyllisyys kasveille eri kasvatustiheyksillä (pro gradu)
- No. 88 2011 ISTO HONGISTO: Haapakloonien kasvu ja haavan lehtien pinnoille pisaroituneet sokerit (pro gradu)
- No.89 2012 HEIDI SJÖBLOM: Hyytiälän Kuivajärven ulapan biogeenisten VOC-yhdisteiden emissiot (pro gradu)
- No.90 2011 MARI DAHL: Orgaanisten tinayhdisteiden analytiikka ja akuutti toksisuus vesiympäristössä (pro gradu)
- No.91 2011 SAARA RINNE: Valuma-alueelta huuhtoutuvan hiilen ja typen laatuun ja pitoisuuteen vaikuttavat tekijät (pro gradu)
- No.92 2012 KONTIOKARI VENLA: Induction of Oxidative Stress by the Herbicides Atrazine and Isoproturon on Cultured Fish Cells (pro gradu)
- No.93 2012 PULKKINEN ANNI-MARI: Vuohenherneen vaikutus sukkulamatoyhteisöön öljyllä pilantuneessa maaperässä (pro gradu)
- No.94 2012 MARITTA JOKELA: Vesijärven pohjasedimenttien raskasmetallikuormasta, toksisuudesta ja biosaatavuudesta (lisensiaattityö)
- No.95 2012 JUHA-MATTI VÄHÄTALO: Bitumikatteiden sammal- ja jäkälälajisto sekä niiden torjunta-aineet (pro gradu)
- No.96 2012 LAURI SILLANTIE: Ydinvoimalaitosten säteilytarkkailu maa- ja meriympäristössä (pro gradu)

- No.97 2012 EMMI PAJUNEN: Typen mineralisaatio happamien sulfaattimaiden pohjamaissa (pro gradu)
- No.98 2012 HANNELE PENSON: Heritability of Heavy Metal and Persistent Organic Pollutant Levels in Collared Flycatcher (*Ficedula Albicollis*) (pro gradu)
- No.99 2012 SAARA KARJALAINEN: Typen mineralisaatio ja nitrifikaatio rinnemaastossa – ¹⁵N-laboratoriokoe vanhasta luonnontilaisesta kuusimetsästä (pro gradu)
- No.100 2012 PIA VÄLITALO: Thermal adaptation on an elevational gradient in malagasy dung beetles (pro gradu)
- No.101 2012 MATTI MÄKILÄ: Kaupungistumisen vaikutukset maakiitäjäislajistoon (Coleoptera: Carabidae) Helsingissä ja Lahdessa (pro gradu)
- No.102 2012 MIRKA LARES: Vanadiinin ekotoksisuus vesieliöillä (pro gradu)
- No.103 2012 PAULA KAJANKARI: Nanohopeapartikkeleiden ekotoksisuus vesiympäristössä (pro gradu)
- No.104 2013 ANNA K. HAUKKA: Effect of soil type and climatic conditions on the growth and flowering phenology of three oxalis species in western cape, South Africa (Master's Thesis)
- No.105 2013 MINNA LAIHONEN: Terästeollisuuden kuonien sisältämän vanadiinin ekotoksisuus maaperässä (pro gradu)
- No.106 2013 CHHABI RAMAN NEUPANE: The effects of biochar on noxious gas and toxic metals from landfill waste (Master's Thesis)
- No.107 2013 PAULIINA HILTUNEN: Sisältöä Ekopakulle: Pakettiauto luonto- ja ympäristökoulutoiminnassa esimerkkinä vesiteema (pro gradu)
- No.108 2013 JAAKKO LEPPÄNEN: Vesikirppujen yhteisömuutokset Enontekiön Lapissa esiteolliselta ajalta nykypäivään (pro gradu)
- No.109 2013 JI LI: Carabid beetle assemblages of dry meadow habitats in the Helsinki Metropolitan area (pro gradu)
- No.110 2013 ESSI KRANS: Alasenjärven kesäaikainen ravine- ja doc- kuormitus sekä fosforitase (pro gradu)
- No.111 2013 HANNA-KAISA LAKKA: The Ecology of a Freshwater Crustacean: *Lepidurus Arcticus* (Branchiopoda; Notostraca) in a High Arctic Region (Pro gradu)
- No.112 2013 KAARJEL KAUSLYA NARAYANASAMY: Runoff quality and quantity from green roofs and the impact of biochar amendment on runoff properties (master's thesis)
