

24

Minna Korttinen ja Hanna Blomqvist

Sinilevätutkimuksia  
kolmessa Pohjois-Savon järvessä

24

Minna Korttinen ja Hanna Blomqvist

Sinilevätutkimuksia  
kolmessa Pohjois-Savon järvessä

Helsinki 1996  
SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



PAINOPAIKKA:  
Suomen ympäristökeskuksen monistamo  
Helsinki 1996

# SISÄLLYS

## Minna Korttisen opinnäyte

1	JOHDANTO	5
2	SINILEVIEN ESIINTYMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	5
	2.1 Sinilevien (syanobakteerien) rakenteesta, ominaisuuksista ja esiintymisestä	5
	2.2 Sinileväkukintoja selittäviä hypoteeseja	6
	2.2.1 Veden kohonneen lämpötilan hypoteesi	6
	2.2.2 Niukan valaistuksen hypoteesi	6
	2.2.3 N/P-suhteen hypoteesi	6
	2.2.4 Keijumishypoteesi	8
	2.2.5 Laidunnushypoteesi	8
	2.2.6 CO <sub>2</sub> /pH -hypoteesi	8
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	9
	3.1 Näytteenottopaikat ja ajat	9
	3.2 Näytteenotto	10
	3.3 Fysikaalis-kemialliset analyysit	10
	3.4 Kasviplanktonlaskenta	10
4	TULOKSET	11
	4.1 Fysikaalis-kemialliset määritykset	11
	4.1.1 Lämpötila	11
	4.1.2 Näkösyvyys, väri ja sameus	11
	4.1.3 Happi- ja hiilidioksidipitoisuudet	13
	4.1.4 Kokonaisfosfori	15
	4.1.5 Liuennut epäorgaaninen fosfaatti	15
	4.1.6 Kokonaistyyppi	15
	4.1.7 Epäorgaaninen typpi	15
	4.1.8 Alkali- ja maa-alkalimetallit	17
	4.1.9 Hiukkasmainen ja liukoinen seleeni	18
	4.2 Ravinnesuhteet	18
	4.2.1 Mineraaliravinnesuhde	18
	4.2.2 Ravinnetasapainosuhteet	28
	4.3 Klorofyllipitoisuudet	28
	4.4 Sinilevien %-osuus kasviplanktonmassasta	30

5 TULOSTEN TARKASTELU .....	33
5.1 Sinilevien runsauden yhteys eri ympäristötekijöihin .....	33
5.2 Typen ja fosforin suhteet .....	37
5.3 Hiilidioksidi .....	40
5.4 Alkali- ja maa-alkalimetallit .....	41
5.5 Seleenit .....	41
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
KIRJALLISUUS .....	43
LIITTEET	
Liite 1. Onkiveden havaintopisteet .....	45
Liite 2. Kevättömän havaintopisteet .....	46
Liite 3. Naarajärven havaintopisteet .....	47
Liite 4. Tutkimusjärvien fysikaalis-kemialliset määritykset .....	48
KUVAILEHTI .....	54
<b>Hanna Blomqvistin opinnäyte alkaa sivulta .....</b>	<b>55</b>

# 1 JOHDANTO

Vesistöihin kohdistuva lisääntynyt ravinnekuormitus johtaa vesiekosysteemin häiriintymiseen ja hyvin usein kiusallisiin sinileväesiintymiin. Voimakkaat sinilevien massaesiintymät haittaavat veden virkistyskäyttöä ja toksiset lajit suurina määrinä vedessä voivat olla tappavia vettä juoville eläimille. Lisäksi sinilevien on todettu aiheuttavan kalakuolemia, osin tosin välillisesti levien hajoamisen yhteydessä esiintyvän happikadon takia (Sevrin-Reyssac & Pletikovic 1990). Sinilevät voivat myös olla haittana pintavettä käyttäville vesilaitoksille.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli seurata kasviplanktonyhteisön kehitystä muutamissa järvissä jäiden lähdön jälkeisestä kevätmaksimista sinileväkukinnan puhkeamiseen asti, ja selvittää siihen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus tehtiin kesällä 1991 kolmessa Järvi-Suomen järvessä. Ym päristötekijöistä erityistä huomiota kiinnitettiin typen ja fosforin väliseen suhteeseen, jonka alenemisen on uskottu edistävän typensidontaan kykenevien sinilevien massaesiintymisiä (esim. Smith 1983). Typpi ja fosfori ovat tärkeimmät rehevöitymistä säätelevät ravinteet muiden ympäristötekijöiden kuten valon ja lämpötilan ohella. Typen ja fosforin pitoisuudet muuttuvat kasvukauden aikana usein rajoittavan pieniksi. (Pietiläinen & Kauppi 1993).

Fosforin on yleisesti oletettu säätelevän rehevöitymistä ja sen vuoksi vesiensuojelussa on keskitytty fosforinpoistoon. Koska typpi/fosforisuhteen alenemisen oletetaan johtavan lisääntyviin sinileväkukintoihin, on typen poistoa pidetty jopa haitallisena. Useimmiten alhainen typpi/fosfori-suhde johtuu sisäisestä kuormituksesta, mikä nostaa fosforipitoisuutta vedessä. Fosforikuormitus ja -pitoisuus on kuitenkin monessa tapauksessa pieni suomalaisissa järvissä. (Pietiläinen & Kauppi 1993).

## 2 SINILEVIEN ESIINTYMINEN JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Sinilevien (syanobakteerien) rakenteesta, ominaisuuksista ja esiintymisestä

Sinilevät luetaan mikrobiologiassa bakteereihin, koska niiltä puuttuu tumakelmun ympäröimä tuma ja niiden lisääntymistapa muistuttaa bakteereita. Lisäksi sinilevien soluista puuttuvat eukaryooteille ominaiset plastidit (esim. viherhiukkaset). Sinilevillä on yhtäläisyyksiä muiden levien kanssa, esim. morfologian ja pigmenttien kemiallisen rakenteen osalta. Useilla lajeilla on kaasuvakuoleja (-rakkuloita), joiden sijainti, määrä ja koko vaihtelee solun lajin, iän ja

fysiologisen tilan mukaan. Sinileväsoluissa ei myöskään ole varsinaista solun seinää vaan ohut periplasti, jonka vuoksi solujen muoto on yleensä yksinkertainen (pallo, soikean muna-  
mainen tms.). Solujen ympärillä on usein hyytelövaippa. Eräät sinilevälajit pystyvät sitomaan  
veteen liuenutta molekulaarista tyyppiä erikoistuneiden solujensa, heterosyyttien, avulla  
(esim. Stewart 1973). Solut esiintyvät yksittäin tai ryhminä (ketjuina, levyinä, kolonioina).  
Sinileviä esiintyy lähes kaikkialla: planktonissa, pohjalla, rantavyöhykkeessä, alustoille  
kiinnittyneenä, maaperässä. Niitä löydetään myös kuumista lähteistä ja jopa huonepölystä.  
Sinilevät jakaantuvat systemaattisesti viiteen lahkoon, joista planktonissa esiintyy vain kaksi:  
*Chroococcales* ja *Nostocales*. Sinilevien yhteydessä puhutaan usein veden kukinnasta, jolla  
tarkoitetaan sinilevien massaesiintymistä, tavallisesti veden pinnalla tai pintakerroksessa.

## 2.2 Sinileväkukintoja selittäviä hypoteeseja

Sinilevien valtaantulo on tunnusomainen piirre kesäaikana pohjoisissa järviökosysteemeissä,  
jotka ovat luonteeltaan vähintään mesotrofisia (Shapiro 1990). Lukuisten tutkimusten mukaan  
sinilevät ovat pitkän elinkautensa aikana kehittäneet useita sopeutumis- ja kilpailutapoja  
erityisesti järviolosuhteissa. Sinilevien on todettu muodostavan aineenvaihdunnan yhteydessä  
erilaisia biotoksiineja ja sinileväkukinnoista noin puolet saattaa olla myrkyllisiä (Sivonen ym.  
1990). Useita kilpailevia hypoteeseja on esitetty selittämään sinilevien valtaantuloa:

### 2.2.1 Veden kohonneen lämpötilan hypoteesi

Tämä hypoteesi perustuu sinilevien useita muita leväryhmiä korkeampaan lämpötilaoptimiin,  
mikä selittäisi keskikesän massaesiintymät. Toisaalta sinileväkukintoja tavataan myös talvella.  
(McQueen & Lean 1987).

### 2.2.2 Niukan valaistuksen hypoteesi

Sinilevien on todettu menestyvän vähäisemmässä valossa kuin viher- ja piilevät (Mur 1978).  
Smith (1986) tutki sinilevien osuutta biomassassa ja siihen vaikuttavia ympäristötekijöitä. Hän  
keräsi tietoa 22:sta järvestä ympäri maailmaa. Monimuuttujamenetelmällä saadut tulokset  
osoittivat, että kokonaistyyppi (TN), kokonaisfosfori (TP) ja valon määrä vaikuttivat määrää-  
västi sinilevien osuuteen biomassasta. Smith esitti, että tietyllä N/P-suhteella sinilevien  
suhteellinen biomassa kasvaa, kun valon saatavuus vähenee.

### 2.2.3 N/P-suhteen hypoteesi

Edellisiä tarkemmin on tutkittu N/P-suhteen hypoteesia, jonka mukaan sinilevien oletetaan  
hyötyvän matalasta N/P-suhteesta). Smith (1983) analysoi 17 järven tiedot, joista kävi ilmi,  
että vaikka sinilevien osuus biomassasta vaihteli välillä 0-100% matalalla TN/TP-suhteella

(<29/1), esiintyi sinileviä vain vähäisessä määrin kun suhde kasvoi. Edellisestä poiketen Ontarion Lake St. George järvellä tehdyssä tutkimuksessa ei havaittu korrelaatiota sinilevien ja TN/TP-suhteen välillä (McQueen 1987). Sen sijaan sinilevien osuus biomassasta korreloi positiivisesti lämpötilan ja negatiivisesti nitraattitypen, epäorgaaniseen typen ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ ) sekä nitraattitypen ja kokonaistypen välisen suhteen kanssa. McQueen esitti että, todennäköisyys sinileväkukinnan esiintymiselle oli korkea, kun lämpötila ylitti  $21^\circ\text{C}$  samanaikaisesti kun nitraattitypen ja kokonaisfosforin välinen suhde oli alle 5:1. N/P-suhteen merkitystä korostavan hypoteesin mukainen on myös Royley ja Kingin (1992) havainto, että sinilevien suhteellinen osuus kasviplanktonista korreloi negatiivisesti mesotrofisen järven nitriitti/nitraattityppipitoisuuden kanssa, kun taas viherlevien suhteellinen osuus korreloi positiivisesti sen kanssa.

Yhdysvalloissa Wisconsinissa tutkittiin (Lathrop 1988) estääkö suuri liukoisen epäorgaanisen typen pitoisuus tai korkea kokonaistypen ja -fosforin suhde kesäiset sinileväkukinnat matalassa hypereutrofisessa järvessä. Tutkimus suoritettiin lisäämällä kohdejärveen typpilannoitetta kesäkausi 1981-82. Molempina kesinä esiintyi kuitenkin sinileväkukintoja, vaikka epäorgaanisen fosforin pitoisuus oli matalampi verrattuna koetta edeltäviin kesiin. Lathrop olikin sitä mieltä, ettei alhainen liukoisen epäorgaanisen typen määrä laukaisisi sinileväkukintoja ja että matala TN/TP olisi ennemminkin sinileväkukintojen seuraus kuin niiden syy.

Ruotsissa tutkittiin (Smith ym. 1987) monimuuttuja-analyysin avulla neljän eri sinilevälajin (*Aphanizomenon flos-aquaen*, *Anabaena flos-aquaen*, *Oscillatoria agardhin* ja *Microcystis aeruginosan*) yhteyksiä eri ympäristötekijöiden kanssa. Analyysin perusteella kokonaisfosforipitoisuus oli ensisijainen vaikuttaja suuriin sinileväesiintymiin; kokonaisfosfori korreloi merkitsevän positiivisesti varsinkin *Microcystis aeruginosan* ja *Oscillatoria agardhiin* suhteen. Lisäksi havaittiin, että pieni kokonaissyvyys ja hiilidioksidipitoisuus sekä korkea veden lämpötila ja kokonaistyyppipitoisuus olivat tärkeitä tekijöitä sinilevien lisääntymiselle. Ympäristövaatimukset olivat erilaisia eri sinilevälajeilla.

Rehevöityneen itävaltalaisen alppijärven (Mondsee) fosforikuormitusta vähennettiin tasosta 26 t/v tasoon 9 t/v. Epäorgaanisen typen määrä ei vähentynyt, mutta klorofyllia -pitoisuus ja leväplanktonin biomassa laskivat mesotrofiselle tasolle. Samalla sinileväesiintymät (*Oscillatoria rubescens*) vähentyivät huomattavasti (Dokulil & Jagsch 1992).

Kuortaneenjärven aineistosta tehdyn kanonisen korrelaatioanalyysin mukaan N/P-suhteet (kokonaisravinne- ja mineraaliravannesuhde) korreloivat erittäin negatiivisesti sinilevien kanssa (Varis 1991). Kokonaisfosforilla oli merkittävä positiivinen korrelaatio sinilevien kanssa.

### 2.2.4 Keijumishypoteesi

Keijumishypoteesi perustuu siihen, että kaasuvakuolliset sinilevät kykenevät tyynessä vesimassassa saavuttamaan optimiolosuhteet muita leväryhmiä helpommin. Jos veden stabiliteetti on korkea eli turbulenssi on vähäistä tai sitä ei ole lainkaan (meromiktiset, syvät ja suolaiset järvet) sinilevien massaesiintymät ovat mahdollisia, vaikka ravintetaso on alhainen (Steinberg & Hartmann 1988). Ibeling ym. (1991) tarkastelivat järven sekoittuvaan kerrokseen tulevan valon määrän vaikutusta *Microcystis*-sinilevälajin keijuntakykyyn. *Microcystis*-koloniat reagoivat suureen valon määrään vähentämällä keijumistaan. Alemmissä kerroksissa olleet koloniat puolestaan säilyttivät keijuntakykynsä. Vesikerroksen korkea stabiilisuus ja lisääntynyt aika, jonka sinileväkoloniat viettivät hyvin valaistussa kerroksessa vaikuttivat yhdessä hiilidioksidin akkumuloitumiseen levien soluihin. Tämä taas aiheutti keijuntakyvyn huonontumisen.

### 2.2.5 Laidunnushypoteesi

Erityisesti ravintoaan suodattava eläinplankton ei pysty tehokkaasti, jos lainkaan, käyttämään sinileviä ravinnokseen, mikä edesauttaa sinilevien valtaantuloa ja muihin kasviplanktonlajeihin kohdistuva laidunnus kasvaa (Shapiro 1990). Sinilevien huono ravintoarvo ja mahdollinen toksisuus sekä koloniaalinen ja rihmamainen morfologia voivat vähentää eläinplanktonin laidunnustehokkuutta (Fulton & Paerl 1987).

### 2.2.6 CO<sub>2</sub>/pH -hypoteesi

Tämän hypoteesin mukaan sinileville on etua alhaisesta CO<sub>2</sub>-pitoisuudesta ja/tai korkeasta pH:sta (Shapiro 1990). Kun levien biomassan kasvaessa fotosynteettinen aktiivisuus on suuri, veden hiilidioksidipitoisuus alenee ja pH nousee. Kingin (1970) mukaan sinilevät pystyvät sitomaan epäorgaanista hiiltä alhaisessa hiilidioksidipitoisuudessa tehokkaammin kuin viherlevät. Hän esitti, että sinileville kriittinen CO<sub>2</sub>-pitoisuus on 0.003 ja viherlevien vastaava raja on 0.010 mMol CO<sub>2</sub>/l. CO<sub>2</sub>/pH-hypoteesi ja monet muut em. hypoteesit (korkea lämpötila, alhainen N/P-suhde, keijuvuus ja alhainen laidunnus) ovat yhteydessä toisiinsa (Shapiro 1990).

Yhdysvalloissa tutkittiin hiilidioksidin, valon ja ammoniumtyypen vaikutusta sinilevä *Anabaena flos-aquaen* keijuntakykyyn ja kasvuun (Spencer & King 1989). Korkea valointensiteetti lisäsi levän kasvua, samalla kun vähensi sen keijuntakykyä, koska solun lisääntynyt turgoripaine painoi kaasurakkulat kasaan. Kun valaistuksen määrä väheni levien kasvu hidastui ja keijumiskykyä alkoivat säädellä veden hiilidioksidi- ja ammoniumtyyppipitoisuus. Keijuntakyky parani kun hiilidioksidia oli vähän ja huononi kun ammoniumtyyppiä oli niukasti.

Spencer ja King esittivät, että kukintatodennäköisyys nousee olosuhteissa, joissa CO<sub>2</sub>:n määrä on alhainen ja epäorgaanisen typen määrä lisääntynyt.

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Näytteenottopaikat ja ajat

Tutkimus kohdistui kolmeen Vuoksen vesistöön kuuluvaan järveen, joista Kevätön ja Onkivesi olivat reheviä, toistuvasti sinileväkukintojen vaivaamia, ja vertailujärveksi valittiin karu Naarajärvi, jossa ei ole esiintynyt sinileviä.

Kaikki järvet olivat lievästi humuspitoisia ja keskisyvyydeltään 2-3 metriä. Kevätön ja Naarajärvi ovat pinta-alaltaankin samaa luokkaa, edellinen 4.07 km<sup>2</sup> ja jälkimmäinen 2.82 km<sup>2</sup>. Lähivaluma-alueiden pinta-alat ovat vastaavasti 16.7 km<sup>2</sup> ja 11.4 km<sup>2</sup>.

Onkivesi on muita tutkimusjärviä selvästi suurempi (järven pinta-ala 118 km<sup>2</sup> ja lähivaluma-alue 414 km<sup>2</sup>). Se eroaa muista tutkimusjärvistä myös siinä mielessä, että se on Iisalmen reitin keskusjärviä ja siihen tulee vesiä kaikkiaan 5565 km<sup>2</sup>:n alalta.

Kevättömän ja Onkiveden lähivaluma-alueiden maapinta-alasta on peltoja noin 30%. Kevättömällä ei tällä hetkellä ole pistekuormitusta, mutta järveen on laskettu Harjamäen sairaalan jätevesiä 30-luvulta vuoteen 1975. Onkiveden ainoa pistekuormittaja on kunnan jätevedenpuhdistamo. Naarajärven valuma-alueella peltojen osuus on vain 2-4% eikä järveen johdeta jätevesiä.

Kaikilla järvillä näytteet otettiin ulappa-alueelta n. 10-12 metrin syvyydestä paikasta, joka Kevättömällä ja Naarajärvellä edusti syvintä kohtaa. Onkiveden syvännealueen hapetuksen vuoksi näytteenottopaikaksi valittiin pari metriä matalampi kohta 1.7 km etelämpänä. Tämäkin paikka oli topografialtaan samanlainen kuin muut näytteenottopaikat eli se ei sijainnut syvännealueen reunalla vaan oli oman lähialueensa syvin kohta. Kullakin järvellä toinen näytteenottopaikka oli lähellä peltorantaa n. 1.5 metrin syvyinen kohta. (Liitteet 1,2 ja 3).

Rehevistä järvistä otettiin näytteitä viikoittain tai kahden viikon välein kevättäyskierrosta sinileväkukinnon alkamiseen asti ja kerran syyskuussa. Naarajärvellä näytteenotto oli harvempaa.

Näytteenottoajankohdat olivat:

Kevättömällä 21.5, 4.6, 10.6, 17.6, 1.7 ja 2.9 1991;



Onkivedellä 27.5, 6.6, 11.6, 24.6, 2.7 ja 3.9 1991;  
Naarajärvellä 3.6, 25.6, 11.7 ja 9.9 1991.

### 3.2 Näytteenotto

Happi- ja hiilidioksidinäytteet otettiin Limnos-tyyppisellä noutimella kahden metrin välein ja 0.5 metriä pohjasta. Samalla mitattiin lämpötila. Jos ilmeni kerrostuneisuutta näytteet otettiin metrin välein.

Muut vesinäytteet (pH, alkaliniteetti, klorofylli, natrium, kalium, kalsium, magnesium, kokonaistyyppi, nitraattityppi, nitriittityppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kemiallinen hapenkulutus (COD), sameus, kasviplankton, seleeni) otettiin vertikaalisesti kahden metrin pituisella putkinoutimella (sisähalkaisija 32 mm) 0-2 metrin, 2-4 metrin, 4-6 metrin jne. vesipatsaasta. Näytteenoton alarajaan (0.5 metriä pohjasta) ei päästy putkinoutimella, joten alin näyte otettiin kerroksittain Limnos-noutimella. Putkinoutimella nostettiin kustakin syvyydestä neljä vesipatsasta, jotka yhdistettiin kokoomanäytteeksi. Alin näyte koostui vain vertikaalisista osanäytteistä. Kasviplanktonnäytteet kestävöitiin kentällä lisäämällä niihin hapanta Lugolin liuosta ja laboratoriossa vielä neutraloitua formaliinia. Ranta-alueelta näytteet otettiin Sormunen-tyyppisellä putkinoutimella (pituus 1 m, sisähalkaisija 74 mm) 0-1 metrin syvyydestä.

### 3.3 Fysikaalis-kemialliset analyysit

Näytteet analysoitiin standardin mukaisesti: liukoinen happi (SFS 3040), hiilidioksidi (vesihalituksen ohje v. 1972), kokonaisfosfori ja -typpi (SFS 3026, SFS 3031), suodatettu fosfaattifosfori (SFS 3025), nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtyppi (SFS 3030, SFS 3029, SFS 3032), kemiallinen hapenkulutus, COD<sub>mn</sub> (SFS 3036), sameus (SFS 3024), sähkönjohtokyky (SFS 3022), alkaliniteetti (SFS 3005) ja pH (SFS 3021). Näytteenottopäivänä määritettiin hiilidioksidipitoisuus sekä suodatettiin fosfaattifosfori. Loput määrittelyistä tehtiin seuraavana päivänä.

Alkali- ja maa-alkalimetallit sekä seleeni määritettiin Vesi- ja ympäristöhallituksen laboratoriossa Helsingissä.