- No.113 2014 MARI JOENSUU: Kriittisen leikkausjännityksen ja resuspension merkitys pääravinteiden kiertoihin Hangon saaristossa (pro gradu)
- No. 114 2014 VILJAMI VIIPPOLA: Kaupunkipuiden ilmaa puhdistava vaikutus –kentätutkimus Lahdessa ja Helsingissä (pro gradu)
- No. 115 2014 SAMI KETO: Possibilities to combat eutrophication through community-driven management practices in Bospoort Dam, South Africa (pro gradu)
- No. 116 2014 EEVA SAARINEN: Eräiden mikroleväkantojen todellinen kyky mikso- ja heterotrofiaan (pro gradu)
- No. 117 2014 VALERIA LVOVNA GELMAN: Rooftop vegetables and urban contamination: trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in crops from Helsinki rooftops (master's thesis)

- No. 118 2014 SVETA SILVENNOINEN: Economic valuation of ecosystem services provided by urban green spaces in terms of stormwater quantity management (master's thesis)
- No. 119 2014 KALLE VALKONEN: Eräiden jätevesien minimitekijät mikrolevien massakasvatuksessa (pro gradu)
- No. 120 2014 WENLIN ZHAO: The effect of urban vegetation on the spatial distribution of traffic related air pollution (master's thesis)
- No. 121 2014: SANNA KORHONEN: Kaupunkien viheralueiden tuottamat kulttuuriset ekosysteemipalvelut ja niiden merkitys Lahden Liipolassa (pro gradu)
- No. 122 2014 JESSICA LYNN LATUS: Bees in urban community gardens – local versus landscape determinants (master's thesis)
- No. 123 2014 EMILIA TUOMAALA: Exploring people's perceptions of biodiversity and ecosystem services in Taita Hills, Kenya (master's thesis)
- No. 124 2014 TIINA HELKAVAARA: Kaupungistumisen vaikutus maaperään, hajottajaeliöstöön ja lehtikarikkeen hajoamiseen (pro gradu)
- No. 125 2014 HUIZHONG ZHANG: Carbon gas concentrations and fluxes in Lake Vesijärvi – possible effects of artificial aeration (master's thesis)
- No. 126 2015 EMMI SILVENNOINEN: Water retention performance of newly constructed green roofs in cold climates (master's thesis)
- No. 127 2015 EMMA LILJESTRÖM: Ilmastokestävyys kehitysyhteistyössä – Kriteerin toteutuminen kahdessa Green Living Movement Sambian hankkeessa (pro gradu)
- No. 128 2015 LEONA SILBERSTEIN: Porvoon kaupungin henkilökuljetusjärjestelmät ja niiden kehittämismahdollisuudet (pro gradu)
- No. 129 2015 MAGDALENA GERLACH: Comparison of Different *In Situ*-Remediation Techniques for Gasoline and Diesel Contaminated Soil in a Pilot Scale Lysimeter Experiment (master's thesis)
- No. 130 2015 KATRI LEPIKKÖ: Maatalousympäristön perhosten esiintymisen mallintaminen ja High Nature Value -indikaattorin arviointi (pro gradu)
- No. 131 2015 PIETU PANKKONEN: Yhdyskuntajätevesien DOM-kuorma ja sen biologinen hajoaminen Suomenlahdella (pro gradu)
- No. 132 2015 MARJU PRASS: Effects of the matrix on carabid beetle assemblages in urban ruderal habitats: A railway verge case (master's thesis)
- No. 133 2015 ELINA NYSTEDT: Siikamuotojen ekologisen eriytymisen vaikutukset niiden elohopeapitoisuuksiin subarktisisissa järvissä (pro gradu)
- No. 134 2015 ANNA NEVALA: Antioksidanttipuolustusmekanismien biomarkerit leväkatkalajeissa Helsingin edustalla ja altistuskokeissa (pro gradu)