### 3.4 Kasviplanktonlaskenta

Kasviplanktonnäytteitä laskeutettiin 50 ml:n kyveteissä noin kaksi vuorokautta. Näytteet oli tiheydestä riippuen laimennettu tislattulla vedellä. Useimmissa tapauksissa laimennus oli 1/5.

Sinilevien laskeuttamisen helpottamiseksi lisättiin useimpiin laimennettuihin näytteisiin pari pisaraa astianpesuainetta detergentiksi (Tikkanen 1986).

Levälaskenta suoritettiin käänteismikroskoopilla (Leitz Wetzlar GMBH, malli 090-127.012) 400- ja 100-kertaisella suurennoksella. Laskettujen näkökenttien lukumäärä riippui näytteen tiheydestä; 400-kertaisella suurennoksella luku vaihteli välillä 30-50 ja 100-kertaisella välillä 15-20. Tavoitteena oli saada tietty määrä laskentayksiköitä. Näkökentät valittiin satunnaisesti kyvetin pohjan ristikkäisiltä halkaisijoilta ja joissakin tapauksissa lisäksi väliin jääneiltä sektoreilta. Suurempikokoiset leväsuvut tai -lajit laskettiin koko kyvetin alueelta. Tavoitteena oli laskea runsaimmin edustettuihin lajeihin/sukuihin kuuluvien yksiköiden määrä. Sinilevät laskettiin mahdollisuuksien mukaan lajeittain. Lajien/sukujen kappalemääristä laskettiin edelleen biomassaosuudet.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Fysikaalis-kemialliset määritykset

#### 4.1.1 Lämpötila

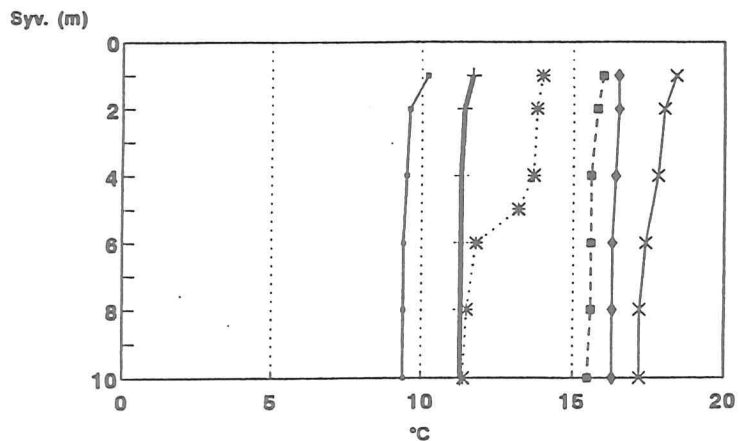
Onkivesi oli termisesti kerrostunut vain kesäkuun keskivaiheilla (kuva 1). Kesäkuun lopulla koko vesimassa oli 15-16- ja heinäkuun alussa 17-18-asteista. Syyskuun alussa vesimassa oli 16-16.5-asteista.

Kevätön oli myös kerrostunut ennen kesäkuun puolta väliä, ei kuitenkaan niin selvästi kuin Onkivesi (kuva 2). Kerrostuneisuus purkautui nopeasti, mutta heinäkuun alussa on nähtävissä uutta kerrostumista: ylin kuuden metrin vesipatsas oli lähes 18-asteista, siitä alaspäin lämpötila laski vaiheittain 15.5-asteeseen. Syyskuun alussa lämpötila koko vesimassassa oli hieman yli 16-asteista.

Naarajärvi oli alkanut kerrostua jo kesäkuun alussa; tällöin päälly- ja alusveden välinen lämpötilaero oli 4-5-astetta (kuva 3). Kesäkuun puolivälissä lämpötilaero oli jo 13-astetta. Harppauskerros jäi noin 8-asteiseksi.

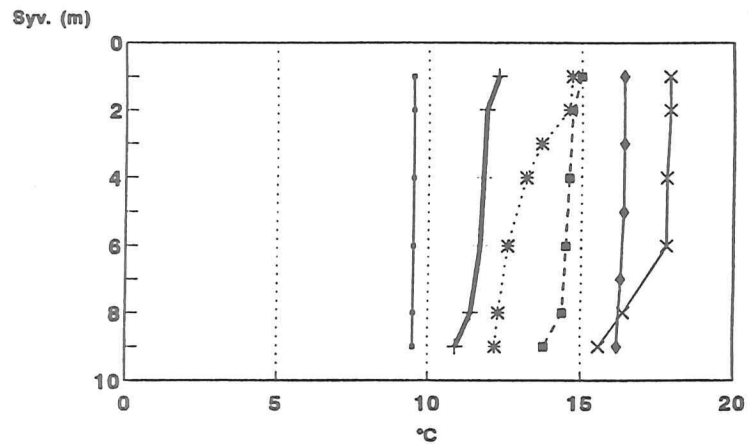
#### 4.1.2 Näkösyvyys, väri ja sameus

Onkiveden näkösyvyys oli koko havaintokauden ajan 1-1.2 m (kuva 4). Väriluku oli 100 mg Pt/l ja sameus vaihteli keskimäärin 3.4-5.3 FTU ollen pienimmillään kesäkuun puolessavälissä (liite 4).



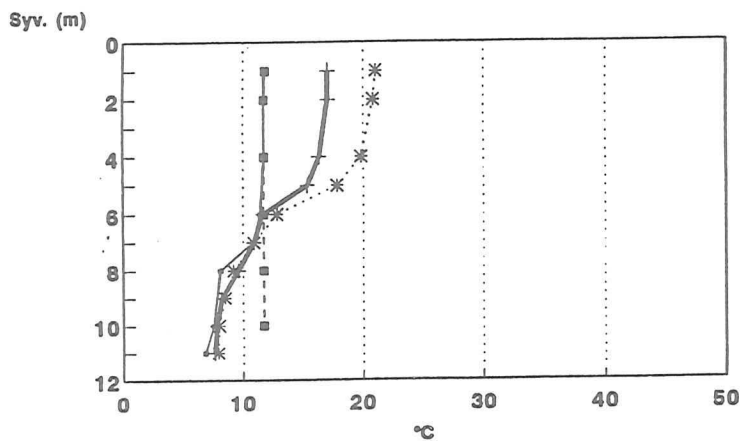
→ 27.5 + 6.6 \* 11.8 → 24.6 \* 2.7 → 3.9.

KUVA 1. ONKIVEDEN LÄMPÖTILAKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



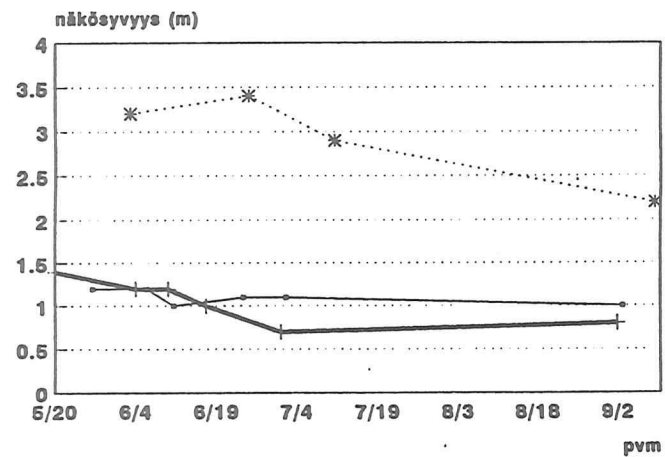
→ 21.5 + 4.6 \* 10.6 → 17.6 \* 1.7 → 2.9.

KUVA 2. KEVÄTTÖMÄN LÄMPÖTILAKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



→ 3.6 + 25.6 \* 11.7 → 9.9.

KUVA 3. NAARAJÄRVEN LÄMPÖTILAKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



→ Onkivesi + Kevätön \* Naarajärvi

KUVA 4. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN NÄKÖSYVYYDET, 1991

Kevättömän näkösyvyys oli kevättäyskierron aikana 1.4 m, heinäkuun alkuun mennessä se pieneni 0.7 m:ksi ja oli vielä syyskuun alussakin vain 0.8 m (kuva 4). Väiriluku oli 70 mg Pt/l. Sameus kohosi kevään 4.7 FTU:sta heinäkuun alun 10.5 FTU:hun ja syyskuun alkuun mennessä 11 FTU:hun. (Liite 4).

Naarajärven näkösyvyys vaihteli kesäkuusta heinäkuun puoliväliin 3-3.5 m, mutta syyskuun alussa se oli vähentynyt 2.2 metriin (kuva 4). Väiriluku oli noin 50 mg Pt/l ja sameus pääosassa vesimassaa 1.1-1.4 FTU, mutta pohjan lähellä arvot olivat selvästi suuremmat (liite 4).

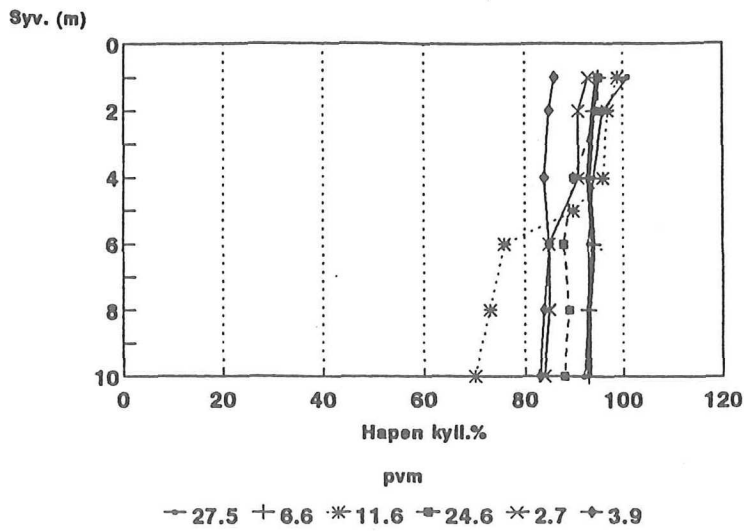
#### 4.1.3 Happi- ja hiilidioksidipitoisuudet

Onkivedellä happitilanne oli koko havaintojaksoajan enimmäkseen erinomainen. Jatkuvan sekoittumisen vuoksi Onkiveden happikäyrät olivat ortogradisia (kuva 5). Ainoastaan 11.6., jolloin järvi oli termisestäkin kerrostunut, happikäyrä oli klinogradinen. Tällöin alusveteen oli rikastunut hiilidioksidia noin 6 mg/l (liite 4). Muun vesimassan hiilidioksiditaso oli 2.6-3.1 mg/l.

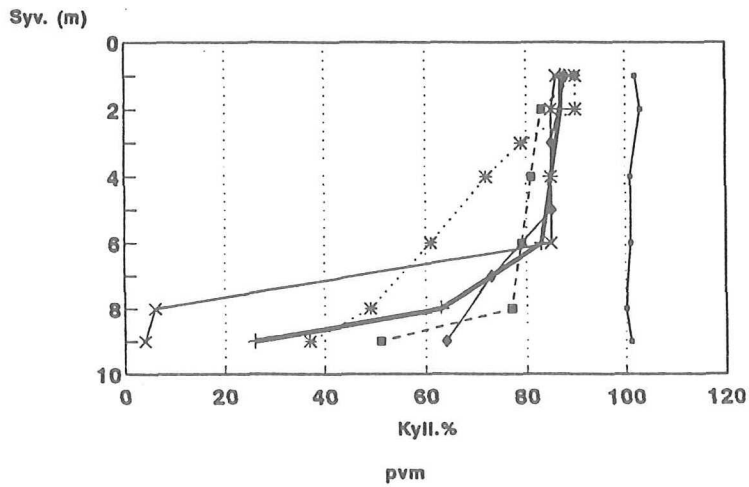
Ranta-alueen happipitoisuudet olivat yli 10 mg/l ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus keskimäärin 2.5 mg/l kevättäyskierrosta kesäkuun alkupuolelle asti (liite 4). Heinäkuun alkupuolella hiilidioksidipitoisuus oli 2.2 mg/l. Syyskuun alussa päällysveden happipitoisuus oli alimmillaan, silloinkin tosin yli 8 mg/l ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli noussut 3.8 mg/l:aan.

Kevättömän happitilanne eroaa melkoisesti Onkivedestä (kuva 6). Kevättömän happikäyrä oli ortogradinen ainoastaan 21.5. kevättäyskierron lopulla, muut käyrät ovat vahvasti klinogradisia. Kesäkuun alussa oli alusveden happipitoisuus pohjan läheisyydessä välttävä; heinäkuun alussa se oli jo huono. Syyskuun alussa happitilanne oli koko vesimassassa hyvä. Pohjanläheinen hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä 7.4-11.4 mg/l (liite 4), kun taas pinnasta kuuteen metriin ulottuvan vesipatsaan CO<sub>2</sub>-pitoisuus vaihteli keskimäärin 2.7:sta 4.5 mg/l:aan. Pohjanläheinen CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli suurimmillaan silloin, kun ylemmän vesikerroksen CO<sub>2</sub>-pitoisuus oli pienimmillään ja päinvastoin. Ranta-alueella hapen kyllästysaste oli yleensä yli 90%; hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä 2.3-3.4 mg/l (liite 4).

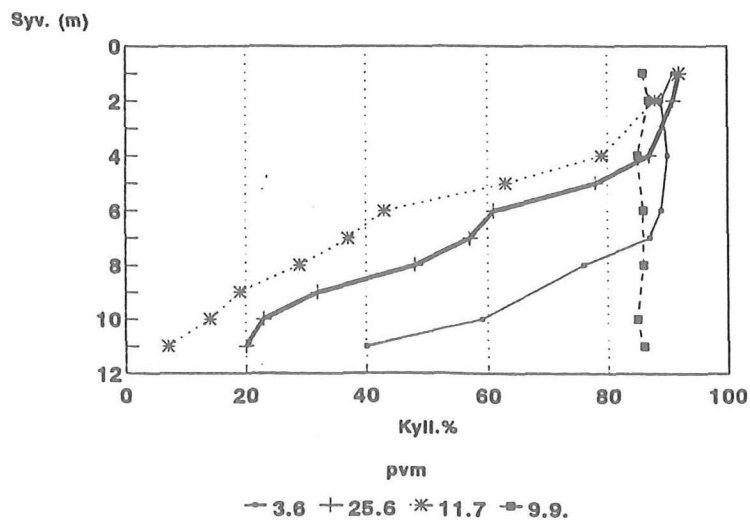
Naarajärven happikäyrä eroaa karun järven tavallisesti ortogradisesta happikäyrästä (kuva 7). Naarajärven alusveden happitilanne oli kesälläkin varsin huono. Hiilidioksidia rikastui Naarajärven alusveteen enemmän kuin Kevättömän: huhtikuun puolivälissä CO<sub>2</sub>-pitoisuus 0.5 metrin etäisyydellä pohjasta oli jo lähes 15 mg/l (liite 4). Rannassa hapen kyllästysaste oli keskimäärin 89% ja hiilidioksidipitoisuus vastaavasti 2.4 mg/l (liite 4).



KUVA 5. ONKIVEDEN HAPPIKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 6. KEVÄTTÖMÄN HAPPIKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 7. NAARAJÄRVEN HAPPIKÄYRÄT SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991

#### 4.1.4 Kokonaisfosfori

Onkiveden ja Kevättömän fosforipitoisuudet ovat samaa luokkaa, 40-60  $\mu\text{g/l}$  (kuva 8). Kevättömässä on kuitenkin pohjan lähellä selvästi enemmän fosforia (70-100  $\mu\text{g/l}$ ) kuin yläpuolisessa vesimassassa, kun taas Onkivedellä ei vastaavia eroja ole. Naarajärven kokonaisfosforipitoisuudet olivat noin 10  $\mu\text{g/l}$  (kuva 8). Kunkin järven rantapisteiden fosforipitoisuudet olivat niiden syvännepisteiden tasoa. Onkiveden maksimipitoisuus (62  $\mu\text{g/l}$ ) oli syyskuun alussa ja Kevättömän vastaava (69  $\mu\text{g/l}$ ) heinäkuun alussa. (Liite 4).

#### 4.1.5 Liuenut epäorgaaninen fosfaatti

Ensimmäisellä näytteenottokerralla sekä Onkivedellä että Kevättömällä oli vapaata fosfaattifosforia keskimäärin 7.5  $\mu\text{g/l}$  (kuva 9). Onkivedellä fosfaattifosforipitoisuus aleni hitaasti kesän kuluessa ja oli heinäkuun alussa 3-4  $\mu\text{g/l}$ . Syyskuun alussa pitoisuus nousi jälleen alkukesän tasolle, yli 7  $\mu\text{g/l}$ :aan. Kevättömällä fosfaattifosforipitoisuus aleni selvästi nopeammin kuin Onkivedellä; kesäkuun alussa ylimmässä neljän metrin vesikerroksessa pitoisuus oli enää 1  $\mu\text{gP/l}$  (kuva 9). Heinäkuun puolessa välissä ja syyskuun alussa fosfaattipitoisuus oli lähellä pohjaakin yhtä alhainen. Naarajärven fosfaattipitoisuus oli samaa tasoa Kevättömän kanssa (kuva 9).

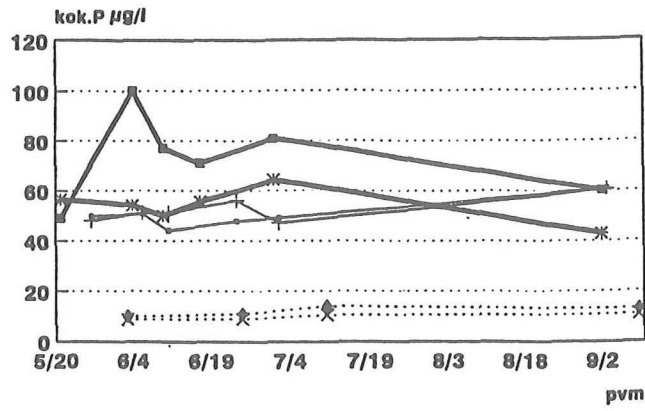
Kunki järven rannan fosfaattipitoisuudet noudattivat melko tarkasti syvännepisteen pitoisuuksia (kuva 10).

#### 4.1.6 Kokonaistyyppi

Onkiveden ja Kevättömän kokonaistyyppipitoisuudet olivat havaintojakson alussa samalla tasolla noin 800  $\mu\text{g/l}$  (kuva 11). Onkiveden pitoisuus laski kesäkuun aikana 500-600  $\mu\text{g/l}$ :aan ja oli sitä luokkaa myös syyskuun alussa. Kevättömässä kokonaistyyppipitoisuus säilyi päällysvedessä suurin piirtein ennallaan, mutta alusveden pitoisuus alkoi nousta ja oli heinäkuun alussa 1400  $\mu\text{g/l}$ . Alusveden kokonaistyyppipitoisuus oli syyskuun alussa (kuvat 8, 9, 10) laskenut jälleen alle 800  $\mu\text{g/l}$ :n. Naarajärvessä kokonaistyyppipitoisuudet olivat välillä 300-400  $\mu\text{g/l}$  koko havaintojakson ajan (kuva 11).

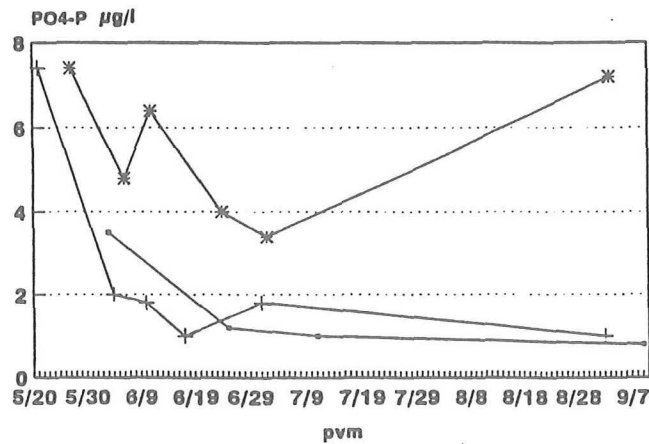
#### 4.1.7 Epäorgaaninen typpi

Onkiveden ammoniumtyppipitoisuudet vaihtelivat yleensä välillä 5-10  $\mu\text{g/l}$  (kuva 12). Muutosta tästä oli havaittavissa ennen kesäkuun puolta väliä, jolloin pohjan läheisyyteen oli rikastunut 20-30  $\mu\text{g NH}_4/\text{l}$ . Lisäksi syyskuun alkupuolella oli pintaveden ammoniumtyppipitoisuus hieman kohonnut. Onkiveden rannan ammoniumtyppipitoisuus oli syvänteen päällysveden tasolla (kuva 13).



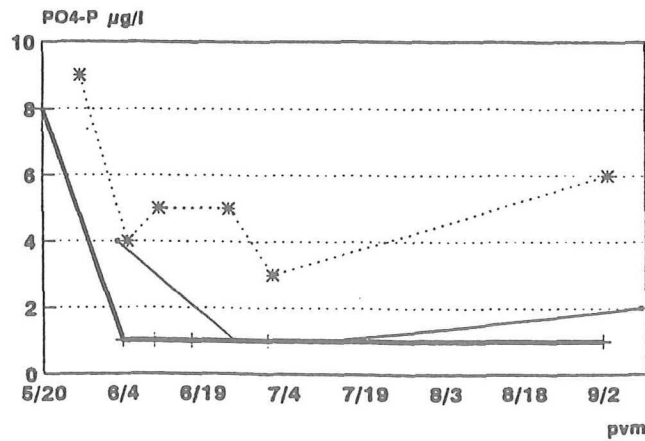
— Onkivesi 0-8 m    + Onkivesi 9.9 m    \* Kevätön 0-8 m  
 — Kevätön 9.3 m    × Naarajärvi 0-8 m    ◆ Naarajärvi 11.5 m

KUVA 8. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN KOKONAISFOSFORI, 1991  
 (0-8 m keeiklarvo ja 0.5 m pohjasta)



— Naarajärvi    + Kevätön    \* Onkivesi

KUVA 9. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN FOSFAATTIFOSFORI, 1991  
 (koko veelmassan ka.)



— Naarajärvi    + Kevätön    \* Onkivesi

KUVA 10. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN RANTA-ALUEEN (0-1 M) FOSFAATTIFOSFORI, 1991

Kevättömässä ammoniumtyyppipitoisuus oli kevättäyskierron aikaan 20-27  $\mu\text{g/l}$  ja heti kesäkuun alussa pohjanläheinen pitoisuus oli kohonnut 240  $\mu\text{g/l}$ :aan (kuva 14). Heinäkuun alussa alusveden pitoisuus oli jo 440  $\mu\text{g/l}$ . Syyskuun alussa ammoniumtyppi oli suurimmassa osassa vesimassaa lähes lopussa; vain pohjan läheisyydessä pitoisuus oli vielä 23  $\mu\text{g/l}$ . Kevättömän rannan ammoniumtyyppipitoisuus oli korkeimmillaan kesäkuun puolessa välissä noin 14  $\mu\text{g/l}$ . Heinäkuun alusta syyskuun alkuun pitoisuus pysyi noin 5  $\mu\text{g/l}$ :na (kuva 13).

Naarajärvässä ammoniumtyypeä oli Onkiveden tapaan jonkin verran rikastunut pohjan lähelle (8-11.5 m); enimmillään 160  $\mu\text{g/l}$  (kuva 12). Syyskuun alkupuolella pitoisuus oli koko vesimassassa noin 5  $\mu\text{g/l}$ . Rannan ammoniumpitoisuudet vaihtelivat 5  $\mu\text{g/l}$  molemmin puolin (kuva 13).

Onkiveden nitraattityyppipitoisuus oli kevättäyskierron aikana noin 270  $\mu\text{g/l}$  ja Kevättömän noin 70  $\mu\text{g/l}$  (kuva 15). Onkiveden pitoisuus laski nopeasti ja oli kesäkuun loppupuolella noin 60  $\mu\text{g/l}$ . Heinäkuun alussa oli vesimassan keskipitoisuus enää alle 20  $\mu\text{g/l}$ , mikä oli tilanne myös syyskuun alussa. Kevättömällä nitraattityypeä oli jo kesäkuun alussa alle määrittämissä (kuva 15).

Naarajärven nitraattityyppipitoisuus kasvoi pohjaa kohden mentäessä: pitoisuus oli päällysvetessä (< 6 m) yleensä korkeintaan 5  $\mu\text{g/l}$ , mutta puoli metriä pohjan yläpuolella se oli 40-50  $\mu\text{g/l}$ . Kuvassa 15 on esitetty vesimassan nitraattityypin keskiarvopitoisuudet. Syyskuun alkupuolella nitraattityppi oli pohjan läheisyydessäkin kulunut loppuun. Rannan nitraattityyppipitoisuudet olivat Onkivedellä ja Kevättömällä koko havaintojakson miltei syvänpitoisuuksia vastaavat. Naarajärvellä nitraattia oli rannassa selvästi vähemmän kuin syvänteessä. (Kuva 16).

#### 4.1.8 Alkali- ja maa-alkalit

Onkiveden alkali- ja maa-alkalipitoisuudet pysyivät koko havaintokauden ajan alle 4  $\text{mg/l}$  (kuva 17). Muutosta havaintokertojen välillä ei juuri tapahtunut. Ainoastaan syyskuun alussa oli havaittavissa pientä lisäystä, eniten kalsiumin ja natriumin osalta.

Kevättömällä vastaavat pitoisuudet olivat kauttaaltaan korkeammat, esimerkiksi kalsiumia oli lähes 8  $\text{mg/l}$  (kuva 18). Toisin kuin Onkivedellä natriumia oli kationeista vähiten, noin 2  $\text{mg/l}$  koko havaintojakson ajan. Myös muiden kationien pitoisuudet pysyivät lähes samalla tasolla.

Naarajärvellä kationipitoisuudet olivat pienimmät, ainoastaan kalsiumpitoisuus oli lähes Onkiveden luokkaa (kuva 19). Kalsiumin osalta oli havaittavissa pientä pitoisuuden kasvua läpi havaintojakson ja muista tutkimusjärivistä poiketen nousi Naarajärven magnesiumipitoisuus hetkellisesti kesäkuun lopulla.



#### 4.1.9 Hiukkasmainen ja liukoinen seleeni

Onkivedellä hiukkasmaisen seleenin pitoisuus oli korkein 4-6 metrissä, keskimäärin 8 ng/l, lähes koko havaintojakson ajan (taulukko 1). Kesäkuun alkupuolella 6.6-11.6 nousi pintaveden pitoisuus 0.3 ng/l:sta 8.1 ng/l:aan; kuun loppupuolella pitoisuus oli enää 3.3 ng/l. Liukoisen seleenin määrä ei juuri vaihdellut syvyyden eikä ajankaan suhteen (taulukko 1). Keskimääräisesti suurin pitoisuus, 54 ng/l, esiintyi 2-4 metrissä. Suurin muutos pintaveden pitoisuudessa oli touko-kesäkuun vaihteessa, jolloin liukoisen seleenin määrä laski 53.9 ng/l:sta 46.0 ng/l:aan.

Kevättömässä hiukkasmaisen seleenin pitoisuus pintavedessä oli 4.6 alle määritysrajan ja nousi 17.6 9.4 ng/l:aan (taulukko 2). Heinäkuun alussa pinnan pitoisuus oli enää alle 2 ng/l. Kesäkuun puolessavälissä hiukkasmaisen seleenin pitoisuus väheni syvyyden lisääntyessä noin 6-7 metriin asti. Pintaveden liukoisen seleenin pitoisuus laski Kevättömässä 33.7 ng/l:sta 27.9 ng/l:aan samanaikaisesti hiukkasmaisen seleenin määrän noustessa; heinäkuun alussa pitoisuus jälleen nousi lähes 35 ng/l:aan (taulukko 2). Liukoisen seleeni osalta Kevättömän pitoisuudet olivat keskimäärin 20 ng/l matalammat kuin Onkivedessä.

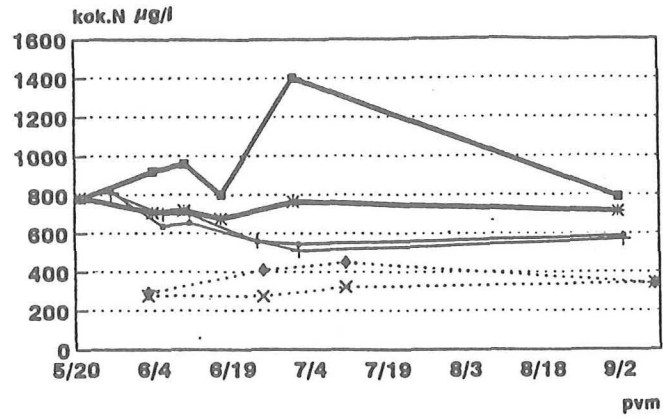
Naarajärvellä sekä hiukkasmaisen että liukoisen seleenin pitoisuus kohosi päällysvedessä kesäkuun kuluessa (taulukko 3). Hiukkasmaista seleeniä oli kuun alussa 0.3 ng/l ja lopussa 2 ng/l; liukoisen seleenin määrä kasvoi noin 41 ng/l:sta yli 45 ng/l:aan. Hiukkasmaisen seleeni oli heinäkuussa rikastunut alusveteen, jossa pitoisuus oli miltei 17 ng/l. Liukoinen seleeni, jonka keskipitoisuus oli 43,5 ng/l, oli melko tasaisesti jakaantunut vesimassaan koko havaintojakson ajan.

Rantapisteen pitoisuudet olivat liukoisen seleenin osalta syvännepistettä hiukan alemmat jokaisessa järvessä (taulukko 4). Hiukkasmaista seleeniä taas oli rannan tuntumassa selvästi vähemmän kuin syvänteissä lukuunottamatta Onkivettä, jossa rannan pitoisuus hieman ylitti syvänteen pitoisuuden.

## 4.2 Ravinnesuhteet

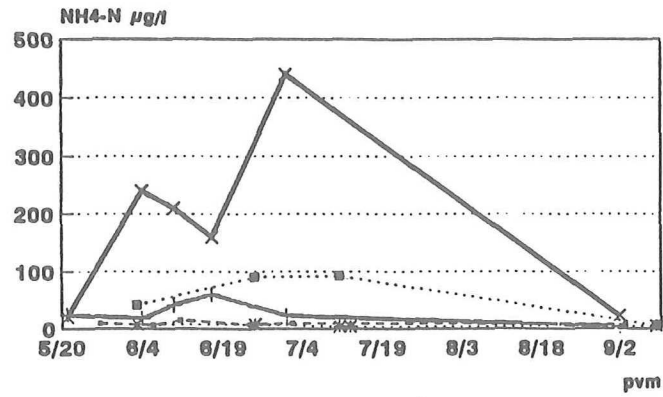
### 4.2.1 Mineraaliravinnesuhde

Kun epäorgaanisen typen ja fosforin välinen suhde on pienempi kuin viisi, on typpi perustuotannon minimitekijä ja suhteen ollessa suurempi kuin 12 rajoittavana tekijänä on fosfori (Forsberg ym. 1978). Raja-arvojen välillä minimitekijä voi olla kumpi tahansa.



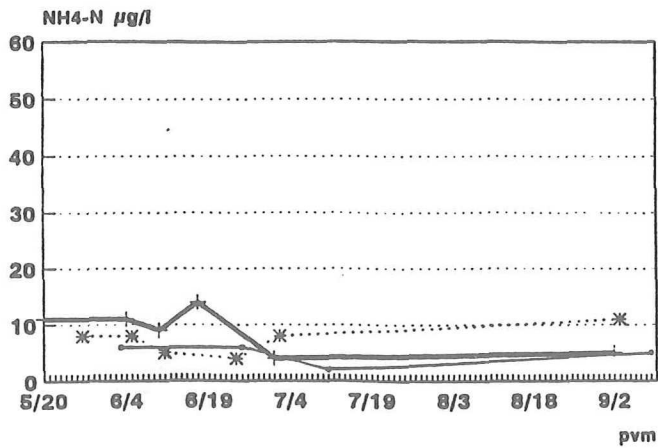
— Onkivesi 0-8 m    + Onkivesi 9.9 m    \* Kevätön 0-8 m  
 - Kevätön 9.3 m    \* Naarajärvi 0-8 m    ◆ Naarajärvi 11.5 m

KUVA 11. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN KOKONAISTYYPPI, 1991



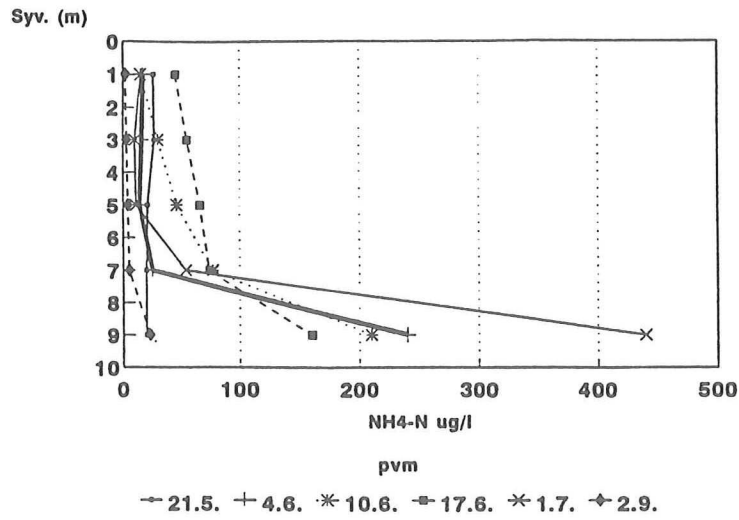
— Onkivesi (0-9.9 m)    + Kevätön (0-8 m)  
 \* Naarajärvi (0-8 m)    ◆ Naarajärvi (8-11.5 m)  
 \* Kevätön (8-9.3 m)

KUVA 12. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN AMMONIUMTYYPPI, 1991

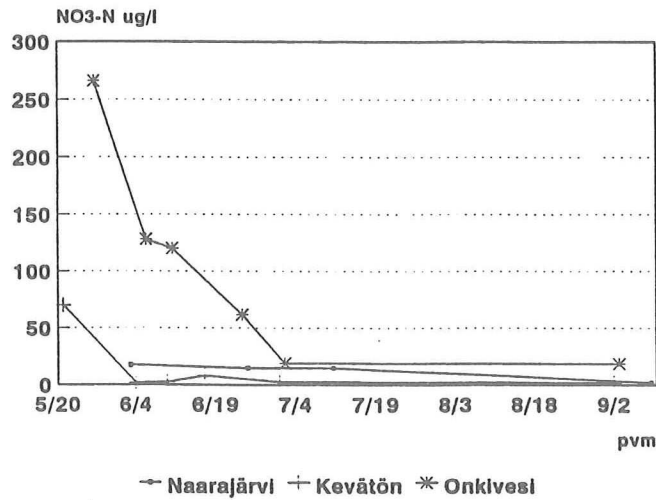


— Naarajärvi    + Kevätön    \* Onkivesi

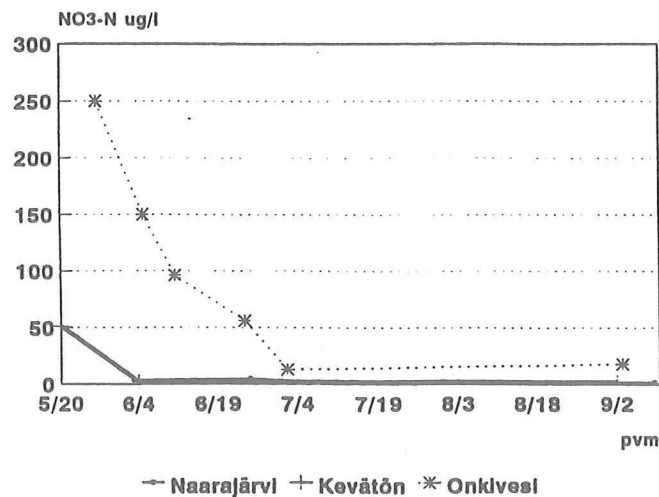
KUVA 13. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN RANTA-ALUEEN (0-1 M) AMMONIUMTYYPPI, 1991



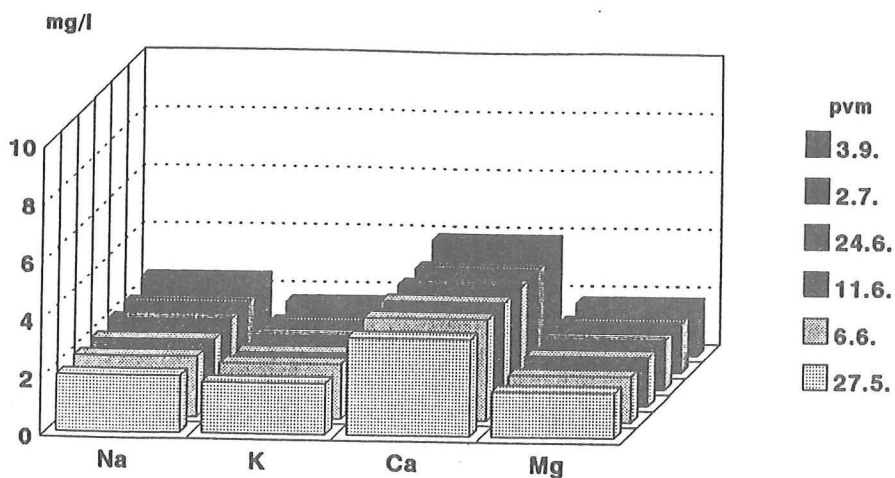
KUVA 14. KEVÄTTÖMÄN AMMONIUMTYYPPI SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



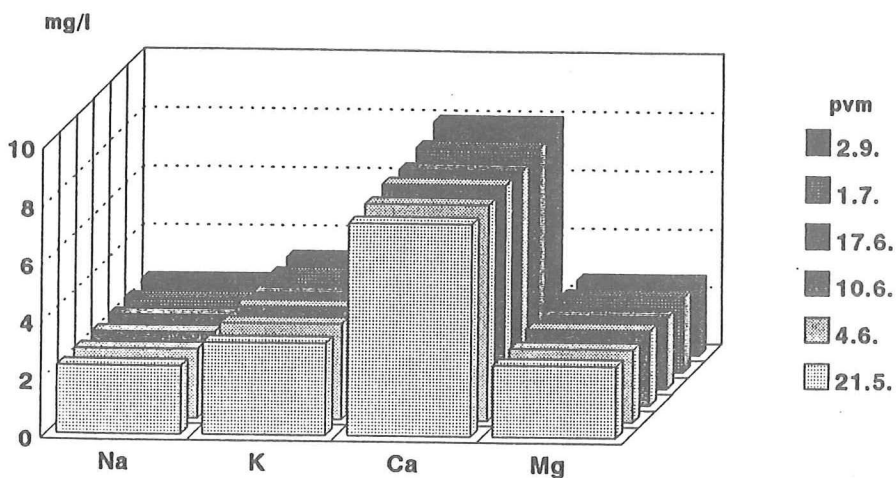
KUVA 15. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN NITRAATTITYYPPI, 1991 (koko vesimassan ka.)



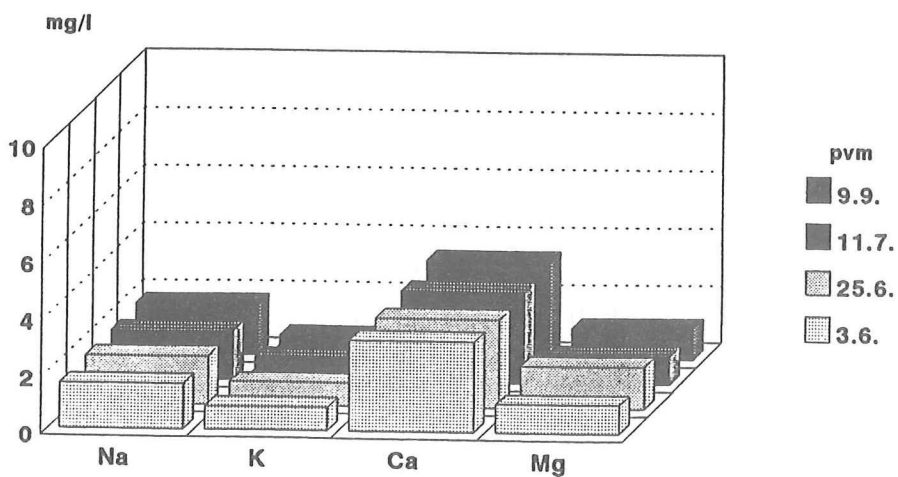
KUVA 16. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN RANTA-ALUEEN (0-1 M) NITRAATTITYYPPI, 1991



KUVA 17. ONKIVEDEN KATIONIT: NA, K, CA JA MG, 1991



KUVA 18. KEVÄTTÖMÄN KATIONIT: NA, K, CA JA MG, 1991



KUVA 19. NAARAJÄRVEN KATIONIT: NA, K, CA JA MG, 1991

Taulukko 1. Onkiveden syvännepisteen hiukkasmaainen ja liukoinen seleeni

paikka	pvm	näytesyv. yläraja (m)	näytesyv. alaraja (m)	hiukkasm. seleeni (ng/l)	liukoinen seleeni (ng/l)
ONKIVESI	27.5.1991	0	2	0	53.9
ONKIVESI	27.5.1991	2	4	0	56.9
ONKIVESI	27.5.1991	4	6	10.5	49.8
ONKIVESI	27.5.1991	6	8	0	57.3
ONKIVESI	27.6.1991	8	9.9	7.9	47.1
ONKIVESI	6.6.1991	0	2	0.3	46.0
ONKIVESI	6.6.1991	2	4	5.7	52.6
ONKIVESI	6.6.1991	4	6	0	55.4
ONKIVESI	6.6.1991	6	8	0	53.5
ONKIVESI	6.6.1991	8	9.9	8.1	53.8
ONKIVESI	11.6.1991	0	2	8.1	51.7
ONKIVESI	11.6.1991	2	4	3.4	50.8
ONKIVESI	11.6.1991	4	6	10.6	49.7
ONKIVESI	11.6.1991	6	8	7.5	52.7
ONKIVESI	11.6.1991	8	9.9	3.9	51.6
ONKIVESI	24.6.1991	0	2	3.3	50.6
ONKIVESI	24.6.1991	2	4	2.2	51.8
ONKIVESI	24.6.1991	4	6	6.1	48.2
ONKIVESI	24.6.1991	6	8	5.2	49.4
ONKIVESI	24.6.1991	8	9.9	6.0	50.2
ONKIVESI	2.7.1991	0	2	4.4	51.1
ONKIVESI	2.7.1991	2	4	4.8	55.1
ONKIVESI	2.7.1991	4	6	4.8	48.4
ONKIVESI	2.7.1991	6	8	0	54.1
ONKIVESI	2.7.1991	8	9.9	1.3	52.5

Taulukko 2. Kevättömän syvänpisteen hiukkasmainen ja liukoinen seleeni

paikka	pvm	näytesyv. yläraja (m)	näytesyv. alaraja (m)	hiukkasm. seleeni (ng/l)	liukoinen seleeni (ng/l)
KEVÄTÖN	4.6.1991	0	2	0	33.7
KEVÄTÖN	4.6.1991	2	4	2.0	32.2
KEVÄTÖN	4.6.1991	4	6	4.9	33.0
KEVÄTÖN	4.6.1991	6	8	3.2	38.4
KEVÄTÖN	4.6.1991	8	9.3	2.8	33.1
KEVÄTÖN	10.6.1991	0	2	8.1	29.3
KEVÄTÖN	10.6.1991	2	4	2.7	29.6
KEVÄTÖN	10.6.1991	4	6	1.2	33.3
KEVÄTÖN	10.6.1991	6	8	10.5	30.5
KEVÄTÖN	10.6.1991	8	9.3	1.3	31.6
KEVÄTÖN	17.6.1991	0	2	9.4	27.9
KEVÄTÖN	17.6.1991	2	4	7.8	29.4
KEVÄTÖN	17.6.1991	4	6	3.8	33.2
KEVÄTÖN	17.6.1991	6	8	0.1	33.9
KEVÄTÖN	17.6.1991	8	9.3	10.2	31.4
KEVÄTÖN	1.7.1991	0	2	1.8	34.8
KEVÄTÖN	1.7.1991	2	4	2.4	32.1
KEVÄTÖN	1.7.1991	4	6	7.7	35.7
KEVÄTÖN	1.7.1991	6	8	1.3	30.1
KEVÄTÖN	1.7.1991	8	9.3	7.1	38.2