- No. 135 2015 MARI KOVERO: Kalaistutusten vaikutus perustuottajien lajistokoostumukseen – piileväyhteisöjen vaihtelut Värriön luonnonpuiston järvissä (pro gradu)
- No. 136 2015 SANNA ÖSTMAN: Ekologisesti ennallistava ympäristötaide (pro gradu)
- No. 137 2015 MIRKA AUTIO: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus eräissä etelä-suomalaisessa järviketjussa (pro gradu)

HELSINGIN YLIOPISTON YMPÄRISTÖTIEDEIDEN LAITOKSEN
(LAHTI) TUTKIMUKSIA JA RAPORTTEJA (1.-17. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ)

- No. 1 1999 TURPEINEN RIINA: Mikrobiston vaikutus arseenin metylaatioon ja liikkuvuuteen maaperässä sekä mikrobiston arseeniresistenttiys. (pro gradu)
- No. 2 2000 RAILO HELENA: Kaatopaikkojen ympäristövaikutukset, esimerkkinä Pasilan kaatopaikka. (pro gradu)
- No. 3 2001 ONKILA HANNU: Tuhkan ja sen sisältämän kadmiumin vaikutukset metsämaan änkyrimatopopulaatioihin. (pro gradu)
- No. 4 2001 TÖRN ANNE: Kohotetun hiilidioksidipitoisuuden ja typpilannoituksen vaikutukset ombrotrofiseen suokasvillisuuteen. (pro gradu)
Effects of elevated CO₂ and increased N deposition on ombrotrophic bog vegetation
- No. 5 2001 HOVI SANNA: Valuma-alueen metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset pieniin järviin - paleolimnologinen selvitys. (pro gradu)
- No. 6 2001 ANTTILA SAKU: Päällyslevästön biomassan kertyminen eri ravinnetasoilla sekä vaikutukset veden ravinnepitoisuuksiin. (pro gradu)
- No. 7 2002 KOSKINEN SARI: Hiilidioksidialtistuksen vaikutukset järvikortteen (*Equisetum fluviatile*) ja järvikaislan (*Schoenoplectus lacustris*) aerobiseen ja anaerobiseen hajoamiseen. (pro gradu)
- No. 8 2002 KORKAMA TIINA: Maaperän hajottajaeliöyhteisön vuorovaikutussuhteet ja hajotustoiminta lyijyllä saastuneessa maassa. (pro gradu)
- No. 9 2002 LEHTIMÄKI ELENA: Auringonkukan vaikutus atrasiiniin ja simantsiiniin hajoamiseen kaupunkimaaperässä. (pro gradu)
- No. 10 2003 KAJALA SAIJA: Rihmamaisten syanobakteerien ja niiden toksiinien ravintoketjuvaikutukset. (pro gradu)
- No. 11 2003 TAHVANAINEN JUULIA: Elisa-konsernin ympäristökuormitustekijöiden nykytilan kartoitus.. (pro gradu)
- No. 12 2003 SUSILUOTO SANNAMAIIJA: Comparison of drought avoidance and tolerance strategies in *Eucalyptus microtheca*. (pro gradu)
- No. 13 2003 KUUKKA HANNA: Särjen ravinnon käytön vaikutus vedenlaatuun ja kasviplanktoniin. (pro gradu)
- No. 14 2003 FLYKT ENNI: Mineraaliöljy- ja bioöljypohjaisten hydraulikkaöljyjen vaikutukset boreaalisen metsämaan hajottajaravintoverkkoon. (pro gradu)
- No. 15 2003 HOLMA ANNE: Tuhkan ja typen vaikutukset kuusen (*Picea abies* L. Karst) ektomykorritsaan. (pro gradu)
- No. 16 2003 LATTUNEN PETRA: Yritysten ympäristöjärjestelmät – erilaisten indikaattorimenetelmien vertailu. (pro gradu)
- No. 17 2003 TAIPALE SAMI: Lipidimarkkerit kompostin mikrobisukcession määrittämisessä. (pro gradu)

- No. 18 2003 KÄKI TIINA: Boreaalisen järven rantavyöhykkeen metaaniemissiot sekä niiden suhde ympäristöoloihin ja kasvillisuuden kehitykseen. (lis.tutkimus)
- No. 19 2004 JÄRVI ANNE: Populaatiotiheyden vaikutus pentakloorifenolin myrkyllisyyteen änkyrimadolla. (pro gradu)
- No. 20 2004 HÖLSÄ JENNI: Kompostin sieniyhteisön kehittyminen ja karakterisointi molekyylibiologisin menetelmin (pro gradu)
- No. 21 2004 MÄKINEN JUSSI: Vesijärven kilpiäistenpohjan ekologinen tila ja hoitosuunnitelma (pro gradu)
- No. 22 2004 LÖNNGREN HANNA: Ympäristöasioiden hallinta kaupunkikuntien toimintayksiköissä – Tapaustutkimuksena Hyvinkään kaupungin tilapalvelu (pro gradu)
- No. 23 2004 HUOTARI JUSSI : *DAPHNIA LONGISPINA* ja *D. PULEX*- vesikirppujen lisääntyminen simuloituissa ilmastonmuutos olosuhteissa: ekosysteemitason CO₂-altistus (pro gradu)
- No. 24 2004 SAARINEN TUOMAS: Petoäyriäisen merkitys Vesijärven ulappavyöhykkeen eläinplanktoniyhteisössä (pro gradu)
- No. 25 2004 VAKKILAINEN KIRSI: The role of zooplankton in controlling phytoplankton biomass in lake littoral (lis.tutkimus)
- No. 26 2004 HAGNER MARLEENA: Koivutisle torjunta-aineena: vaikutukset lehtokotiloon (*Arianta arbustorum*) ja maaperään (pro gradu)
- No. 27 2004 JÄRVINEN KIRSI: Vesikasvien pintojen ja pehmeiden pohjien päällys- ja pohjaeläimistö matalien järvien tilan kuvaajina (pro gradu)
- No. 28 2004 SUUTARI MILLA: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus Lahden Vesijärvessä kesällä 2000 (pro gradu)
- No. 29 2005 VAURAMO SAARA: Decomposition of chitinase transgenic silver birch (*Betula pendula*) leaf litter and effects on decomposer populations in a field trial (pro gradu)
- No. 30 2005 IKONEN SUVI: Kasvukauden aikaiset muutokset ravinnonkäytössä kahdessa jäännehalkoisjalkaisen populaatiossa (pro gradu)
- No. 31 2005 PARTANEN PASI: Bakteeridiversiteetin määrittäminen molekyylibiologisin menetelmin kompostointiprosessin eri vaiheissa (pro gradu)
- No. 32 2005 MÄNTYLÄ MINNA: Humuskuormituksen vaikutus nuottaruohon (*Lobelia Dortmanna* L.) fotosynteesiaktiivisuuteen sekä sedimentin happioloihin ja bakteerien entsyymiaktiivisuuksiin (pro gradu)
- No. 33 2005 TAIPALE TIINA: Lahopuu luonnonmetsäsuksessiossa (pro gradu)
- No. 34 2006 VALENTINI MARCO: The assessment of toxicity in lead contaminated soils (master science thesis)
- No. 35 2005 AALTONEN HERMANNI: Kohonneiden alailmakehän otsoni- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaikutukset maaperän mikrobisyhteisön rakenteeseen (pro gradu)
- No. 36 2006 ENBERG EIJA: Ympäristö- ja laatu järjestelmän liittäminen yhteiseksi toimintajärjestelmäksi julkisen hallinnon organisaatiossa, Kymenlaakson sairaanhoitopiiriin kuntayhtymässä (pro gradu)
- No. 37 2006 NIITTYMIES HEIDI: Ympäristövaikutukset ja -vastuu: esimerkkinä suolakyllästämön alue (pro gradu)

- No. 38 2006 KOSKINEN KAISA: Öljyvuojojen puhdistus tupasvillan avulla ja öljyn bioremediaatio Itämeren rannikkoalueilla (pro gradu)
- No. 39 2006 KAUPPI SARI: Öljyllä pilaantuneen maan biologisen hajotuksen tehostaminen (pro gradu)
- No. 40 2006 PASANEN TIINA: Koivutislehtokotiloiden (*Arianta arbustorum*) karkotteena ja sen käytön ympäristövaikutukset maaperässä ja vesieliöissä
- No. 41 2006 KARJALAINEN ANNE-MARI: Ecotoxicity and Bioavailability of CCA in Soils at an Old Wood Impregnation Site (pro gradu)
- No. 42 2007 LJUNGBERG REETTA: Vuollejokisimpukan elinympäristövaatimukset ja liikkuminen Nummenjoen yläosassa
- No. 43 2007 HANNULA EMILIA: The effect of diesel and its removal on the population dynamics of the bacteria in the Baltic Sea (pro gradu)