Taulukko 3. Naarajärven syvännepisteen hiukkasmainen ja liukoinen seleeni

paikka	pvm	näytesyv. yläraja (m)	näytesyv. alaraja (m)	hiukkasm. seleeni (ng/l)	liukoinen seleeni (ng/l)
NAARAJÄRVI	3.6.1991	0	2	0.3	41.1
NAARAJÄRVI	3.6.1991	2	4	0	47.4
NAARAJÄRVI	3.6.1991	4	6	4.4	37.9
NAARAJÄRVI	3.6.1991	6	8	5.7	41.5
NAARAJÄRVI	3.6.1991	8	10	1.5	43.1
NAARAJÄRVI	3.6.1991	10	11.5	2.5	44.6
NAARAJÄRVI	25.6.1991	0	2	2.0	45.2
NAARAJÄRVI	25.6.1991	2	4	7.0	46.5
NAARAJÄRVI	25.6.1991	4	6	0.6	42.4
NAARAJÄRVI	25.6.1991	6	8	2.0	43.3
NAARAJÄRVI	25.6.1991	8	10	8.4	35.9
NAARAJÄRVI	25.6.1991	10	11.5	9.6	40.1
NAARAJÄRVI	11.7.1991	0	2	1.7	43.8
NAARAJÄRVI	11.7.1991	2	4	0	45.1
NAARAJÄRVI	11.7.1991	4	6	2.5	50.6
NAARAJÄRVI	11.7.1991	6	8	0	44.8
NAARAJÄRVI	11.7.1991	8	10	1.2	46.1
NAARAJÄRVI	11.7.1991	10	11.5	16.8	43.4

Taulukko 4. Onkiveden, Kevättömän ja Naarajärven rantapisteen hiukkasmaisen ja liukoinen seleeni

paikka	pvm	näytesyv. yläraja (m)	näytesyv. alaraja (m)	hiukkasm. seleeni (ng/l)	liukoinen seleeni (ng/l)
ONKIVESI RANTA	27.5.1991	0	1	5.5	50.2
ONKIVESI RANTA	5.6.1991	0	1	0	56.0
ONKIVESI RANTA	11.6.1991	0	1	0	53.7
ONKIVESI RANTA	24.6.1991	0	1	0	55.0
ONKIVESI RANTA	2.7.1991	0	1	6.2	54.8
KEVÄTÖN RANTA	4.6.1991	0	1	0.8	36.3
KEVÄTÖN RANTA	10.6.1991	0	1	5.3	31.4
KEVÄTÖN RANTA	17.6.1991	0	1	1.3	34.1
KEVÄTÖN RANTA	1.7.1991	0	1	1.7	34.4
NAARAJ. RANTA	3.6.1991	0	1	0	42.1
NAARAJ. RANTA	25.6.1991	0	1	0.3	41.0
NAARAJ. RANTA	11.7.1991	0	1	0	53.2

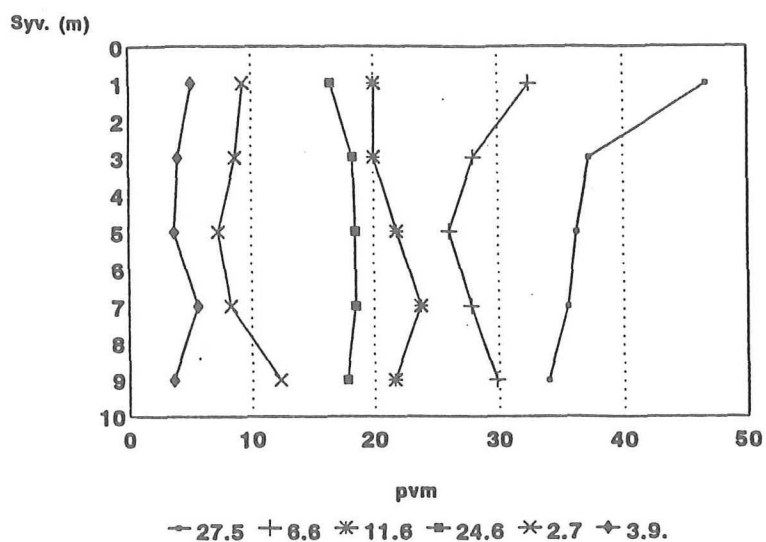


Onkivedellä mineraaliravannesuhde pieneni kesän kuluessa eikä eroja vesikerrosten välillä juuri ollut (kuva 20). Mineraaliravannesuhde oli havaintojakson alussa pintavedessä suurimmillaan välillä 40-47, kesäkuun lopulla suhde laski koko vesimassassa alle 20:n ja oli syyskuun alussa enintään viisi. Suhde siis osoitti typpirajoitteisuuden kasvua kesän mittaan. Pitoisuuksien perusteella fosfaattifosfori ei ollut rajoittavana ravinteena kuin ehkä kesäkuun puolesta välistä heinäkuun alkuun, jolloin pitoisuudet liikkuivat välillä 3-4 µg/l. Keskimääräinen epäorgaanisen typen määrä vedessä oli ammoniumtypen osalta melko alhainen (5-10 µg/l) koko havaintokauden. Sen sijaan nitraattityppeä oli kesäkuun puoleen väliin asti yli 100 µg/l ja heinäkuun alkupuolelta syyskuun alkuun nitraattipitoisuus oli noin 20 µg/l.

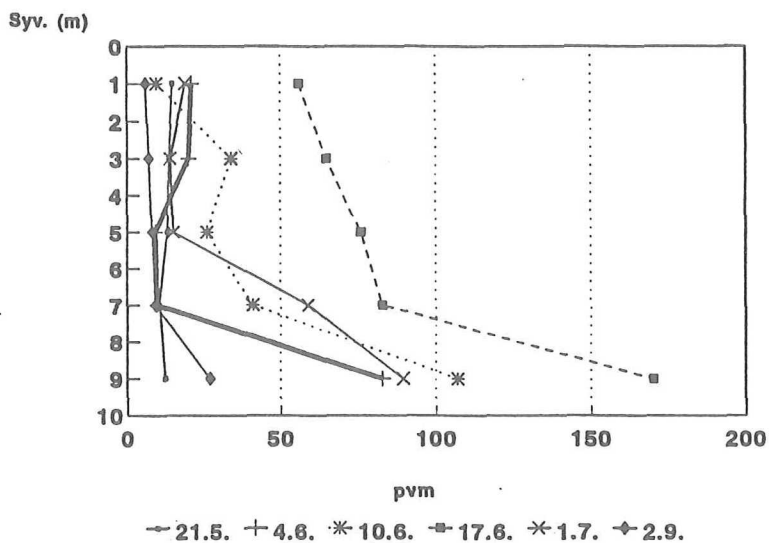
Kevättömällä mineraaliravannesuhde kasvoi, lukuunottamatta kevättäyskierron aikaa, vertikaalisuunnassa pohjaa lähestyttäessä (kuva 21). Jyrkimmin suhde kasvoi alimman kolmen metrin vesimassassa. Kesäkuun puolessa välissä suhde oli korkea koko vesimassassa. Syyskuussa suhde laski 10 vaiheille ja kasvoi jonkin verran pohjan läheisyydessä. Kevätön oli siis mineraaliravannesuhteen mukaan syyskuun alkua lukuunottamatta fosforirajoitteinen. Syyskuun alussa ei kumpikaan ravinne ollut selkeästi minimitekijä tuottavassa vesikerroksessa. Kevättömän fosfaattifosforipitoisuus oli jo kesäkuun alussa keskimäärin alle 2 µg/l ja pysyi tällä tasolla koko kesän. Myös nitraattityppipitoisuudet olivat alhaisia (alle määritysrajan) kesäkuun alusta alkaen, joten mineraaliravannesuhteen muutokset johtuivat lähes ainoastaan ammoniumtypen pitoisuuksista. Havaintojakson alussa ammoniumtyppeä oli 20-27 µg/l. Kesäkuun alussa pohjan läheisyydessä oli ammoniumtyppeä yli 200 µg/l, mutta pintakerroksen keskipitoisuudet pysyivät 15-30 µg/l:n tasolla. Ylemmissä vesikerroksissa (0-6 m) oli ammoniumtyppeä aina syyskuun havaintokertaan saakka vähintään 10 µg/l. Syyskuun alussa oli ammoniumtppi kulutettu lähes loppuun lukuunottamatta pohjan läheistä vesikerrosta.

Naarajärvessä mineraaliravannesuhde pysyi koko havaintojakson saman tasoisena viiden metrin syvyyteen asti, ja minimitekijä saattoi olla yhtä hyvin typpi kuin fosfori (kuva 22). Tätä syvemmillä fosforirajoitteisuus lisääntyi kesäkuun aikana. Heinäkuun havaintokerralla mineraaliravannesuhde pysyi lähes muuttumattomana noin yhdeksän metrin syvyyteen, jonka jälkeen kasvoi nopeasti.

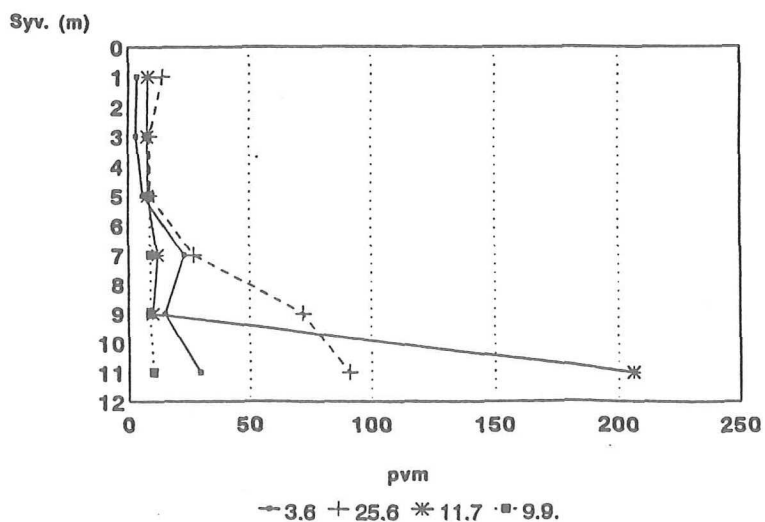
Pohjanläheisen vesikerroksen ns. fosforirajoitteisuus johtui, samoin kuin Kevättömässä ammoniumtypen rikastumisesta. Syyskuussa suhde säilyi likimain samanlaisena pinnasta pohjaan; pintakerroksessa ei ollut fosfaattia lainkaan. Naarajärvessä keskimääräiset fosfaattifosforipitoisuudet olivat alhaiset (alle 2 µg/l) kuten Kevättömälläkin. Ammoniumtyppipitoisuudet jäivät alle 10 µg/l ylemmissä vesikerroksissa ja olivat alimmillaan heinäkuun havaintokerralla 4 µg/l. Päälysvessä oli myös niukasti nitraattityppeä, pitoisuudet vaihtelivat välillä 2-5 µg/l ja jo heinäkuussa nitraattipitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Sen sijaan pohjan yläpuolella nitraattityppeä oli 40-50 µg/l vielä heinäkuussakin; syyskuussa nitraattityppi oli tosin kulunut sieltäkin loppuun.



KUVA 20. ONKIVEDEN MINERAALIRAVINNESUHDE SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 21. KEVÄTTÖMÄN MINERAALIRAVINNESUHDE SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 22. NAARAJÄRVEN MINERAALIRAVINNESUHDE SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991  
(0.9 ei ollut fosfaatilla 0-2 metrisellä)

### 4.2.2 Ravinnetasapainosuhte

Ravinnetasapainosuhte on kokonaisravinnesuhteen (kok.N/kok.P) ja mineraaliravennesuhteen välinen suhde. Kun em. suhde on suurempi kuin yksi on typpi minimiravinne ja kun suhde on tätä pienempi, minimiravinteena on fosfori. Kokonaistypen ja -fosforin suhde kuvaa yhteyttävien organismien keskimääräistä typpi/fosfori-sisältöä, kun taas mineraaliravennesuhde kuvaa levien käytettävissä olevaa ravinteiden suhdetta.

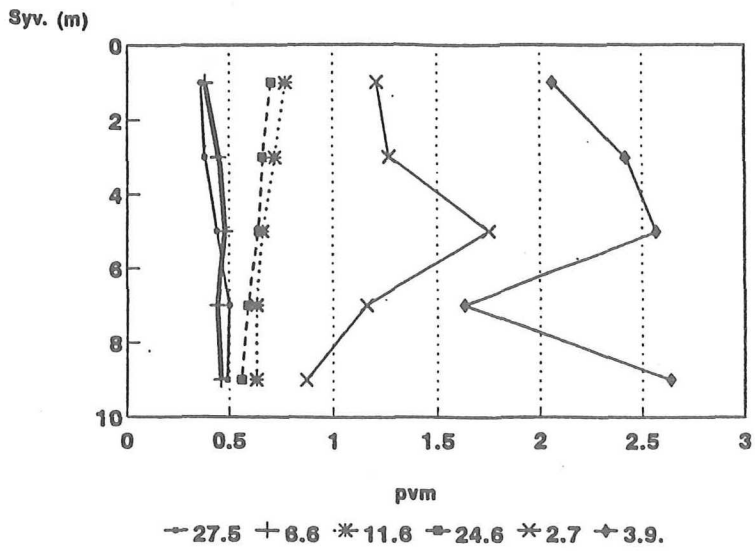
Onkiveden ravinnetasapainosuhteessa ei vielä toukokuussa ollut vertikaalisia eroja (kuva 23). Ravinnetasapainosuhte kasvoi kesän mittaan: alkukesästä alle se oli 0.5 ja heinäkuun alussa enimmillään noin 1.8, jolloin typpi alkoi rajoittaa vertikaalisuunnassa noin viiteen metriin asti, jonka jälkeen suhde kääntyi fosforirajoitteisempaan suuntaan. Syyskuun alussa sama ilmiö toistui kuitenkin sillä erolla, että suhde kääntyi jälleen typpirajoitteisemmaksi ennen pohjaa.

Kevättömällä ravinnetasapainosuhte oli typpirajoitteinen havaintojakson alussa, mutta heti kesäkuun alusta alkoi fosfori rajoittaa muualla paitsi 4-8 metrissä (kuva 24). Lähestyttäessä kesäkuun puolta väliä rajoitti ylimmässä vesikerroksessa typpi, muualla fosfori. Kesäkuun puolen välin jälkeen koko vesimassa oli selvästi fosforirajoitteinen, samoin heinäkuun alussa. Syyskuussa typpi rajoitti koko vesimassassa, joskin ravinnetasapainosuhte pieneni alemmissa vesikerroksissa.

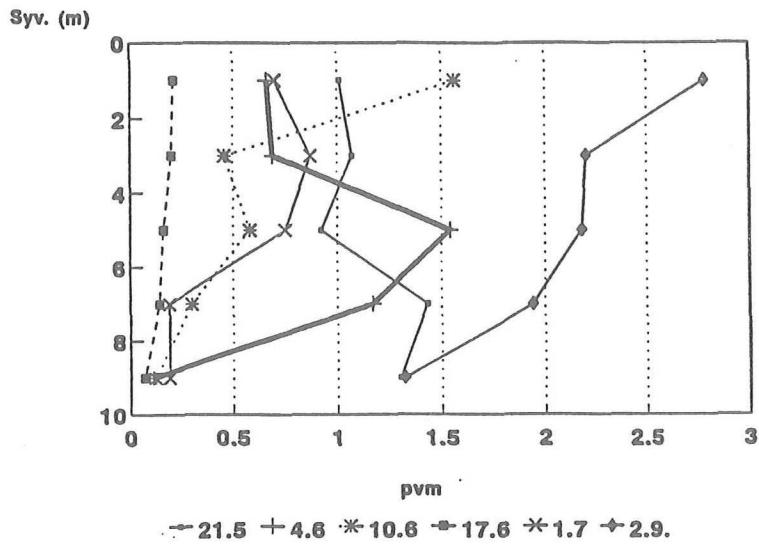
Naarajärven ylimmissä vesikerroksissa ravinnetasapainosuhte osoitti huomattavasti suurempaa typpirajoitteisuutta kuin muissa järvissä (kuva 25). Syyskuun alkupuolta lukuunottamatta pohjan läheisyydessä molemmat ravinteet saattoivat olla minimitekijöinä.

## 4.3 Klorofyllipitoisuudet

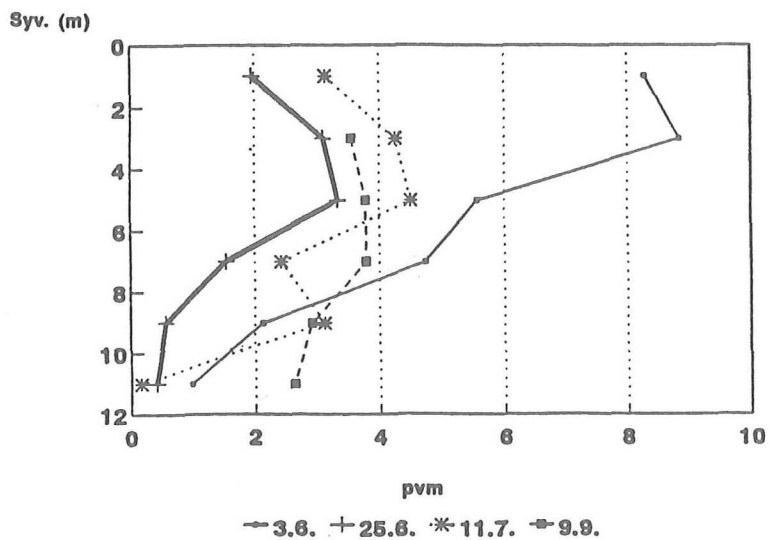
Onkivedellä koko vesimassan keskimääräinen klorofyllipitoisuus oli huipussaan, lähes 40  $\mu\text{g/l}$  kesäkuun alkupuolella (kuva 26). Klorofyllipitoisuus laski heinäkuun alkuun mennessä alle 30  $\mu\text{g/l}$ :aan, mutta oli jälleen syyskuun alussa noin 36  $\mu\text{g/l}$ . Klorofyllipitoisuuksien vertikaali-profiili vaihteli eri ajankohtina: havaintojakson alussa klorofylliä oli pohjan lähellä enemmän kuin pinnassa (kuva 27). Kesäkuun keskivaiheilla pinnassa ja pohjassa oli lähes yhtä paljon klorofylliä minimin ollessa viidessä metrissä. Kesäkuun lopulla sama ilmiö toistui (minimi oli vielä korostuneempana 4-6 metrissä). Heinäkuun alussa klorofyllipitoisuus pysyi kutakuinkin vakiona kuuteen metriin asti, josta alaspäin se hiukan laski. Ranta-alueen klorofyllipitoisuudella oli maksiminsa kesäkuun ja syyskuun alussa: molemmilla kerroilla yli 40  $\mu\text{g/l}$ . Vähiten klorofylliä oli kesäkuun lopulla (n. 20  $\mu\text{g/l}$ ). (Liite 4).



KUVA 23. ONKIVEDEN RAVINNETASAPAINOSUHDE SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 24. KEVÄTTÖMÄN RAVINNETASAPAINO SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



KUVA 25. NAARAJÄRVEN RAVINNETASAPAINOSUHDE SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991

Kevättömän klorofyllipitoisuus (koko vesimassan keskiarvo) vaihteli 30 µg/l:n molemmin puolin; minimi (23 µg/l) oli kesäkuun alkupuolella ja maksimi (32 µg/l) heinäkuun alussa (kuva 26). Klorofyllin vertikaalijakauma muuttui kesäkuun kuluessa: aluksi pitoisuus oli suurimmillaan alusvedessä, kesäkuun puolella välissä pitoisuus oli lähes sama koko vesimassassa ja heinäkuun alussa pohjassa oli selvästi vähemmän klorofylliä kuin pintavedessä (kuva 28). Syyskuun alussa pitoisuus pysyi tasaisena (noin 28 µg/l) läpi vesimassan. Ranta-alueella klorofyllipitoisuus laski kesäkuun alkupuolelta minimiinsä 17.4 µg/l:aan. Siitä pitoisuus nousi heinäkuun alun 42.3 µg/l:aan. Syyskuun alussa klorofylliä oli vielä noin 30 µg/l. (Liite 4).

Naarajärven klorofyllipitoisuus oli selvästi alle 10 µg/l paitsi syyskuussa, jolloin pitoisuus oli kohonnut lähes 15 µg/l:aan (kuva 26). Klorofyllipitoisuus pysyi saman tasoisena pinnasta pohjaan (kuva 29). Ranta-alueella klorofylliä oli vähiten (n. 5 µg/l) kesäkuun lopulla ja maksimipitoisuus (22.7 µg/l) oli syyskuun alkupuolella (liite 4).

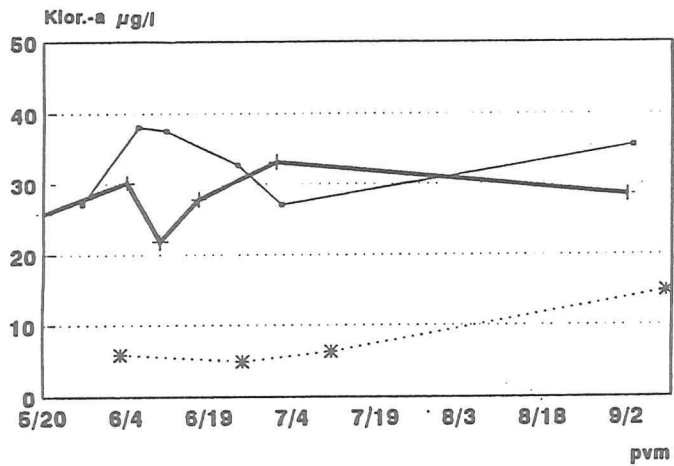
#### 4.4 Sinilevien %-osuus kasviplanktonmassasta

Onkivedellä ei alkukesästä juuri sinileviä havaittu, vaan silloin kasviplanktonbiomassan muodostivat lähinnä piilevät. Vasta kesäkuun lopulla sinileviä esiintyi pieniä määriä pinnasta vesimassan puoleen väliin (kuva 30). Syyskuun alkupuolella sinileväosuus oli melkoisesti lisääntynyt koko vesimassassa: pinnassa sinilevää oli vähiten (n. 25%), mutta osuus kasvoi alaspäin mentäessä ja oli pohjan läheisyydessä noin 75%. Tyypillisimmät sinilevälevälajit ja -suvut olivat *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *Planctolyngbya limnetica*, *Planctotrix agardhii* ja *Microcystis sp.*.