- No. 44 2007 PELTOMAA ELINA: Kasviplanktonin vuotuiset ja vuosiväliset vaihtelut pienessä humuspitoisessa metsäjärven v. 1990-2003 (pro gradu)
- No. 45 2007 FINGERROOS TERO: Biosensoribakteerin käyttö raskasmetallin pitoisuuden määrittämisessä maaperästä – lyijyn ekotoksisuus suhteessa sen biosaatavuuteen (pro gradu)
- No. 46 2007 TORKKELI MINNA: Lyijyosaamisen vaikutukset maaperäekosysteemin toimintaan ja eliöyhteisön rakenteeseen entisellä ampumarata-alueella (pro gradu)
- No. 47 2008 VUORIMAA PAULA: Torjunta-aineiden esiintyminen pohjavedessä – vertailua kaupunkien ja kuntien välillä (pro gradu)
- No. 48 2008 ANTTILA JARNA: Ekologinen riskinarviointi: lyijyn biosaatavuuden määrittäminen ampumaradan lyijyllä pilaantuneesta maasta (pro gradu)
- No. 49 2008 SWANSON SAARA: Yksittäisen sateen vaikutus ekosysteemin liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrään (pro gradu)
- No. 50 2008 PELTONEN SANNA: Lahden ekologinen verkosto ja sen merkitys kaupungissa esiintyville nisäkkäille (pro gradu)
- No. 51 2008 RANTANEN MARI: Lyijyn vaikutukset typen transformaatioihin havumetsäekosysteemeissä (pro gradu)
- No. 52 2008 TOLONEN IRMA: Monimuotoiset luontokohteet tiivistyvässä kaupunkiympäristössä - kaupunkiekologinen tarkastelu lehtojen merkityksestä (pro gradu)
- No. 53 2008 RISTOLA JUHA-PEKKA: Lahden kaupungin kehittymisen vaikutus alueensa pohjavesien laatuun (pro gradu)
- No. 54 2008 JÄÄSKELÄINEN VIRPI: Polyaromaattisten hiilivety-yhdisteiden vaikutukset kaupunkiekosysteemeissä – fenantreeni ja pyreeni malliaineina (pro gradu)
- No. 55 2008 VÄRTTÖ HEIDI: Kasviplanktondynamiikka suhteessa fysikaalis-kemiallisten tekijöiden vaihteluihin eri vesikerroksissa Vesijärven Enonselällä (pro gradu)
- No. 56 2008 TOIVAINEN KATRI: Metallien toksisuus vesiselkärangattomilla – kudospitoisuusperusteinen tarkastelu

- No. 57 2008 MARI VESA: Elektrokineettisen käsittelyn optimoiminen öljyllä pilaantuneen maan puhdistamiseksi
- No. 58 2008 MIA SUONTAUS: Biologisten ja kemiallisten lisäaineiden vaikutus kompostin mikrobistoon-kokeellinen tutkimus plfa-menetelmällä (pro gradu)
- No. 59 2008 ANU JULMALA-JÄNTTI: Ristilimaskan (lemina trisulca) ja pikkulimaskan (lemina minor) välinen resurssikilpailu – esimerkkeinä typpi ja fosfori (pro gradu)
- No. 60 2008 ELINA LIND: Kasviplanktonpigmentit vesijärven enonselän paleolimnologisessa tutkimuksessa (pro gradu)
- No. 61 2008 MARJA KOSME: Lierojen vaikutukset tuhkalannoitetussa metsämaassa: Mikrokosmoskoe (pro gradu)
- No. 62 2008 HANNU NIUKKANEN: Lahden keskusta-alueen aiheuttama hulevesikuormitus Vesijärven Enonselälle (pro gradu)
- No. 63 2008 HEIDI KONTIO: Lyijyllä saastuneen maaperän mikroympäristöt lyijylle herkkien bakteerilajien runsauden selittäjinä (pro gradu)
- No. 64 2008 JENNI OJALA: Tuhkalla tehostetun kompostin kypsyyden ja laadun arviointi (pro gradu)
- No. 65 2008 DAN YU: Pesticides and Microbial Degradation in the Subsurface Sediments in Finland (pro gradu)
- No. 66 2008 KAISA KERMINEN: Atratsiinin ja terbutryynin hajoaminen pintamaassa (pro gradu)
- No. 67 2008 SANNA ERONEN: Ihmistoiminnasta peräisin olevat ainekertymät (PCB, PBDE, PAH ja lyijy) Vesijärven Enonselän syvänsedimentissä vuosina 1968-2006 (pro gradu)
- No. 68 2009 MERVİ VIRTANEN: Heijastuuko viherympäristö ihmisten hyvinvointiin kaupungissa? (pro gradu)
- No. 69 2009 KATRIINA ARRAKOSKI-MÄKINEN: Luonnonkasvien käyttö rakennetuilla viheralueilla – koekasvina kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*) (pro gradu)
- No. 70 2009 KAISU MANKINEN: Itämeren kalasta ja järvi- sekä tuontikalasta Suomessa 2000-luvulla mitatut organotinapitoisuudet ja niiden saantilaskelmat (pro gradu)
- No. 71 2009 SIRKKA KUISMA: Impacts of habitat fragmentation on the community structure of moss-inhabiting fauna (pro gradu)
- No. 72 2010 MARJUT SINIVUO: Pirstoutumisen vaikutus kaupunkilehtojen maaperään ja sen eliöstöön (pro gradu)
- No. 73 2010 ANNE KEMPPAINEN: Allelopatian merkitys tulokaslajin (lemna gibba) menestymiselle akvaattisissa kasviyhteisöissä (pro gradu)
- No. 74 2008 VUOKKO MALK: Jätevesiperäisten yhdisteiden estrogeeniaktiivisuus jokiympäristössä – bisfenoli A:n ja 4-tert-oktyylifenolin vaikutus vaeltajakotilon (*Potamopyrgus antipodarum*) lisääntymiseen (pro gradu)
- No. 75 2010 VIRPI PAJUNEN: Valkjärveen laskevien ojien kiintoaine- ja ravinnekuormitus sekä kunnostustoimien optimointi (pro gradu)

- No. 76 2010 MERVI MYYRÄ: Pienten haitta-ainepitoisuuksien vaikutukset kolmen kasvilajin kasvuun (pro gradu)
- No. 77 2010 NIINA HÄTINEN: Hulevesien haitta-aineet ja käsittelytarve pohjavesialueilla sijaitsevilla teollisuuskiinteistöillä (pro gradu)
- No. 78 2010 KIRSI KÄHKÖNEN: DNRA:n (dissimilatorinen nitraatin pelkistys ammoniumiksi) esiintyminen ja siihen vaikuttavat tekijät Suomenlahden rannikkosedimenteissä (pro gradu)
- No. 79 2010 PERTTU TAMMINEN: Sedimentin resuspension aiheuttama sisäinen fosforikuormitus Vesijärven Enonselällä (pro gradu)
- No. 80 2010 EEVA SOMERKOSKI: Rauduskoivun genotyypin, ravinnetilanteen ja kirvan (*Eucraphis betulae*) yhteys rauduskoivupopulaation ruskaan (pro gradu)
- No. 81 2010 MILLA PUNKARI: Eläinplanktonin merkitys Alasenjärven rehevöitymiskehityksessä (pro gradu)
- No. 82 2011 RIIKKA-ELISA MÄKELÄ: The bioremediation of creosote-contaminated soil using methyl- β -cyclodextrin and ultrasound (pro gradu)
- No. 83 2011 ANNA DEGERHOLM: Ylioppilaiden terveydenhoitosäätiön ympäristösuunnitelma (pro gradu)
- No. 84 2011 SANNI J. TURUNEN: Fotosynteesin valovastekäyrät järven perustuotannon mittauksessa: Pulloinkubointien ja ns. vapaan veden menetelmän vertailu (pro gradu)
- No. 85 2011 MINNA VESTERINEN: Kreosotilla pilaantuneen maan kasvivasteet bakteereiden haitta-aineen hajotukseen sopeutumisen ilmentäjinä (pro gradu)
- No. 86 2011 MARIKA TIKKA: Humusjärvien planktisten levien soveltuvuus biodieselin raaka-aineeksi (pro gradu)
- No. 87 2011 MARI HANSI: Kuparin myrkyllisyys kasveille eri kasvatustiheyksillä (pro gradu)
- No. 88 2011 ISTO HONGISTO: Haapakloonien kasvu ja haavan lehtien pinnoille pisaroituneet sokerit (pro gradu)
- No.89 2012 HEIDI SJÖBLOM: Hyytiälän Kuivajärven ulapan biogeenisten VOC-yhdisteiden emissiot (pro gradu)
- No.90 2011 MARI DAHL: Orgaanisten tinayhdisteiden analytiikka ja akuutti toksisuus vesiympäristössä (pro gradu)