Kevättömässä sinilevien osuus kasvoi kesän kuluessa vaikkakin osuus oli jo toukokuussa melko suuri (kuva 31). Maksimissaan sinilevien osuus oli syyskuun alussa. Alkukesästä sinilevää oli eniten vesimassan keskivaiheilla, 4-6 metrissä. Heinäkuun alussa oli pintaveden sinileväosuus lähes 90%.

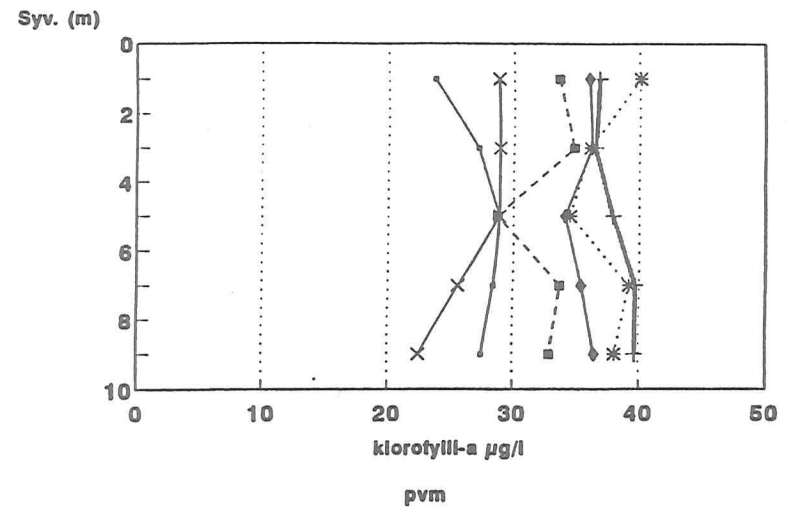
Syyskuussa %-osuus pysyi korkeana pohjaan saakka, jossa oli vielä yli 70% sinileviä. Valtalajeina ja -sukuina olivat mm. *Microcystis wesenbergii*, *M. aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *Planctolyngbya limnetica* ja *Achroonema sp.*.

Naarajärvellä sinilevää ei ollut siinä määrin, että ne olisi sisällytetty levälaskentaan. Kesä-heinäkuussa suurin osa kasviplanktonista oli kulta-, nielu- ja piileviä. Syyskuussa alkoi yllättäen limalevän, *Gonyostomum semen*, runsas esiintyminen.



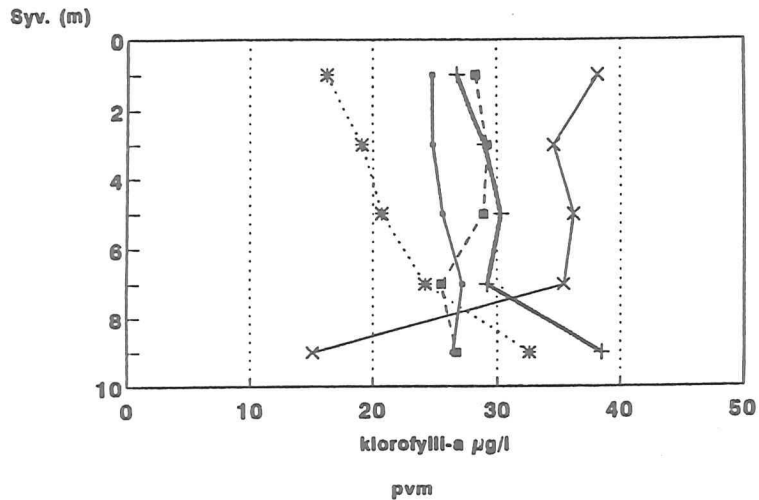
○ Onkivesi + Kevätön \* Naarajärvi

KUVA 26. KEVÄTTÖMÄN, ONKIVEDEN JA NAARAJÄRVEN KESKIMÄÄRÄINEN KLOOROFYLLIPITOISUUS KOKO VESIMASSASSA, 1991



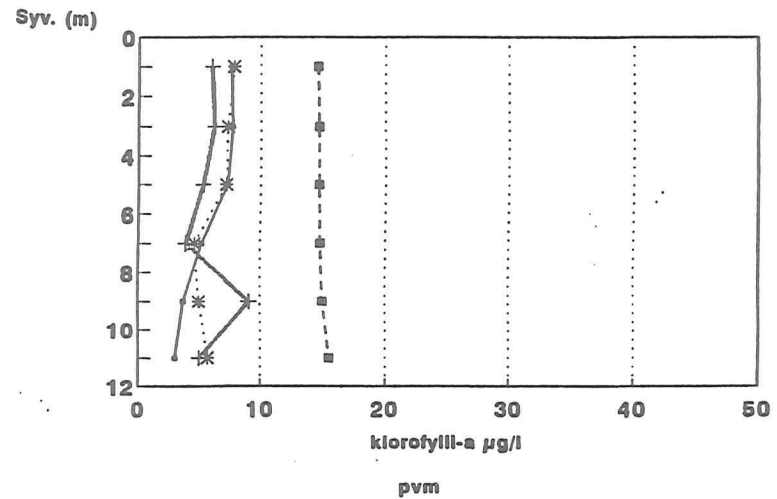
○ 27.5. + 6.6. \* 11.6. □ 24.6. \* 2.7. ◇ 3.9.

KUVA 27. ONKIVEDEN KLOOROFYLLI SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



○ 21.5 + 4.6 \* 10.6 □ 17.6 \* 1.7

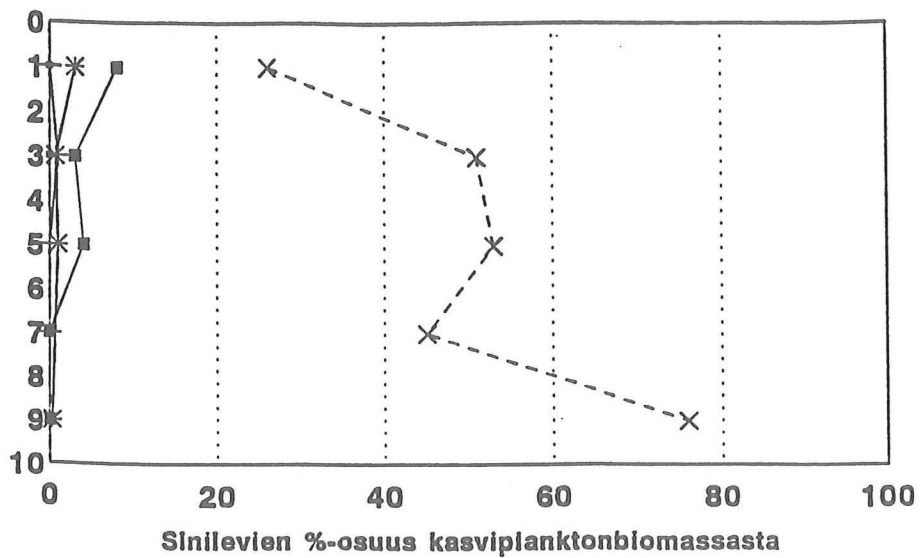
KUVA 28. KEVÄTTÖMÄN KLOOROFYLLI SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991



○ 3.6 + 25.6 \* 11.7 □ 9.9

KUVA 29. NAARAJÄRVEN KLOOROFYLLI SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991

Syv. (m)

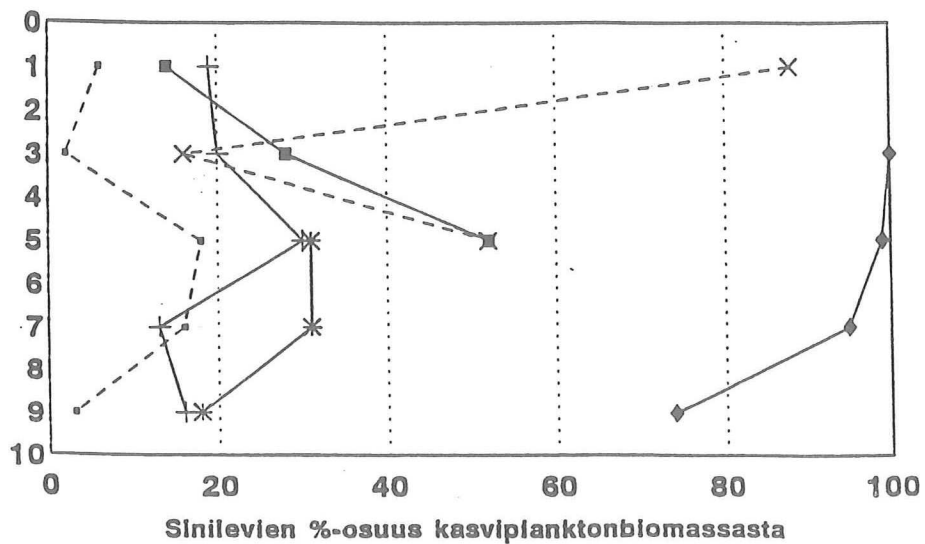


pvm

—○— 6.6. + 11.6. \* 24.6. —■— 2.7. —×— 3.9.

KUVA 30. ONKIVEDEN SINILEVIEN %-OSUUS KASVIPLANKTONBIOMASSASTA SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991

Syv. (m)



pvm

—○— 21.5. + 4.6. \* 10.6. —■— 17.6. —×— 1.7. —◆— 2.9.

KUVA 31. KEVÄTTÖMÄN SINILEVIEN %-OSUUS KASVIPLANKTONBIOMASSASTA SYVYYDEN FUNKTIONA, 1991

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Sinilevien runsauden yhteys eri ympäristötekijöihin

Kerätystä havaintoaineistosta selvitettiin sinilevien biomassaosuuden yhteys fysikaalis-kemiallisten vedenlaatumuuttujiin Spearmanin korrelaatiokertoimien avulla. Korrelaatiokertoimet määritettiin erikseen Onkiveden ja Kevättömän havainnoista ilman rantapisteitä (taulukot 5 ja 6) sekä yhteisesti kaikkien kolmen järven osalta rantapisteineen (taulukko 7).

Sekä Onkivedessä että Kevättömässä sinilevien osuudella oli merkittävää positiivista korrelaatiota kesän etenemisen sekä kalsium- ja natriumpitoisuuksien kanssa.

Onkivedellä merkitsevää positiivista korrelaatiota sinilevien kanssa esiintyi lisäksi alkaliniteetin, sähkönjohtokyvyn, magnesiumin ja ravinnetasapainosuhteen yhteydessä. Kevättömällä näytti sameus olevan lisäävänä tekijänä sinilevämäärään, tosin runsastunut sinileväkasvusto lisää sameutta.

Negatiivisesti sinilevien kanssa korreloivat kummassakin järvessä nitraatti- ja nitriittipitoisuus sekä nitraatin ja ammoniumin yhteispitoisuus. Kevättömällä nitraattityypen korrelaatio sinilevien kanssa ei ollut merkitsevä. Onkivedellä oli erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio myös mineraaliravannesuhteen osalta; epäorgaaninen typpi alkoi rajoittaa samanaikaisesti kun sinilevät runsastuivat. Kevättömällä aiheuttivat negatiivista korrelaatiota myös sameus ja fosfaattifosforipitoisuus. Kevättömällä ei ravinnesuhteiden osalta ollut korrelaatiota sinilevien kanssa. Kummassakaan järvessä klorofyllipitoisuus ja pH eivät korreloineet sinileväosuuden kanssa.

Kun kaikki havaintojärvet käsiteltiin samanaikaisesti oli havaittavissa erona edellisiin analyyseihin, että myös kokonaistyyppi- ja fosfori, klorofyllipitoisuus sekä pH korreloivat erittäin merkitsevän positiivisesti sinilevien kanssa. Negatiivisesti korreloi vielä liukoinen seleeni. Mineraali- ja ravinnetasapainosuhte sen paremmin kuin nitraatin ja ammoniumin yhteispitoisuus ei korreloinut ollenkaan sinilevien biomassaosuuden kanssa tässä analyysissä.

Onkiveden ja Kevättömän osalta tehtiin korrelaatioanalyysi, jossa vedenlaatumuuttujat oli valittu aikaisemmalta havaintokerralta kuin sinilevämäärä (taulukot 8 ja 9). Analyysillä pyrittiin saamaan parempi kuva syy-seuraussuhteista. Korrelaatiot vastasivat suurelta osin edellisen analyysin tuloksia. Molempien järvien osalta oli muutamia eroavaisuuksia. Onkivedellä kokonaistyyppi- ja kaliumpitoisuus korreloivat tällä kertaa merkitsevän negatiivisesti sinilevien kanssa; kokonais- ja fosfaattifosforin melkein merkitsevät negatiiviset korrelaatiot johtuivat fosforin ja sinilevien erilaisesta jakautumisesta syvyyden suhteen sekä luultavasti



Taulukko 5. Onkiveden havaintomuuttujien ja sinilevärunsauden (%-osuus kasviplanktonista) väliset korrelaatiot

Muuttuja	Korrelaatio-kerroin	Merkitsevyystaso p	Havaintojen lukumäärä
kesän eteneminen (pvm)	0.83986	0.0001	21
syvyys	-0.16278	0.4808	21
sameus	0.27623	0.2255	21
kem.hapenkul.	0.28983	0.2025	21
pH	0.07393	0.7501	21
sähkönjohtokyky	0.57985	0.0059	21
alkaliniteetti	0.64467	0.0022	20
kalsium	0.77195	0.0001	21
natrium	0.94395	0.0001	21
kalium	-0.14513	0.5302	21
magnesium	0.78867	0.0001	21
Se, liuennut	-0.12338	0.6489	16
Se, hiukkasm.	-0.30625	0.2669	15
kok.fosfori	0.54649	0.0104	21
kok.typpi	-0.31933	0.1582	21
fosfaatti	0.25194	0.2706	21
ammonium	-0.25909	0.2567	21
nitriitti	-0.64461	0.0016	21
nitraatti	-0.78567	0.0001	21
epäorg. typpi	-0.81235	0.0001	21
mineraaliravinnesuhde	-0.84453	0.0001	21
ravinnetasapainosuhde	0.81679	0.0001	21
klorofylli	-0.03961	0.8646	21

Taulukko 6. Kevättömän havaintomuuttujien ja sinilevärunsauden (%-osuus kasviplanktonista) väliset korrelaatiot

Muuttuja	Korrelaatio-kerroin	Merkitsevyystaso p	Havaintojen lukumäärä
kesän eteneminen (pvm)	0.82746	0.0001	21
syvyys	-0.15982	0.4889	21
sameus	0.77379	0.0001	21
kem. hapenkul.	0.27356	0.2302	21
sähkönjohtokyky	0.16898	0.4640	21
pH	-0.19559	0.3955	21
alkaliniteetti	0.04381	0.8674	17
kalsium	0.57624	0.0063	21
natrium	0.66239	0.0011	21
kalium	-0.17370	0.4515	21
magnesium	0.49713	0.0219	21
Se, liukoinen	0.15448	0.6143	13
Se, hiukkasm.	0.14060	0.6630	12
kok.fosfori	-0.33235	0.1410	21
kok.typpi	-0.30003	0.1864	21
fosfaatti	-0.72221	0.0002	21
ammonium	-0.42578	0.0543	21
nitriitti	-0.61849	0.0028	21
nitraatti	-0.41515	0.0627	21
epäorg. typpi	-0.66374	0.0010	21
mineraaliravinnesuhde	-0.18555	0.4207	21
ravinnetasapainosuhde	0.13789	0.5509	21
klorofylli	0.10941	0.6369	21

Taulukko 7. Onkiveden, Kevättöman ja Naarajärven havaintomuuttujien sinilevärunsauden (%-osuus kasviplanktonista) väliset korrelaatiot

Muuttuja	Korrelaatio-kerroin	Merkitsevyystaso p	Havaintojen lukumäärä
kesän eteneminen (pvm)	0.07926	0.5143	70
syvyys	-0.01491	0.9025	70
sameus	0.78870	0.0001	70
kem. hapenkul.	-0.29195	0.0142	70
pH	0.54362	0.0001	70
sähkönjohtokyky	0.82509	0.0001	70
alkaliteetti	0.83892	0.0001	62
kalsium	0.84865	0.0001	62
natrium	0.90993	0.0001	70
kalium	0.70242	0.0001	70
magnesium	0.86517	0.0001	70
Se, liukoinen	-0.60703	0.0001	70
Se, hiukkasm.	-0.12171	0.4544	40
kok.fosfori	0.63876	0.0001	70
kok.typpi	0.57300	0.0001	70
fosfaatti	-0.04073	0.7378	70
ammonium	0.28636	0.0162	70
nitriitti	-0.18762	0.1199	70
nitraatti	-0.32643	0.0058	70
epäorg. typpi	-0.09854	0.4171	70
mineraaliravinnesuhde	-0.07700	0.5357	67
ravinnetasapaisuhde	-0.06480	0.6024	67
klorofylli	0.41052	0.0004	70

fosforin suuresta kiertonopeudesta. Kevättömällä kalsium ei korreloinut tässä analyysissä lainkaan sinilevien suhteen; nitraattityppi korreloi melkein merkitsevästi sinileväosuuden kanssa, mutta nitriittityppi ei korreloinut ollenkaan.

## 5.2 Typen ja fosforin suhteet

Minimiravinnetta yritetään arvioida esim. ravinnesuhtein, jonka käyttö perustuu yhteyttävien organismien keskimääräisen typpi/fosfori-sisällön ja veden typpi/fosfori-suhteiden vertaamiseen. Tässä tutkimuksessa käytettiin kahta ravinnesuhdetta: 1) mineraaliravinnesuhdetta ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ ): $\text{PO}_4$ , 2) ravinnetasapainosuhtetta (kok-N:kok-P) :  $((\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}) : \text{PO}_4)$ . Redfield (1963) esitti, että solujen keskimääräinen typpi/fosfori-painosuhte on seitsemän. Kun veden typpi/fosfori-suhde on lähellä seitsemää kummatkin ravinteet voivat säädellä levien kasvua.

Mineraaliravinnesuhteen ollessa alle 5 typpi rajoittaa levien kasvua, kun suhde on yli 12 fosfori on rajoittava ravinne (Forsberg ym. 1978). Ravinnetasapainosuhteen ollessa yli yhden typen on katsottu olevan minimiravinne, muutoin fosforin.

Kevätön ja Onkivesi erosivat toisistaan ravinnesuhteiden osalta. Kevättömällä ei kumpikaan ravinnesuhteista korreloinut sinilevien kanssa; Onkivedellä taas molemmilla suhteilla tuntui olevan selvä yhteys sinileviin. Vaikka mineraaliravinnesuhde Onkivedellä pieneni havaintojakson kuluessa koko vesimassassa, oli järvi typpirajoitteinen vasta syyskuun alussa. Heinäkuun alkupuolella suhde oli jo alle 10 suurimmassa osassa vesimassaa, joten typpi tai fosfori saattoi rajoittaa. Myös epäorgaanisten typpi- ja fosforipitoisuuksien mukaan fosfori rajoitti perustuotantoa havaintojakson alkupuolella ja typpi lopussa, joskin nitraattityppeä oli syyskuussakin vielä n. 20  $\mu\text{g/l}$ . Sinileviä oli syyskuussa keskimäärin 50% biomassasta, joten ne näyttävät hyötyvän alhaisesta typpipitoisuudesta, tai ettei se ainakaan ole este niiden lisääntymiselle. Sekä kokonais- että fosfaattifosforipitoisuus oli kohonnut syyskuun alussa, mihin lienee vaikuttanut sekä sisäinen kuormitus (että vesimassojen sekoittuminen). Ravinnetasapainosuhteen mukaan typpi rajoittaisi selvemmin jo heinäkuun alussa varsinkin ylemmissä vesikerroksissa ja samaan aikaan, kun sinileviä jo oli jonkin verran pintakerroksessa. Vielä paremmin ravinnetasapainosuhte vastaa sinilevien suhteellista osuutta syyskuun alussa; suhteen muuttuessa syvemmällä (kuuteen metriin saakka) typpirajoitteisempaan suuntaan myös sinilevien osuus samalla kasvoi (ks. kuvat 23 ja 30). Suurin osa Onkivedellä esiintyneistä sinilevälajeista kykeni typensidontaan. Onkivesi oli sekoittunut lähes koko havaintojakson, ainoastaan 11.6 oli havaittavissa kerrostuneisuutta. Steinbergin ja Hartmannin (1988) mukaan kokonaisfosforin ylittäessä 10  $\mu\text{g/l}$ , fyysiset tekijät kuten vesipatsaan stabiilisuus tulevat määrääviksi sinilevien kehitykselle. Onkivedellä jatkuva turbulenssi saattoi estää sinilevien selvät kukinnat.

Taulukko 8. Onkiveden havaintomuuttujien ja sinilevärunsauden (%-osuus kasviplanktonista) väliset korrelaatiot; havaintomuuttujat valittu edelliseltä havaintokerralta.

Muuttuja	Korrelaatio-kerroin	Merkitsevyystaso p	Havaintojen lukumäärä
kesän eteneminen (pvm)	0.83829	0.0001	20
syvyys	-0.07946	0.7391	20
sameus	0.12068	0.6226	19
kem.hapenkul.	-0.04723	0.8478	19
pH	0.38343	0.1051	19
sähkönjohtokyky	-0.15225	0.5338	19
alkaliniteetti	-0.39300	0.1321	16
kalsium	0.27023	0.2632	19
natrium	0.51213	0.0250	19
kalium	-0.72027	0.0005	19
magnesium	0.45149	0.0523	19
Se, liuennut	-0.09757	0.6911	19
Se, hiukkasm.	-0.41651	0.1385	14
kok.fosfori	-0.44925	0.0537	19
kok.typpi	-0.64270	0.0030	19
fosfaatti	-0.66465	0.0019	19
ammonium	0.36406	0.1254	19
nitriitti	-0.67969	0.0014	19
nitraatti	-0.80769	0.0001	19
epäorg. typpi	-0.80394	0.0001	19
mineraaliravinnesuhte	-0.84100	0.0001	19
ravinnetasapainosuhte	0.92188	0.0001	19
klorofylli	-0.31472	0.1894	19

Taulukko 9. Kevättömän havaintomuuttujien ja sinilevärunsauden (%-osuus kasviplanktonista) väliset korrelaatiot; havaintomuuttujat valittu edelliseltä havaintokerralta.