- No.91 2011 SAARA RINNE: Valuma-alueelta huuhtoutuvan hiilen ja typen laatuun ja pitoisuuteen vaikuttavat tekijät (pro gradu)
- No.92 2012 KONTIOKARI VENLA: Induction of Oxidative Stress by the Herbicides Atrazine and Isoproturon on Cultured Fish Cells (pro gradu)
- No.93 2012 PULKKINEN ANNI-MARI: Vuohenherneen vaikutus sukkulamato yhteisöön öljyllä pilantuneessa maaperässä (pro gradu)
- No.94 2012 MARITTA JOKELA: Vesijärven pohjasedimenttien raskasmetallikuormasta, toksisuudesta ja biosaatavuudesta (lisensiaattityö)
- No.95 2012 JUHA-MATTI VÄHÄTALO: Bitumikatteiden sammal- ja jäkälälajisto sekä niiden torjunta-aineet (pro gradu)
- No.96 2012 LAURI SILLANTIE: Ydinvoimalaitosten säteilytarkkailu maa- ja meriympäristössä (pro gradu)

- No.97 2012 EMMI PAJUNEN: Typen mineralisaatio happamien sulfaattimaiden pohjamaissa (pro gradu)
- No.98 2012 HANNELE PENSON: Heritability of Heavy Metal and Persistent Organic Pollutant Levels in Collared Flycatcher (*Ficedula Albicollis*) (pro gradu)
- No.99 2012 SAARA KARJALAINEN: Typen mineralisaatio ja nitrifikaatio rinnemaastossa – ¹⁵N-laboratoriokoe vanhasta luonnontilaisesta kuusimetsästä (pro gradu)
- No.100 2012 PIA VÄLITALO: Thermal adaptation on an elevational gradient in malagasy dung beetles (pro gradu)
- No.101 2012 MATTI MÄKILÄ: Kaupungistumisen vaikutukset maakiitäjäislajistoon (Coleoptera: Carabidae) Helsingissä ja Lahdessa (pro gradu)
- No.102 2012 MIRKA LARES: Vanadiinin ekotoksisuus vesieliöillä (pro gradu)
- No.103 2012 PAULA KAJANKARI: Nanohopeapartikkeleiden ekotoksisuus vesiympäristössä (pro gradu)
- No.104 2013 ANNA K. HAUKKA: Effect of soil type and climatic conditions on the growth and flowering phenology of three oxalis species in western cape, South Africa (Master's Thesis)
- No.105 2013 MINNA LAIHONEN: Terästeollisuuden kuonien sisältämän vanadiinin ekotoksisuus maaperässä (pro gradu)
- No.106 2013 CHHABI RAMAN NEUPANE: The effects of biochar on noxious gas and toxic metals from landfill waste (Master's Thesis)
- No.107 2013 PAULIINA HILTUNEN: Sisältöä Ekopakulle: Pakettiauto luonto- ja ympäristökoulutoiminnassa esimerkkinä vesiteema (pro gradu)
- No.108 2013 JAAKKO LEPPÄNEN: Vesikirppujen yhteisömuutokset Enontekiön Lapissa esiteolliselta ajalta nykypäivään (pro gradu)
- No.109 2013 JI LI: Carabid beetle assemblages of dry meadow habitats in the Helsinki Metropolitan area (pro gradu)
- No.110 2013 ESSI KRANS: Alasenjärven kesäaikainen ravine- ja doc- kuormitus sekä fosforitase (pro gradu)
- No.111 2013 HANNA-KAISA LAKKA: The Ecology of a Freshwater Crustacean: *Lepidurus Arcticus* (Branchiopoda; Notostraca) in a High Arctic Region (Pro gradu)
- No.112 2013 KAARJEL KAUSLYA NARAYANASAMY: Runoff quality and quantity from green roofs and the impact of biochar amendment on runoff properties (master's thesis)
- No.113 2014 MARI JOENSUU: Kriittisen leikkausjännityksen ja resuspension merkitys pääravinteiden kiertoihin Hangon saaristossa (pro gradu)
- No. 114 2014 VILJAMI VIIPPOLA: Kaupunkipuiden ilmaa puhdistava vaikutus –kentätutkimus Lahdessa ja Helsingissä (pro gradu)
- No. 115 2014 SAMI KETO: Possibilities to combat eutrophication through community-driven management practices in Bospoort Dam, South Africa (pro gradu)