Muuttuja	Korrelaatio-kerroin	Merkitsevyystaso p	Havaintojen lukumäärä
kesän eteneminen (pvm)	0.74653	0.0002	20
syvyys	-0.37979	0.0986	20
sameus	0.68379	0.0018	18
kem.hapenkul.	0.27754	0.2648	18
pH	-0.28145	0.2579	18
sähkönjohtokyky	-0.14167	0.5750	18
alkaliniteetti	-0.39846	0.1775	13
kalsium	0.03714	0.8837	18
natrium	-	-	-
kalium	-0.34083	0.1663	18
magnesium	0.55195	0.0176	18
Se, liuennut	0.33842	0.2580	13
Se, hiukkasm.	-0.32732	0.2750	13
kok.fosfori	0.26857	0.2812	18
kok.typpi	-0.18418	0.4644	18
fosfaatti	-0.66395	0.0027	18
ammonium	-0.12260	0.6279	18
nitriitti	-0.43849	0.0687	18
nitraatti	-0.50658	0.0319	18
epäorg. typpi	-0.47041	0.0488	18
mineraaliravinnesuhde	0.10903	0.6667	18
ravinnetasapainosuhde	-0.17540	0.4863	18
klorofylli	0.24091	0.3355	18



Kevättömällä fosfori rajoitti perustuotantoa kesäkuun alusta havaintojakson loppuun; fosfaatti-fosforipitoisuudet olivat alle 2 µg/l. Nitraattityppi oli jo kesäkuun alussa kulutettu loppuun, mutta ammoniumtyypeä oli pintakerroksessa syyskuuhun asti vähintään 10 µg/l. Heinäkuun alun alusveden ammoniumtyyppipitoisuudessa esiintynyt huippu (yli 400 µg/l) ilmeni samaan aikaan, kun pohjalla oli niukasti happea. Sinilevät alkoivat runsastua kesäkuun puolivälissä, mutta vasta syyskuun alussa ne olivat valta-asemassa; syyskuussa sekä epäorgaaninen typpi että fosfori olivat lähes lopussa. Kevättömällä molemmat kokonaisravinnepitoisuudet olivat lähes koko havaintokauden pohjan läheisyydessä korkeammat kuin pintakerroksessa.

Naarajärvässä oli epäorgaanista tyypeä ja fosforia päällysvedessä niukasti, joten kumpikin saattoi rajoittaa perustuotantoa. Fosfaattifosforia oli jatkuvasti koko vesimassassa vähän, mutta nitraatti- ja ammoniumpitoisuudet nousivat pohjan läheisyydessä kesän aikana. Naarajärven ravinnetasapainosuhte oli noin kuuteen metriin asti vähintään kaksi koko havaintokauden eli mineraaliravinnesuhteeseen verrattuna typpi rajoitti tämän mukaan paljon selkeämmin. Typpi minimiravinteena ei siis aina johda sinileväesiintymiin. Naarajärven tapauksessa luultavimmin kuitenkin vähäinen fosfori esti sinileväesiintymät.

Käytettäessä ravinnesuhteita minimiravinteiden selvittämiseksi on otettava huomioon myös levien erilaiset ravinnevaatimukset, ravinteiden käyttökelpoisuus ja kiertonopeus sekä ravinnepitoisuustasot (Pietiläinen & Kauppi 1993).

### 5.3 Hiilidioksidi

Hiilidioksidipitoisuudet pysyivät Onkivedellä keskimäärin melko alhaisina (2.6-3.1 mg/l). Sinilevien ollessa läsnä pintakerroksessa heinäkuun alussa oli CO<sub>2</sub>-pitoisuus pinnassa alhaisimmillaan 2.5 mg/l, kahden metrin syvyydessä pitoisuus oli vain 2.1 mg/l. Syyskuun alussa, kun sinilevät olivat vallalla, hiilidioksidipitoisuus aleni pohjan 3.3 mg/l:sta pinnan 2.5 mg/l:an.

Kevättömän hiilidioksiditaso oli päällysvedessä samaa luokkaa kuin Onkiveden, ero pinta- ja pohjapitoisuuksien välillä oli Kevättömällä suurempi. Heinäkuun alussa, jolloin sinileviä oli pinnassa yli 80% biomassasta, hiilidioksidimäärä oli pohjan läheisyydessä n. 11 mg/l ja päällysvedessä n. 3 mg/l. Syyskuussa sinilevien dominoidessa koko vesimassassa, hiilidioksidia oli pinnasta viiteen metriin alle 3 mg/l. Koska CO<sub>2</sub>-näytteet otettiin aamupäivisin, jolloin fotosynteesiaktiivisuus ja hiilidioksidin kulutus saattaa olla vielä alhainen, on vaikea sanoa oliko hiilidioksidilla merkitystä sinileväesiintymiin.

Naarajärven hiilidioksiditilanne ylemmissä vesikerroksissa oli samankaltainen kuin kahdessa muussa järvässä, sen sijaan pohjan hiilidioksidipitoisuus oli vielä korkeampi kuin Kevättömän.

## 5.4 Alkali- ja maa-alkalimetallit

Onkivedellä kalsium-, natrium- ja magnesiumpitoisuuksilla ja sinilevien suhteellisen määrän välillä oli erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio. Ainoastaan kalium korreloi sinilevien kanssa merkitsevän negatiivisesti, kun aikaviive oli otettu huomioon. Pitoisuusmuutokset olivat kuitenkin jokaisen kationin kohdalla erittäin pieniä. Kevättömällä maa-alkalimetallit ja natrium korreloivat hiukan huonommin sinilevien suhteen, vaikkakin vähintään merkitsevästi. Kaliumpitoisuus ei Kevättömällä korreloinut lainkaan. Myös Kevättömällä pitoisuudet eivät juurikaan muuttuneet, mutta alkupitoisuudet olivat korkeammat kuin Onkivedellä.

Naarajärven kationipitoisuudet olivat yleisesti alhaisemmat kuin rehevissä järvissä. Kalsiumin määrä oli lähes Onkiveden tasolla, samoin kuin kesäkuun lopun magnesiumpitoisuus. Kaliumpitoisuus erosi eniten muiden järvien tasoista.

## 5.5 Seleenit

Niin liukoinen kuin hiukkasmainenkaan seleeni ei korreloinut sinilevien suhteen kummassakaan rehevässä järvessä. Sen sijaan kun kaikki järvet olivat mukana, oli liukoisella seleenillä erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio sinileväosuuden kanssa. Korrelaatiot olisivat voineet kertoa enemmän, jos seleeninäytteet olisi otettu myös syyskuussa, jolloin sinilevät dominoivat.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kun tarkastelee koko järviaineistoa näyttävät yleiset käsitykset sinileväkukintojen edellytyksistä vahvistuvan; sinilevät kasvavat runsaina runsaselektrolyyttisissä ja -ravinteisissa vesistöissä. Kun taas tarkastelee erikseen reheviä järviä, kesän edetessä tapahtuva sinilevien kehitys on hyvinkin erilainen. Onkivedellä vähäinen epäorgaanisen typen määrä ja alhainen epäorgaanisen typen ja fosforin suhde vaikutti lisäävän sinileväosuutta kasviplanktonissa. Myös ravinnetasapainosuhteen perusteella typpi alkoi rajoittaa samanaikaisesti kun sinilevät runsastuivat. Kevättömällä sekä epäorgaanisen typen että -fosforin niukkuus näytti vaikuttavan lisäävästi sinilevämäärään. Lisäksi sinilevien asema vahvistui Kevättömällä, samalla kun valaistusolosuhteet heikkenivät sameuden lisääntyessä.

Korrelaatioanalyysissä saadut tulokset eivät välttämättä osoita syitä, vaan korrelaatiot saattavat ilmentää pelkästään samanaikaisia suuntauksia tai prosesseja, esim. lisääntynyt sameus ja epäorgaanisten ravinteiden niukkuus voi olla ennenminkin seurausta suuresta



sinilevätiheydestä kuin syy siihen. Kevättömän ravinnetasapainosuhteen tulkintaa häittäsi runsas pohjalta veteen sekoittuva kiintoainekokoon, koska osoittaja (kok.N/kok.P) ei kuvaa levien ravinnesuhdetta. Molemmissä rehevissä järvissä sinilevien biomassaosuus lisääntyi kesän kuluessa, mutta tämä suuntaus oli yhteydessä eri tekijöihin. Elokuun tulosaineisto olisi ollut tarpeellinen tulosten paremman luotettavuuden kannalta, koska sinilevät runsastuivat varsinaisesti vasta syyskuussa. Tarkoituksena oli seurata kasviplanktoniyhteiskunnan kehittymistä sinileväkukinnan puhkeamiseen asti, mutta vaikka etenkin Onkivedellä oli sinilevää silminnähden pinnasta pohjaan jo kesäkuussa, jäivät sinilevien biomassaosuudet kuitenkin vähäisiksi. Lisäksi tulosaineistosta puuttuvat kasviplanktonitulokset muutamien syvyyksien osalta Kevättömästä, mutta niillä tuskin on ollut suurta merkitystä korrelaatiotuloksiin.

Tämä tutkimus vahvistaa käsitystä siitä, ettei järvivesillä tapahtuva kesän aikainen sinileväkehitys suinkaan ole seurausta yhdestä vaan useista eri tekijöistä, joiden samanaikaisuus ja vuorovaikutus osaltaan vaikeuttavat tulosten tulkintaa.

## KIRJALLISUUS

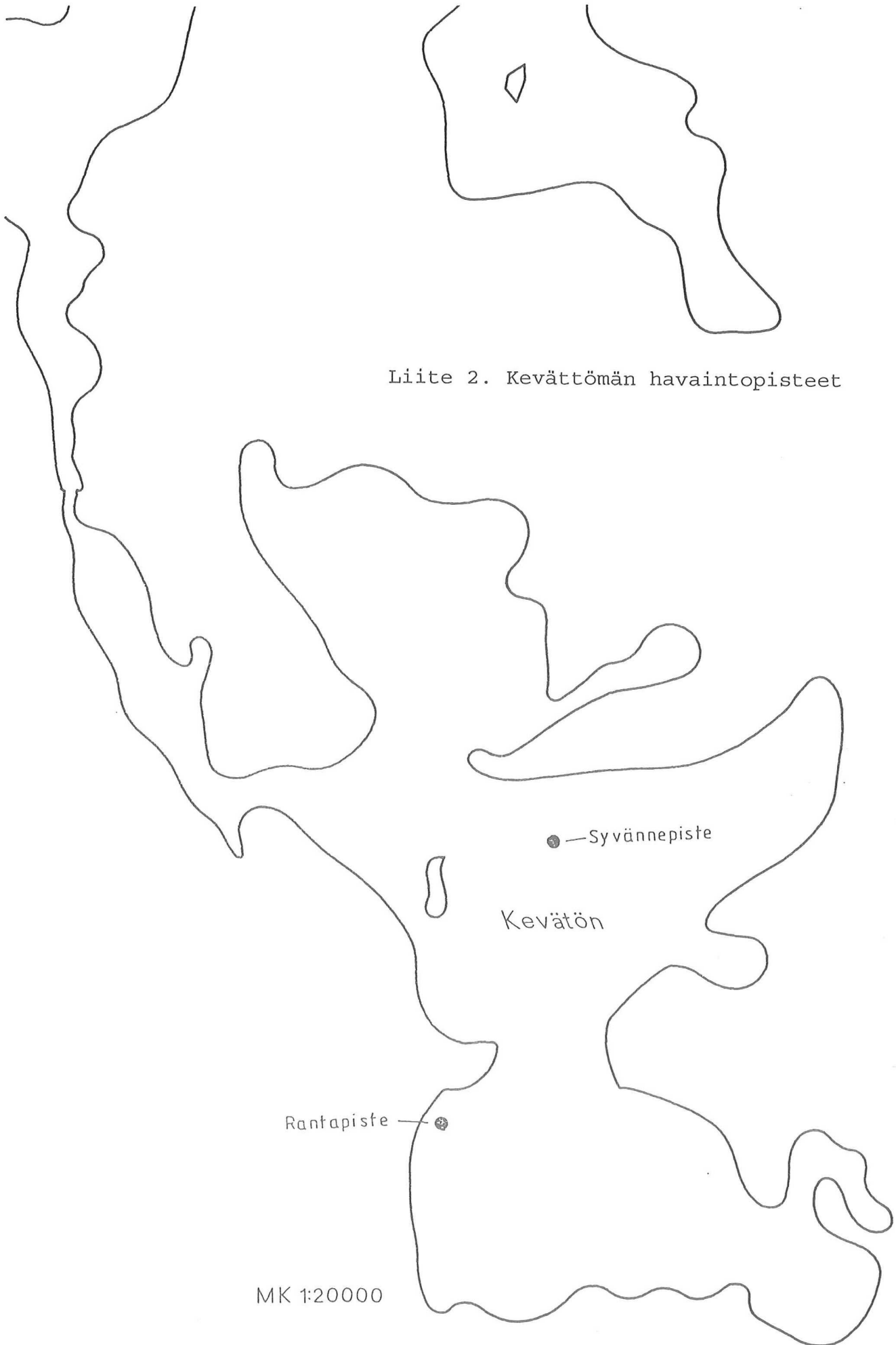
- Barbiero, R.P. & Welch, E.B. 1992. Contribution of benthic blue-green algal recruitment to lake populations and phosphorus translocation. *Freshwater Biology* 27:249-260.
- Dokulil, M.T. & Jagsch, A. 1992. The effects of reduced phosphorus and nitrogen loading on phytoplankton in Mondsee, Austria. *Hydrobiologia* 243/244:389-394.
- Forsberg, C., Ryding, S.-O., Claesson, A. & Forsberg, A. 1978. Water chemical analyses and/or algal assay? -Sewage effluent and polluted lake water studies. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 21: 352-263.
- Fulton III, R.S. & Pearl, H.W. 1987. Toxic and inhibitory effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on herbivorous zooplankton. *J. Plankton Res.* 9:837-855.
- Ibelings, B.W., Mur, L.R., Kinsman, R. & Walsby, A.E. 1991. *Microcystis* changes its buoyancy in response to the average irradiance in the surface mixed layer. *Arch. Hydrobiol.* 120:385-401.
- Lathrop, R.C. 1988. Evaluation of whole-lake nitrogen fertilization for controlling blue-green algal blooms in a hypereutrophic lake. *Can. Fish. Aquat. Sci.* 45:2061-2075.
- McQueen, D.J. & Lean, D.R.S. 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in lake St. George, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:598-604.
- Mur, L.R., Gons, H.J. 1978. Competition of the green alga *Scenedesmus* and the blue-green alga *Oscillatoria*. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 21:473-479.
- Pietiläinen, O-P & Kauppi, L. 1993. Suomen sisävesistöjen typpi/fosfori -suhteista - käyttökelpoista tietoa vesiensuojelun kannalta. *Vesitalous* 6:1-7.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. & Richards, F.A. 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. Teoksessa: Hill, M.N. (toim.). *The Sea*, vol 2. Interscience. New York. s. 26-77.
- Royle, R.N. & King, R.J. 1992. The phytoplankton of lake Liddell, New South Wales: Chlorophyll a concentrations, species seasonal succession and covariation with nutrients. *Hydrobiologia* 245:41-52.
- Sevrin-Reyssac, J. & Pletikovic, M. 1990. Cyanobacteria in fish ponds. *Aquaculture* 88:1-20.
- Shapiro, J. 1990. Current beliefs regarding dominance by blue-green: The case for the importance of CO<sub>2</sub> and pH. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24:38-54.
- Sivonen, K., Niemelä, S.I., Niemi, R.I., Lepistö, L., Luoma, T.H. & Räsänen, L.A. 1990. Toxic cyanobacteria (blue-green algae) in Finnish Fresh and coastal waters. *Hydrobiologia* 190:267-275.

- Stewart, W.D.P. 1973. Nitrogen fixation in photosynthetic microorganisms. Annual Review of Micrology 27:283-316.
- Smith, V.H. 1986. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in lake phytoplankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43:148-153.
- 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. Science 221:669-671.
- Smith, V.H., Willen, E. & Karsson, B. 1987. Predicting the summer peak biomass of four species of blue-green algae (Cyanophyta/Cyanobacteria) in swedish lakes. Water Resources Bulletin. 23:397-402.
- Spencer, C.N. & King, D.L. 1989. Role of light, carbon dioxide and nitrogen in regulation of buoyancy, growth and bloom formation of *Anabaena flos-aquae*. Journal Research. 11:283-296.
- Steinberg, E.W. & Hartmann, H.M. 1988. Planktonic bloom-forming Cyanobacteria and the eutrofication of lakes and rivers. Freshwater Biology 20:279-287.
- Varis, O. 1991. Associations between lake phytoplankton community and growth factors - a cononical correlation analysis. Hydrobiologia 210:209-216.
- Tikkanen, T. 1986. Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. Helsinki. 21 s.



46

Liite 2. Kevättömän havaintopisteet



● — Syvänpiste

Kevätön

Rantapiste — ●

MK 1:20000

## Liite 3. Naarajärven havaintopisteet



MK 1:20000

Liite 4. Tutkimusjärvien fysikaalis-kemialliset määritykset

paikka	pvm	klo	kok. syvyys m	näkö- syvyys m	näytesv. yläraja m	näytesv. alaraja m	sameus FTU	sähkön- johtavuus mS/m	alkalini- teetti mmol/l	pH	väri Pt mg/l	kem. hapenkul. mg/l O2	kok. typpi µg/l	nitriitti- typpi µg/l	nitraatti- typpi µg/l	ammonium- typpi µg/l	kok. fosfori µg/l	fosfaatti- fosfori µg/l	natrium mg/l	kallium mg/l	kalsium mg/l	magnesium mg/l	a-klorofylli µg/l
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:30	9,8	1,4	0	2	4,3	8,5		7,6		8,3	770	3	74	26	52	7	2,4	3,4	7,6	2,5	24,8
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:30	9,8	1,4	2	4	4,6	8,5		7,6		8,2	760	3	79	27	52	8	2,4	3,3	7,5	2,5	24,8
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:30	9,8	1,4	4	6	4,9	8,5		7,6		7,9	810	3	67	21	68	7	2,4	3,3	7,6	2,5	25,6
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:30	9,8	1,4	6	8	5	8,5		7,6		8,2	800	3	60	20	54	8	2,4	3,3	7,5	2,5	27,2
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:30	9,8	1,4	8	9,3	5	8,5		7,6		8,3	780	2	64	20	49	7	2,4	3,2	7,4	2,5	26,4
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:50	9,8	1,2	0	2	5,4	8,4	0,42	7,4	70	8,2	680	2	2	17	49	1	2,4	3,3	7,5	2,5	26,8
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:50	9,8	1,2	2	4	5,2	8,5	0,42	7,4	70	8,3	690	2	2	16	50	1	2,4	3,2	7,5	2,5	29
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:50	9,8	1,2	4	6	5,4	8,5	0,42	7,4	70	8,2	750	2	2	14	54	2	2,4	3,3	7,5	2,5	30,3
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:50	9,8	1,2	6	8	5,1	8,5	0,42	7,3	70	8,4	710	2	2	25	63	3	2,4	3,2	7,4	2,5	29,2
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:50	9,8	1,2	8	9,3	6,5	9	0,48	6,9	70	9,4	920	7	2	240	100	3	2,4	3,3	7,7	2,6	38,5
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	10:00	9,8	1,2	0	2	4,8	8,5	0,41	7,4		8,2	710	2	2	15	48	2	2,4	3,3	7,5	2,6	16,3
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	10:00	9,8	1,2	2	4	5,7	8,5	0,42	7,2		8,2	690	2	2	30	44	1	2,4	3,2	7,5	2,8	19,1
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	10:00	9,8	1,2	4	6	5,8	8,6	0,43	7,2		7,9	760	2	4	46	50	2	2,4	3,2	7,6	2,5	20,7
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	10:00	9,8	1,2	6	8	6,6	8,7	0,43	7,1		8,5	710	2	3	77	57	2	2,4	3,2	7,6	2,6	24,2
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	10:00	9,8	1,2	8	9,3	8,2	9	0,46	6,9		9	960	2	2	210	77	2	2,4	3,4	7,6	2,6	32,6
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:50	9,8	1	0	2	6,5	8,4	0,41	7,3		7,5	650	2	9	45	55	1	2,4	3,2	7,5	2,5	28,3
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:50	9,8	1	2	4	6,5	8,4	0,41	7,3	1	7,9	660	2	8	55	51	1	2,4	3,2	7,5	2,5	29,2
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:50	9,8	1	4	6	6,1	8,4	0,41	7,3		7,8	670	2	8	66	54	1	2,4	3,2	7,5	2,5	28,9
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:50	9,8	1	6	8	6,2	8,5	0,41	7,3		7,8	730	2	7	74	62	1	2,4	3,2	7,5	2,5	25,5
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:50	9,8	1	8	9,3	6,6	8,7	0,44	7,1		8,2	800	2	8	160	71	1	2,4	3,2	7,6	2,8	26,7
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	10:20	9,8	0,7	0	2	10,2	8,4	0,41	7,5		9,1	770	2	2	15	58	1	2,4	3,2	7,6	2,8	38,2
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	10:20	9,8	0,7	2	4	10,1	8,5	0,41	7,5		8,9	730	2	2	10	60	1	2,4	3,2	7,5	2,6	34,6
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	10:20	9,8	0,7	4	6	10,7	8,5	0,4	7,5		9,2	780	2	2	11	69	1	2,4	3,2	7,5	2,6	36,2
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	10:20	9,8	0,7	6	8	12	8,5	0,41	7,3		9,4	780	2	3	54	70	1	2,4	3,3	7,5	2,6	35,4
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	10:20	9,8	0,7	8	9,3	13,1	10,4	0,61	6,9		9,4	1400	4	4	440	81	5	2,4	3,4	8,2	2,7	15,1
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	9:00	9,8	0,8	0	2	11,4	8,7	0,43	7,4		9,6	700	2	2	2	42	1	2,4	3,2	7,9	2,6	28,2
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	9:00	9,8	0,8	2	4	10,9	8,7	0,43	7,4		9,2	710	2	2	3	46	1	2,5	3,2	7,9	2,6	29,1
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	9:00	9,8	0,8	4	6	10,9	8,7	0,43	7,5		9,2	680	2	2	4	39	1	2,5	3,3	8	2,6	29,1
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	9:00	9,8	0,8	6	8	11	8,8	0,44	7,4		8,8	770	2	2	5	44	1	2,5	3,3	8	2,6	27,9
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	9:00	9,8	0,8	8	9,2	11	8,9	0,44	7,2		8,9	790	2	2	23	60	1	2,5	3,3	8	2,6	28,4
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	0	2	1,23	3,6	0,11	6,9	50	9,3	290	2	4	8	10	4	1,6	0,8	3,1	1	7,6
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	2	4	1,36	3,6	0,11	6,9	50	9,1	230	2	5	6	8	4	1,6	0,8	3,1	1	7,7
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	4	6	1,38	3,6	0,11	6,9	50	9,1	300	2	8	8	9	3	1,6	0,8	3,1	1	7,3
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	6	8	1,14	3,7	0,11	6,8	50	9,2	290	2	12	9	8	3	1,6	0,8	3,2	1	5,2
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	8	10	1,3	3,7	0,12	6,6	50	9	320	2	26	17	10	3	1,6	0,8	3,2	1	3,7
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	13:00	12	3,2	10	11,5	2,7	3,8	0,13	6,3	50	8,3	290	2	50	66	10	4	1,6	0,8	3,2	1	3

paikka	pvm	klo	kok.	näkö-	näytesyv.	näytesyv.	sameus	sähkön-	alkalini-	pH	väri	kem.	kok.	nitriitti-	nitraatti-	ammonium-	kok.	fosfaatti-	natrium	kallium	kalsium	magnesium	a-klorofylli	
			syvyys	syvyys	yläraja	aläraja	FTU	johtavuus	teetti	hapenkul.	typpi	typpi	typpi	fosfori	fosfori	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
			m	m	m	m		mS/m	mmol/l		Pt mg/l	mg/l O2	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	0	2	1,2	3,6	0,11	6,9		9,1	330	2	3		9	12	1	1,6	0,7	3	1	6
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	2	4	1,2	3,6	0,11	6,9		9,2	250	2	2		5	9	1	1,7	0,7	3,1	1	6,2
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	4	6	1,1	3,7	0,11	6,8		9	270	2	2		5	9	1	1,7	0,8	3,1	1	5,3
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	6	8	1,1	3,7	0,11	6,5		8,4	250	2	13		12	6	1	1,7	0,8	3,1	1	3,9
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	8	10	1,4	3,8	0,12	6,4		8	280	2	29		41	7	1	1,6	0,8	3,1	1	3,1
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	9:00	12	3,4	10	11,5	5,7	3,9	0,14	6,2		7,9	410	2	40		140	11	2	1,6	0,8	3,2	1	5
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	0	2	1,41	3,7	0,11	7		10	300	2	2		4	12	1	1,7	0,7	3,1	1	7,8
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	2	4	1,44	3,7	0,11	6,9		9,9	340	2	2		4	10	1	1,7	0,7	3,2	1	7,3
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	4	6	1,42	3,8	0,12	6,7		9,8	360	2	2		4	10	1	1,7	0,7	3,2	1	7,2
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	6	8	1,33	3,8	0,11	6,4		8,8	290	2	6		4	10	1	1,7	0,8	3,2	1	4,6
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	8	10	1,8	3,8	0,12	6,3		8,2	280	2	34		24	9	1	1,7	0,8	3,1	1	5
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:40	12	2,9	10	11,5	9,3	4,1	0,16	6,2		8,6	450	3	43		160	14	1	1,6	0,8	3,3	1	5,7
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	0	2	1,22	3,8	0,13	7,1		10	360	2	2		5	9	0	1,8	0,7	3,4	1,1	14,6
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	2	4	1,11	3,8	0,13	7,1		10	340	2	2		4	12	1	1,8	0,7	3,4	1,1	14,6
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	4	6	1,06	3,8	0,13	7,1		11	340	2	2		5	10	1	1,8	0,7	3,4	1,1	14,7
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	6	8	1,2	3,8	0,14	7,1		10	340	2	2		5	10	1	1,8	0,7	3,4	1,1	14,8
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	8	10	1,02	3,8	0,13	7,1		10	340	2	2		5	13	1	1,8	0,7	3,4	1,1	15
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	9:30	12	2,2	10	11,5	1,04	3,8	0,13	7,1		10	340	2	2		6	13	1	1,8	0,7	3,4	1,1	15,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:45	10,4	1,2	0	2	4,4	4,6		7		17	820	2	270		8	48	6	1,9	1,8	3,4	1,6	23,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:45	10,4	1,2	2	4	4,5	4,6		7		16	730	2	250		9	51	7	1,9	1,8	3,4	1,6	27,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:45	10,4	1,2	4	6	4,1	4,7		7		16	810	2	280		8	50	8	2	1,8	3,4	1,6	28,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:45	10,4	1,2	6	8	5,1	4,7		7		16	900	2	270		13	50	8	2	1,8	3,4	1,6	28,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:45	10,4	1,2	8	9,9	4,1	4,7		7		16	810	2	260		10	48	8	2	1,9	3,4	1,6	27,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	10:30	10,4		0	2	5,3	4,8	0,15	7,1	100	16	620	3	120		7	49	4	2,1	1,9	3,5	1,6	36,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	10:30	10,4		2	4	5,5	4,9	0,15	7,1	100	17	630	4	130		6	50	5	2,1	1,9	3,5	1,7	36,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	10:30	10,4		4	6	5,5	4,9	0,15	7	100	16	640	3	120		7	51	5	2,1	1,9	3,5	1,6	37,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	10:30	10,4		6	8	5,3	4,9	0,15	7,1	100	16	650	3	130		6	52	5	2,1	1,9	3,5	1,7	39,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	10:30	10,4		8	9,9	5,1	4,9	0,16	7,1	100	17	700	2	140		7	51	5	2,1	1,9	3,5	1,6	39,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:30	10,2	1	0	2	4,7	4,6	0,15	7,1		16	670	2	110		8	43	6	2	1,6	3,4	1,7	40,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:30	10,2	1	2	4	3,3	4,7	0,14	7		16	620	2	110		8	43	6	2	1,6	3,3	1,7	36,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:30	10,2	1	4	6	3,4	4,7	0,14	7		16	650	2	120		9	45	6	2,1	1,7	3,4	1,7	34,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:30	10,2	1	6	8	3,1	4,8	0,16	6,9		16	680	2	120		20	45	6	2,1	1,8	3,5	1,7	39,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:30	10,2	1	8	9,7	3,4	5,2	0,17	6,7		16	700	2	140		31	51	8	2,2	1,9	3,7	1,8	38,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	10:00	10,3	1,1	0	2	3,1	4,8	0,15	7,1		16	560	2	59		5	48	4	2,2	1,7	3,5	1,7	33,6
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	10:00	10,3	1,1	2	4	3,3	4,8	0,15	7,1		16	560	2	64		7	46	4	2,2	1,8	3,5	1,7	34,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	10:00	10,3	1,1	4	6	3,7	4,8	0,15	7,1		15	560	2	62		10	47	4	2,2	1,7	3,5	1,7	28,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	10:00	10,3	1,1	6	8	3,6	4,9	0,16	7,1		15	550	2	63		9	50	4	2,2	1,7	3,5	1,7	33,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	10:00	10,3	1,1	8	9,8	3,4	4,7	0,15	6,9		15	560	2	61		8	56	4	2,1	1,6	3,4	1,7	32,9



paikka	pvm	klo	kok.	näkös- syvyys	näytesyv. yläraja	näytesyv. alaraja	sameus FTU	sähkön- johtavuus mS/m	alkalini- teetti mmol/l	pH	väri Pt mg/l	kem.	kok.	nitriitti-	nitraatti-	ammonium-	kok.	fosfaatti-	natrium	kallium	kalsium	magnesium	a-klorofylli
												hapenkul.	typpi	typpi	typpi	fosfori	fosfori	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
												mg/l O2	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	13:30	10,3	1,1	0	2	5,2	4,7	0,15	7,1		16	580	2	18	9	51	3	2,2	1,6	3,5	1,7	28,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	13:30	10,3	1,1	2	4	4,9	4,8	0,15	7,1		16	510	2	16	8	46	3	2,2	1,6	3,5	1,7	28,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	13:30	10,3	1,1	4	6	4,8	4,7	0,15	7,1		16	560	2	17	10	44	4	2,2	1,6	3,5	1,7	28,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	13:30	10,3	1,1	6	8	4,9	4,7	0,15	7,1		16	530	2	20	11	55	4	2,1	1,6	3,4	1,7	25,6
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	13:30	10,3	1,1	8	9,8	5,7	4,7	0,14	7		16	510	2	24	11	47	3	2,1	1,6	3,5	1,7	22,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	11:45	10,1	1	0	2	5,4	5,3	0,17	7		17	640	2	20	14	61	7	2,5	1,8	3,9	1,8	36
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	11:45	10,1	1	2	4	5,1	5,2	0,17	7,1		17	600	2	19	7	62	7	2,5	1,7	3,9	1,8	36,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	11:45	10,1	1	4	6	5,3	5,2	0,17	7,1		16	570	2	19	5	60	7	2,5	1,8	3,9	1,8	34,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	11:45	10,1	1	6	8	5,5	5,2	0,17	7		17	540	2	17	5	59	7	2,5	1,7	3,9	1,8	35,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	11:45	10,1	1	8	9,6	5,5	5,2	0,17	7		17	570	2	18	9	60	8	2,5	1,7	3,9	1,8	36,5

paikka	pvm	klo	kok. syvyys m	näkö- syvyys m	näyte- syvyys m	lämpötila °C	happi mg/l	hapan kylil.aste %	hiilidiok- sidi mg/l
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	1	9,5	11,6	102	1,9
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	2	9,5	11,7	103	2,7
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	4	9,5	11,5	101	2,3
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	6	9,5	11,5	101	2,1
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	8	9,5	11,4	100	2,3
KEVÄTÖN 2A	21.5.1991	8:00	9,8	1,4	9,3	9,5	11,5	101	1,9
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	1	12,3	9,3	87	2
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	2	11,9	9,4	87	3,1
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	4	11,8	9,2	85	3,2
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	6	11,7	9	83	3,4
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	8	11,4	6,9	63	7,1
KEVÄTÖN 2A	4.6.1991	9:00	9,8	1,2	9,3	10,9	2,9	26	10
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	1	14,7	9,1	90	2,9
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	2	14,6	9,1	90	3,5
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	3	13,7	8,1	79	5,4
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	4	13,2	7,5	72	4,9
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	6	12,6	6,5	61	5,9
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	8	12,3	5,2	49	8,5
KEVÄTÖN 2A	10.6.1991	9:00	9,8	1,2	9,3	12,2	4	37	8,8
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	1	15	9	90	4,3
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	2	14,7	8,4	83	4,3
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	4	14,6	8,2	81	5,2
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	6	14,5	8,1	79	4,3
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	8	14,4	7,8	77	5,9
KEVÄTÖN 2A	17.6.1991	9:00	9,8	1	9,3	13,8	5,2	51	7,4
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	1	17,9	8,2	86	3,5
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	2	17,9	8,1	85	2,3
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	4	17,8	8,1	85	2,3
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	6	17,8	8,1	85	2,6
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	8	16,4	0,6	6	10,3
KEVÄTÖN 2A	1.7.1991	9:20	9,8	0,7	9,3	15,6	0,4	4	11,4
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	8:30	9,8	0,8	1	16,4	8,6	88	2,2
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	8:30	9,8	0,8	3	16,4	8,3	85	2,5
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	8:30	9,8	0,8	5	16,4	8,3	85	2,8
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	8:30	9,8	0,8	7	16,3	7,2	73	4,3
KEVÄTÖN 2A	2.9.1991	8:30	9,8	0,8	9,3	16,2	6,3	64	4,8

paikka	pvm	klo	kok. syvyys m	näkö- syvyys m	näyte- syvyys m	lämpötila °C	happi mg/l	hapan kylil.aste %	hiilidiok- sidi mg/l
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	1	10,2	11,4	101	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	2	9,6	10,8	96	2,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	4	9,5	10,8	94	2,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	6	9,4	10,6	93	#####
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	8	9,4	10,6	93	2,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	27.5.1991	14:15	10,4	1,2	9,9	9,4	10,5	92	2,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	1	11,7	10,3	95	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	2	11,4	10,3	94	3,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	4	11,3	10,1	93	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	6	11,3	10,3	94	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	8	11,3	10,1	93	3,6
ONKIVESI HEIKINNIEMI	6.6.1991	9:30	10,4	1,2	9,9	11,3	10,1	93	2,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	1	14	10,2	99	2,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	2	13,8	10	97	2,7
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	4	13,7	9,9	96	3,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	6	13,2	9,4	90	3,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	8	11,8	8,2	76	4,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	8	11,5	8	73	5,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	11.6.1991	10:00	10,2	1	9,7	11,4	7,6	70	6,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	1	16	9,4	95	2,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	2	15,8	9,4	95	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	4	15,6	8,9	90	3,3
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	6	15,6	8,7	88	3,4
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	8	15,6	8,8	89	3,3
ONKIVESI HEIKINNIEMI	24.6.1991	9:15	10,3	1,1	9,8	15,5	8,8	88	3
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	1	18,4	8,7	93	2,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	2	18	8,6	91	2,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	4	17,8	8,6	91	2,2
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	6	17,4	8,1	85	3,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	8	17,2	8,2	85	3,1
ONKIVESI HEIKINNIEMI	2.7.1991	12:30	10,3	1,1	9,8	17,2	8,1	84	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		1	16,5	8,4	86	2,5
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		2	16,5	8,3	85	2,6
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		4	16,4	8,2	84	2,9
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		6	16,3	8,3	85	2,8
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		8	16,3	8,2	84	3
ONKIVESI HEIKINNIEMI	3.9.1991	8:30	10,1		9,8	16,3	8,1	83	3,3

paikka	pvm	klo	kok.	näkö-	näyte-	lämpötila	happi	hapen	hiilidlok-
			syvyys	syvyys	syvyys				
			m	m	m	°C	mg/l	%	mg/l
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	1	11,7	9,9	91	2,2
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	2	11,7	9,7	89	2,5
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	4	11,7	9,8	90	2,5
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	6	11,4	9,7	89	3
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	7	10,8	9,4	87	3,1
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	8	9,1	8,7	76	4,5
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	10	7,5	7,1	59	8,5
NAARAJÄRVI 1	3.6.1991	12:00	12	3,2	11,5	6,8	4,9	40	10,9
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	1	17	8,9	92	2,1
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	2	17	8,8	91	2,3
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	4	16,3	8,6	87	3
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	5	15,3	7,9	78	#####
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	6	11,6	6,7	61	7,5
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	7	10,9	6,3	57	#####
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	8	9,6	5,5	48	8,6
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	9	8,2	3,8	32	#####
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	10	7,8	2,7	23	13,5
NAARAJÄRVI 1	25.6.1991	8:20	12	3,4	11,5	7,6	2,3	20	14,2
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	1	21	8,2	92	2,4
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	2	20,8	7,9	88	2,1
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	4	19,8	7,2	79	3,5
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	5	17,8	6	63	5,7
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	6	12,8	4,6	43	8,4
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	7	10,9	4,1	37	8,6
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	8	9,2	3,3	29	11,6
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	9	8,5	2,2	19	12,7
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	10	8	1,6	14	13,7
NAARAJÄRVI 1	11.7.1991	8:00	12	2,9	11,5	7,9	0,8	7	14,6
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	1	11,8	9,3	86	2
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	2	11,7	9,4	87	2,4
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	4	11,7	9,2	85	2,7
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	6	11,7	9,3	86	2,7
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	8	11,7	9,3	86	2,3
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	10	11,7	9,2	85	3
NAARAJÄRVI 1	9.9.1991	8:30	12	2,2	11,5	11,6	9,4	86	2,3

paikka	pvm	klo	kok. syvyys m	näkö- syvyys m	näytesyv. yläraja m	näytesyv. alaraja m	lämpötila °C	hapli mg/l	hapen kyl.aste %	hiilidok- sidi mg/l	sameus FTU	sähkön- johtavuus mS/m	alkalini- teetti mmol/l	pH	väri Pt mg/l	kem. hapenkul. mg/l O2	kok. typpi µg/l	nitriitti- typpi µg/l	nitraatti- typpi µg/l	ammonium- typpi µg/l	kok. fosfori µg/l	fosfaatti- fosfori µg/l	natrium mg/l	kalsium mg/l	kalsium mg/l	magnesium mg/l	a-klorofylli µg/l	
KEVÄTÖN RANTA	20.5.1991	11:10	1,5	1,4	1		10,1	12,6	112	2,3	4,1	8,5		7,9		8,6	900	3	51	11	45	8	2,4	3,4	7,6	2,5	23,1	
KEVÄTÖN RANTA	4.6.1991	11:30	1,5	1,2	0	1						4,1	8,5	0,42	7,5	60	7,8	620	2	2	11	46	1	2,4	3,3	7,4	2,5	21,7
KEVÄTÖN RANTA	4.6.1991	11:30	1,5	1,2	1		13,1	9,6	91																			
KEVÄTÖN RANTA	10.6.1991	11:00	1,5	1,2	0	1						5,7	8,5	0,42	7,4		8,2	570	2	2	9	51	1	2,5	3,2	7,6	2,6	17,4
KEVÄTÖN RANTA	10.6.1991	11:00	1,5	1,2	1		15,4	9,4	94	3,3																		
KEVÄTÖN RANTA	17.6.1991	11:50	1,5	1	0	1						6,1	8,5	0,41	7,5		7,7	630	2	2	14	48	1	2,4	3,3	7,5	2,5	25,6
KEVÄTÖN RANTA	17.6.1991	11:50	1,5	1	1		15,8	9,1	92	3,4																		
KEVÄTÖN RANTA	1.7.1991	11:00	1,5	0,7	0	1						12,3	8,5	0,41	7,4		9,4	800	2	2	4	69	1	2,4	3,2	7,7	2,6	42,3
KEVÄTÖN RANTA	1.7.1991	11:00	1,5	0,7	1		17,6	8,6	90	2,8																		
KEVÄTÖN RANTA	2.9.1991	10:30	1,6	0,8	0	1,2						11,8	8,8	0,44	7,8		9,7	750	2	2	5	48	1	2,5	3,3	8,1	2,7	31,2
KEVÄTÖN RANTA	2.9.1991	10:30	1,8	0,8	1		16,8	9,2	95	2,3																		
NAARAJÄRVI RANTA	3.6.1991	14:45	1,5		0	1						1,29	3,6	0,11	7	50	9	350	2	4	6	9	4	1,6	0,8	3,1	1	7,1
NAARAJÄRVI RANTA	3.6.1991	14:45	1,5		1		11,8	9,7	90	2,4																		
NAARAJÄRVI RANTA	25.6.1991	11:00	1,5	1,5	0	1						1,3	3,6	0,1	6,9		9,2	300	2	5	6	8	1	1,6	0,7	3,1	1	5,1
NAARAJÄRVI RANTA	25.6.1991	11:00	1,5	1,5	1		17,8	8,6	91	2,3																		
NAARAJÄRVI RANTA	11.7.1991	11:20	1,5	1,5	0	1						1,62	3,7	0,11	7		9,9	330	2	2	2	10	1	1,7	0,7	3,2	1	10,1
NAARAJÄRVI RANTA	11.7.1991	11:20	1,5	1,5	1		20,5	7,8	87	2,6																		
NAARAJÄRVI RANTA	9.9.1991	10:30			0	1						1,12	3,8	0,14	7,1		11	370	2	2	5	12	2	1,8	0,7	3,4	1,1	22,7
NAARAJÄRVI RANTA	9.9.1991	10:30			1		11,4	9,5	87	2,4																		
ONKIVESI RANTA	27.5.1991	13:30	1,5	1,2	0	1						4	4,7		7,1		16	800	2	250	8	50	9	2	1,9	3,4	1,6	28,3
ONKIVESI RANTA	27.5.1991	13:30	1,5	1,2	1		9,7	11	97	2,8																		
ONKIVESI RANTA	5.6.1991	9:00	1,5	1,2	0	1						4,5	4,8	0,15	7,1	100	18	590	2	150	8	47	4	2,1	1,9	3,5	1,6	40,2
ONKIVESI RANTA	5.6.1991	9:00	1,5	1,2	1		11,4	10,4	94	2,7																		
ONKIVESI RANTA	11.6.1991	12:40	1,5	1	0	1						3,2	4,7	0,15	7,2		16	640	2	96	5	43	5	2,1	1,7	3,4	1,7	35,2
ONKIVESI RANTA	11.6.1991	12:40	1,5	1	1		14,1	10,1	98	2,3																		
ONKIVESI RANTA	24.6.1991	10:45	1,5	1,1	0	1						3,8	4,8	0,15	7,1		18	520	2	58	4	40	5	2,2	1,7	3,5	1,7	20,1
ONKIVESI RANTA	24.6.1991	10:45	1,5	1,1	1		18,2	9,4	100	3,8																		
ONKIVESI RANTA	2.7.1991	14:00	1,5	1,1	0	1						5,4	4,7	0,15	7,2		16	590	2	13	8	44	3	2,1	1,6	3,5	1,7	22,8
ONKIVESI RANTA	2.7.1991	14:00	1,5	1,1	1		18,8	9,2	99	2,2																		
ONKIVESI RANTA	3.9.1991	9:30			0	1						6,3	5,2	0,17	7		17	630	2	18	11	62	6	2,5	1,8	3,9	1,8	42,8
ONKIVESI RANTA	3.9.1991	9:30			1		16,4	8,4	86	3,8																		

Julkaisija  
Suomen ympäristökeskus

Julkaisun päivämäärä  
Toukokuu 1996

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)  
Minna Korttinen

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)  
Sinilevätutkimuksia kolmessa Pohjois-Savon järvestä

Julkaisun laji  
Opinnäytetutkielma

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

#### Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa seurattiin kahden rehevän järven (Kevätön ja Onkivesi, Kuopion lääni) veden laatua, a-klorofyllipitoisuutta ja sinilevien osuutta kasviplanktonbiomassassa kevättäyskierrosta sinileväkukinnan alkamiseen asti. Näytteitä otettiin viikoittain tai kahden viikon välein henäkuun alkupuolelle saakka ja kerran syyskuussa 1991. Vertailujärvenä oli karu Naarajärvi, jossa ei ole esiintynyt sinileväkukintoja. Vertailujärvellä näytteenotto oli harvempaa.