- No. 116 2014 EEVA SAARINEN: Eräiden mikroleväkantojen todellinen kyky mikso- ja heterotrofiaan (pro gradu)
- No. 117 2014 VALERIA LVOVNA GELMAN: Rooftop vegetables and urban contamination: trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in crops from Helsinki rooftops (master's thesis)

- No. 118 2014 SVETA SILVENNOINEN: Economic valuation of ecosystem services provided by urban green spaces in terms of stormwater quantity management (master's thesis)
- No. 119 2014 KALLE VALKONEN: Eräiden jätevesien minimitekijät mikrolevien massakasvatuksessa (pro gradu)
- No. 120 2014 WENLIN ZHAO: The effect of urban vegetation on the spatial distribution of traffic related air pollution (master's thesis)
- No. 121 2014: SANNA KORHONEN: Kaupunkien viheralueiden tuottamat kulttuuriset ekosysteemipalvelut ja niiden merkitys Lahden Liipolassa (pro gradu)
- No. 122 2014 JESSICA LYNN LATUS: Bees in urban community gardens – local versus landscape determinants (master's thesis)
- No. 123 2014 EMILIA TUOMAALA: Exploring people's perceptions of biodiversity and ecosystem services in Taita Hills, Kenya (master's thesis)
- No. 124 2014 TIINA HELKAVAARA: Kaupungistumisen vaikutus maaperään, hajottajaeliöstöön ja lehtikarikkeen hajoamiseen (pro gradu)
- No. 125 2014 HUIZHONG ZHANG: Carbon gas concentrations and fluxes in Lake Vesijärvi – possible effects of artificial aeration (master's thesis)
- No. 126 2015 EMMI SILVENNOINEN: Water retention performance of newly constructed green roofs in cold climates (master's thesis)
- No. 127 2015 EMMA LILJESTRÖM: Ilmastokestävyys kehitysyhteistyössä – Kriteerin toteutuminen kahdessa Green Living Movement Sambian hankkeessa (pro gradu)
- No. 128 2015 LEONA SILBERSTEIN: Porvoon kaupungin henkilökuljetusjärjestelmät ja niiden kehittämismahdollisuudet (pro gradu)
- No. 129 2015 MAGDALENA GERLACH: Comparison of Different *In Situ*-Remediation Techniques for Gasoline and Diesel Contaminated Soil in a Pilot Scale Lysimeter Experiment (master's thesis)
- No. 130 2015 KATRI LEPIKKÖ: Maatalousympäristön perhosten esiintymisen mallintaminen ja High Nature Value -indikaattorin arviointi (pro gradu)
- No. 131 2015 PIETU PANKKONEN: Yhdyskuntajätevesien DOM-kuorma ja sen biologinen hajoaminen Suomenlahdella (pro gradu)
- No. 132 2015 MARJU PRASS: Effects of the matrix on carabid beetle assemblages in urban ruderal habitats: A railway verge case (master's thesis)
- No. 133 2015 ELINA NYSTEDT: Siikamuotojen ekologisen eriytymisen vaikutukset niiden elohopeapitoisuuksiin subarktisisissa järvissä (pro gradu)
- No. 134 2015 ANNA NEVALA: Antioksidanttipuolustusmekanismien biomarkerit leväkatkalajeissa Helsingin edustalla ja altistuskokeissa (pro gradu)
- No. 135 2015 MARI KOVERO: Kalaistutusten vaikutus perustuottajien lajistokoostumukseen – piileväyhteisöjen vaihtelut Värriön luonnonpuiston järvissä (pro gradu)
- No. 136 2015 SANNA ÖSTMAN: Ekologisesti ennallistava ympäristötaide (pro gradu)
- No. 137 2015 MIRKA AUTIO: Kasviplanktonin ravinnerajoitteisuus eräissä etelä-suomalaisessa järviketjussa (pro gradu)

UNIGRAFIA
HELSINKI 2015



HELSINGIN YLIOPISTO
BIO- JA YMPÄRISTÖTIEEELLINEN TIEDEKUNTA
YMPÄRISTÖTIEEIDEN LAITOS, LAHTI