Kevättömässä sinilevien runsastuminen korreloi positiivisesti sameuden ja kesän etenemisen sekä negatiivisesti selvästi kalsiumin, natriumin, magnesiumin ja kesän etenemisen kanssa.

Epäorgaanisella tyypellä ja epäorgaanisen tyyden ja fosforin suhteella oli selvä negatiivinen korrelaatio sinilevien biomassosuuden kanssa.

Sinilevien ja muutamien vedenlaatumuuttujien väliset korrelaatiot muuttuivat etenkin Onkiveden kohdalla, kun vedenlaatumuuttujat valittiin aikaisemmalta havaintokerralta kuin sinilevien osuus biomassasta. Sähkönjohtokyky, alkaliniteetti ja kalsium eivät korreloineet enää lainkaan, kun taas kokonaistypellä ja kaliumpitoisuudella oli tällä kertaa merkittävä negatiivinen korrelaatio sinilevien suhteen.

Yleisesti ottaen tärkeimpiä sinileväkukinnan muodostumista suosivia tekijöitä olivat suhteellisen suuri veden kovuus, ionivahvuus ja sameus. Kevättömässä sinilevien valta-asema vahvistui samalla kun valaistusolosuhteet vesimassassa heikkenivät ja Onkivedessä vastaava kehitys näytti olevan yhteydessä epäorgaanisen tyyden saatavuuden huononemiseen.

#### Asiasanat (avainsanat)

Rehevoityminen, sinilevät, veden laatu, tyyden ja fosforin suhteet

#### Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero  
Suomen ympäristökeskuksen moniste 24

ISBN

ISSN

Kokonaissivumäärä  
88

Kieli  
Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus  
julkinen

Jakaja  
Suomen ympäristökeskus, asiakaspalvelu  
Puh. (90) 4030 0100  
Telefax (90) 4030 0190

Kustantaja  
Suomen ympäristökeskus  
PL 140  
00251 HELSINKI

24

Minna Korttinen ja Hanna Blomqvist

Sinilevätutkimuksia  
kolmessa Pohjois-Savon järvessä

Helsinki 1996

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

PAINOPIIKKA:  
Suomen ympäristökeskuksen monistamo  
Helsinki 1996



# SISÄLLYS

## Hanna Blomqvistin opinnäyte

1	JOHDANTO .....	58
2	TUTKIMUSALUEIDEN KUVAUS .....	59
3	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	60
	3.1. Näytteenotto .....	60
	3.2. Vesikemialliset menetelmät .....	61
	3.3. Mikroskopointi .....	61
	3.4. Perustuotantohuipun määrittäminen .....	62
	3.5. Tilastollinen käsittely .....	62
4	TULOKSET .....	63
	4.1. Fysikaalis-kemialliset vedenlaatutekijät .....	63
	4.2. Kasviplanktonlajisto ja -biomassa .....	67
	4.2.1. Yleistä .....	67
	4.2.2. Onkivesi .....	67
	4.2.3. Kevätön .....	67
	4.2.4. Naarajärvi .....	75
	4.3. Klorofylli .....	75
	4.4. Tilastollinen käsittely .....	80
5	TULOSTEN TARKASTELU .....	80
	5.1. Fysikaalis-kemialliset vedenlaatutekijät .....	80
	5.2. Kasviplanktonlajisto ja -biomassa .....	82
	5.3. Tilastollinen käsittely .....	84
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	85
	KIRJALLISUUS .....	86
	KUVAILULEHTI .....	88



# 1 JOHDANTO

Sinileväkukintojen syntyyn vaikuttavat monet fysikaaliset, kemialliset ja bioottiset tekijät (Stern 1989). Eri tekijöitä painottaen on kehitetty hypoteeseja sinilevien valta-aseman selitykseksi.

Lämpötila-hypoteesin mukaan sinilevillä olisi muita leväryhmiä korkeampi lämpötilaoptimi. Valaistus-hypoteesi taas olettaa, että sinilevillä on muihin leväryhmiin nähden alhaiset valoenergian vaatimukset. Usein viitattu typpi-fosfori -hypoteesi olettaa, että sinilevät hyötyvät alhaisesta N/P-suhteesta, koska monet sinilevät pystyvät molekylaarisen tyypin sidontaan. Laidunnushypoteesin mukaan eläinplankton käyttää tehottomasti sinileviä ravintonaan, jolloin sinilevät saavat kilpailuedun muihin leväryhmiin nähden (Shapiro 1990). Keijuntahypoteesin mukaan sinilevien dominanssin syntyminen johtuu niiden kyvystä kontrolloida solun vajonamista ja nousemista kaasurakkuloiden avulla. Solun ominaispainoa pienentävien kaasurakkuloiden avulla sinilevät pystyvät säätelemään keijumistaan ja siten ohjaamaan vertikaalista liikkumistaan vesipatsaassa syvyyteen, missä vallitsevat optimiolosuhteet (Wetzel 1973). Vesipatsaan stabiilisuus ylipäänsä on merkittävä tekijä sinileväkukinnan kehittymisessä. Turbulenssin eri muotoja tarkastelemalla voidaan osittain ennustaa sinilevien esiintyminen vesialueella (Steinberg & Hartmann 1988).

Viime vuosina paljon tutkittu CO<sub>2</sub>/pH-hypoteesi esittää, että sinileville on etua alhaisesta hiilidioksidipitoisuudesta ja/tai korkeasta pH:sta, jotka ovat ominaisia juuri korkean perustuotannon aikana, kun taas eukaryoottiset levät suosivat vastakkaisia olosuhteita (King 1970, Shapiro 1990). Sinilevillä on muita leväryhmiä tehokkaampi hiilitalous, osittain siitä syystä, että niiden valohengitys on vähäistä, niiden hiilidioksidin kompensatiopiste on alhainen ja koska ne hiilidioksidin lisäksi käyttävät tehokkaasti bikarbonaattia ja voivat jopa muuntaa bikarbonaatin hiilidioksidiksi (Fay 1983). Järvivesissä, joissa veden pH on 6-7, on vapaata hiilidioksidia ja bikarbonaattia suunnilleen yhtä paljon. Emäksisissä vesissä vapaan hiilidioksidin määrä on hyvin pieni ja epäorgaaninen hiili on bikarbonaattina ja karbonaattina (Wetzel 1975).

Hiilidioksidi ja pH ovat vahvasti toisiinsa kytkeytyneet. Kun levien biomassa ja tuotanto kasvaa, alenee veden hiilidioksidipitoisuus ja pH kohoaa. Tämä on edullista sinilevien kannalta. Tullakseen dominoiviksi niiden on kuitenkin oltava planktonissa läsnä.

Myös kokeellisesti on osoitettu, että sinilevien valta-asema on kytkeytynyt CO<sub>2</sub>-pitoisuuteen ja pH-lukuun. Päästyään veden pintakerrokseen sinilevät paitsi lisäävät omaa kykyään fotosynteettisesti aktiivisen valoenergian ja hiilidioksidin käyttöön myös samanaikaisesti 'varjostavat' alapuolisia vesikerroksia ja näin entuudestaan heikentävät muiden levälajien olemassaoloa (Paerl 1988).

Shapiro (1984) osoitti kokeissaan, että pH:ssa 5.5 muutos sinilevistä viherleviin tapahtui 19 kokeessa 20:sta kaikissa testattavista järvissä. Muutoksen pystyi manipuloimaan kesäkuusta lokakuuhun hyvin vaihtelevissa lämpötiloissa, ja muutokseen kului aikaa 9-20 päivää.

Shapiro testasi hypoteesia jo vuonna 1973, jolloin hän vaihteli koeveden pH-arvoja lisäten typpi- ja fosforiravinteiden määrää hiilidioksidin kanssa ja ilman hiilidioksidia. Hiilidioksidin lisääminen ravinteiden kera aiheutti nopean muutoksen sinilevistä viherleviin, josta hän oletti, että sinilevät ovat viherleviä tehokkaampia hyödyntämään hiilidioksidia sen esiintyessä vain pienissä pitoisuuksissa. Tosin Goldman (1973) kritisoi tätä koetta sillä perusteella, että lajiston muutos tapahtuu suhteessa epäorgaanisen hiilen kokonaispitoisuuteen eikä pelkästään hiilidioksidin vaikutukseen.

Olofsson ja Woodward (1977) vertailivat pH:n ja epäorgaanisen hiilen pitoisuuksien vaikutuksia sinilevän (*Anabaena flos-aquae*) ja viherlevän (*Selenastrum capricornutum*) fotosynteesiin. Epäorgaanisen hiilen pitoisuudet vaihtelivat välillä 0.107-1.070 mg C/l ja pH-arvot 7-10. He totesivat, että molempien levälajien fotosynteesi kiihtyi epäorgaanisen hiilen pitoisuuden kasvaessa kaikissa pH-arvoissa mutta kaikissa pitoisuuksissa *Anabaena* yhteytti nopeammin pH-arvon kasvaessa ja *Selenastrum* yhteytti sitä hitaammin mitä korkeammaksi pH nousi.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia sinileväbiomassan kehitystä ja sen suhdetta tärkeimpiin kasviplanktonin kasvuun vaikuttaviin tekijöihin kolmessa Pohjois-Savon järvessä. Tarkoituksena oli keskittyä erityisesti liuenneen epäorgaanisen hiilen merkitykseen kasviplanktoniyhteisön rakenteen säätelijänä tarkastelemalla sitä epäsuorasti pH:n kautta.

## 2 TUTKIMUSALUEIDEN KUVAUS

Tutkimukseen kuului 3 järveä; Kevätön Siilinjärvellä, Onkivesi Lapinlahdella ja Naarajärvi Karttussa. Näistä kahdessa, Kevättömällä ja Onkivedellä, oli todettu sinileväkukintoja jo useiden vuosien ajan. Naarajärvi oli vertailujärveksi valittu karumpi järvi, jossa ei ole esiintynyt voimakasta sinileväkukintaa. Kaikki kolme järveä ovat lievästi humuspitoisia. Järvien keskimääräiset typpi- ja fosforipitoisuudet sekä veden väri on esitetty taulukossa 1.

Kevätön on pienehkö (4.070 km<sup>2</sup>) ja matala (keskisyvyys 2.4 m) lintujärvi, jolla on suhteellisen laaja avovesialue, pienialaiset syvänteet ja lukuisia vesikasvillisuudeltaan reheviä lahtia (Lehtinen 1990). Se kuuluu Vuoksen vesistöalueeseen. Kevättömän lähivaluma-alueen pinta-ala on 16.7 km<sup>2</sup>, josta peltojen osuus on noin 30 %. Rantaviivan pituus on 19.6 km, josta peltorannan osuus 50 %.

Kevätön oli tutkimusjärvistä rehevin. Sen ranta-alueella sijaitsevan Harjamäen Sairaalan jätevedet on laskettu järveen 1930-luvulta vuoteen 1975. Rehevöitymistä on aiheuttanut myös maataloudesta aiheutunut hajakuormitus. Ulkoisen kuormituksen vähennyttyä sisäinen ravinkuormitus pitää yllä korkeaa rehevyytystasoa, josta seurauksena ovat voimakkaat kesäiset leväkukinnot ja talviset happikadot. Järven liiallinen rehevöityminen on vinouttanut kalastorakenteen siten, että särkikannat ovat hyötyneet toisten kilpailevien lajien kustannuksella (Lehtinen & Muje 1989). Pohjaeläimistöissä ovat vallitsevina rehevöitymisestä hyötyvät ja syvänteessä hapen puutetta kestävätkin lajit (Mölsä & Ritola 1989). Myös eläinplanktonista on löydetty enemmän eutrofian indikaattorilajeja kuin oligotrofian suosijoita (Muje & Lehtinen 1991).

Onkivesi on pinta-alaltaan suuri (118 km<sup>2</sup>), mutta matala (keskisyvyys 2-3 metriä) eutrofinen järvi. Se on Iisalmen reitin alaosalla oleva keskusjärvi, jonka kokonaisvaluma-alue on 5 565 km<sup>2</sup> ja lähivaluma-alue 114 km<sup>2</sup>. Peltojen osuus valuma-alueesta on noin 30 %, ja lisäksi Onkivettä kuormittaa kunnallinen jätevedenpuhdistamo.

Naarajärvi oli vertailujärveksi valittu oligotrofinen järvi. Sen pinta-ala on 2,8 km<sup>2</sup> ja keskisyvyys 2-3 metriä. Valuma-alueen suuruus on 11,4 km<sup>2</sup>. Naarajärveen ei kohdistu pistekuormitusta ja peltojen osuus valuma-alueesta on vähäinen (2-4 %).

Taulukko 1. Tutkimusjärvien keskimääräisiä vedenlaatuarvoja vuodelta 1992.

	Kok. N µg/l	P-pit. µg/l	väri mg Pt/l
Kevätön	900	60	60
Onkivesi	800	50	120
Naarajärvi	400	10	70

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1. Näytteenotto

Tutkimus tehtiin kesällä 1992. Näytteenottoajankohdat (n=7) ajoittuivat toukokuun puolivälistä heinäkuun loppupuolelle. Varsinaisia näytteenottokertoja oli 18.5, 26.5, 10.6, 24.6, 7.7, 15.7 ja 22.7. Näytteet otettiin eri järvistä samoina tai peräkkäisinä päivinä. Varsinaisten näytteenottokertojen lisäksi kaikista kolmesta järvestä otettiin elokuussa kasviplanktonnäyte päällysvedestä (0-2 m) sinilevälajiston ja -biomassan laskentaa varten. Onkivedestä näyte otettiin 13.8. ja Kevättömästä ja Naarajärvestä 21.8.

Kasviplanktonnäytteet otettiin putkinoutimella vertikaalisesti 2 metrin paksuisesta vesipatsaasta siten, että ensimmäinen näyte otettiin 0-2 metrin vesipatsaasta, seuraava 2-4 metristä, kolmas 4-6 metristä, neljäs 6-8 metristä, viides 8-10 metristä ja pohjimmainen näyte 30 cm:n mittaisella Limnos-noutimella 0.5 metriä pohjan yläpuolelta. Mikäli lämpötilakerrostuneisuutta ei ollut, kasviplanktonnäytteitä otettiin tutkittavaksi vain 0-2 metrin vesikerroksesta ja pohjan yläpuolelta. Näytteenottopisteet olivat joka kerta samat, ja ne edustivat kunkin vesialueen syvintä kohtaa. Kasviplanktonnäytteet otettiin kokoomanäytteinä siten, että kustakin näytesyvyydestä koottiin vettä 4 noutimellista. Noutimet tyhjennettiin puhtaaseen, huuhdeltuun muovikämpäriin ja sekoitettiin muovikauhalla, jotta kasviplankton jakautuisi tasaisesti. Vedestä otettiin myös klorofylli-näyte 1 litran valoa läpäisemättömään polyeteenipulloon. Kasviplanktonnäyte kaadettiin kauhalla avulla ruskeaan kierretulpalliseen 200 ml:n lasipulloon, jonne oli lisätty pohjalle kestäväintiaineena käytettyä hapanta Lugolin liuosta 0.5 ml. Pulloihin jätettiin ravisteluvara. Näytepullot kuljetettiin laboratorioon viileässä ja valolta suojattuna. Laboratoriossa näytepulloihin lisättiin 2 ml neutraloitua formaliinia. Näytepullojen säilytyspaikkana oli pimeä kylmäkomero.

Jokaisella näytteenotokerralla otettiin vesinäytteet seuraavia vedenlaatuanalyysijä varten: happi (mg/l), happikykylläisyys(%), sameus (FTU), sähkönjohtokyky (mS/m), alkaliniteetti (mmol/l), pH, väri (Pt mg/l), kok.P (µg/l) ja kok.N (µg/l). Lisäksi määritettiin klorofylli-a (µg/l), lämpötila (°C) ja näkösyvyys (m).

Vesinäytteet otettiin Limnos-noutimella. Happi- ja pH-näytteet otettiin ylivaluttamalla hiostulpalliseen 100 ml lasipulloon. Happinäytteet kestävöitiin välittömästi kentällä. Happi ja lämpötila mitattiin metrin välein silloin, kun vesimassa oli kerrostunut, muutoin esimerkiksi syvyyksiltä 1, 3, 5, 7 ja 9.5 metriä. Alin syvyys oli aina 0.5 metriä pohjan yläpuolelta. Näytteet sameuden, sähkönjohtokyvyn, alkaliniteetin ja värin määrittämistä varten otettiin 100 ml:n polyeteenipulloihin, ja kok.P:n ja kok.N:n määrittämistä varten 250 ml:n polyeteeni- tai lasipulloon seuraavilta syvyyksiltä: 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m ja 0.5 metriä pohjan yläpuolelta. Naarajärven näytteenotopiste oli tutkituista järvistä syvin, joten ainoastaan siellä näytteenotto ulottui yli 10 metrin syvyyteen. Vesinäytepullot kuljetettiin laboratorioon viileissä ja suljetuissa kylmälaukuissa, viimeistään seuraavana päivänä tapahtuvaa analysointia varten. Lämpötila eri syvyyksistä katsottiin Limnos-noutimen lämpömittarista ja näkösyvyys mitattiin noutimen valkoiseksi maalatun kansilevyn avulla. Rissalan lentoasemalta saatiin tiedot ilman lämpötilasta, kokonaispilvisyydestä, tuulen suunnasta ja nopeudesta sekä vuorokauden sademäärä.

## 3.2 Vesikemialliset menetelmät

Vesinäytteet analysoitiin Kuopion vesi- ja ympäristöpiirin laboratoriossa seuraavien standardien mukaisesti: Veden a-klorofyllipitoisuuden määrittäminen (SFS 3013).

Ase toniutto, spektrofotometrinen menetelmä. Veden pH-arvon määrittäminen (SFS 3021).

Veden sähkönjohtavuuden määrittäminen (SFS 3022).

Veden väriluvun määrittäminen, komparaattorimenetelmä (SFS 3023).

Veden sameuden nefelometrinen määrittäminen (SFS 3024).

Veden kokonaisfosforin määrittäminen (SFS 3026), hajotus pe- roksodisulfaattilla.

Veteen liuenneen hapen titrimetrinen määrittäminen (SFS 3040).

Alkaliniteetin potentiometrinen määrittäminen (Vesihallituksen ohje vuodelta 1972).

Kokonaistypen määrittäminen (Vesihallituksen ohje vuodelta 1972).

## 3.3. Mikroskopiointi

Planktonnäytteiden laskeutus tehtiin Utermöhlin (1958) tekniikan mukaan. Viileässä olleet kasviplanktonpullot otettiin huoneenlämpöön paria tuntia ennen kuin ne sekoitettuna kaadettiin laskeutumaan laskeutusputkiin. Tämä tehtiin lämpenemisen seurauksena mahdollisesti syntyvien ilmakuplien ja vesivirtausten minimoimiseksi. Näytteiden annettiin laskeutua noin vuorokauden ajan. Laskeutusputkien tilavuus oli 50 ml tai 10 ml näytteen tiheydestä riippuen. Käytännössä toukokuun kaikki näytteet ja Naarajärven kasviplanktonnäytteet lähes koko kesältä pystyi laskeuttamaan 50 ml:n putkissa. Sen sijaan Kevättömän ja Onkiveden näytteet olivat jo kesäkuussa niin tiheitä, että ne laskeutettiin 10 ml:n laskeutusputkissa.

Mikroskopiointi suoritettiin käänteismikroskoopilla siten, että laskenta tehtiin kyvetin kahdelta ristikkäin kulkevalta kaistalta. Mikroskopiointissa tutkittiin sinilevälajit ja kunkin lajin

solulukumäärä, ja määritettiin jokaisen lajin tilavuus sitä lähinnä muistuttavan geometrisen kappaleen tilavuusyhtälöä apuna käyttäen. Muiden leväryhmien osuus määritettiin karkeasti prosenttiosuutena levien kokonaismäärästä.

Sinileväsolujen lukumäärä millilitrassa laskettiin seuraavan kaavan avulla:

$K = \text{kyvetin pinta-ala} / ((\text{näkökaistan pinta-ala})^2) * (1 / \text{laskeutusputken tilavuus})$ .

Biomassaksi muunnettaessa käytettiin hiilen muuntokerrointa 0.2. Biomassa saatiin täten kaavalla:

$B \text{ mg C/l} = \text{solutilavuus} * \text{solujen lkm millilitrassa} * 0.2 * 10^{-6}$

Edellä mainitut laskennat suoritettiin Excel 5.0 taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen kaikille kolmelle järvelle eri näytteenottopäiville ja eri vesikerroksille. Lopuksi laskettiin solujen ja biomassan kokonaismäärät ja kunkin lajin ja lahkun prosenttiosuudet. Sinilevien biomassoja verrattiin vedenlaatuarvojen kanssa.

### 3.4. Perustuotantohuipun määrittäminen

Epäorgaanisen hiilen vähenemistä ja perustuotantohuippua tutkittiin tiheävälisinä näytteenottoina keskikesällä kolmena eri kertana: Onkivedellä 14.7, Kevättömällä 28.7 ja Onkivedellä 30.7. Hiilidioksidi, pH ja lämpötila mitattiin kentällä tunnin välein veden pintakerroksesta ja 1 metrin syvyydestä, ja samanaikaisesti otettiin näytteet alkaliniteettimäärittystä varten. Kenttämittauksen ohella mittarin mahdollisen epäluotettavuuden johdosta otettiin toiset pH-näytteet laboratoriomäärittystä varten. Näytteenoton aikana otettiin myös klorofylli- ja kasviplanktonnäytteet.

Näytteenotto tehtiin soutuveneestä, ja titrausta varten rantauduttiin lähimmälle rannalle. Näytteenottoaika pysyi päivän mittaan samana. Intensiivipäivien näytteenottopisteet eivät olleet samat kuin muussa näytteenotossa. Epäorgaanisen hiilen vähenemisen oletettiin olevan paremmin havaittavissa matalahkossa lahdessa, jossa oli runsaasti kasviplanktonia ja siten suuri perustuotanto.

Hiilidioksidin titrimetrinen määrittäminen tehtiin vesihallituksen v. 1972 antaman ohjeen mukaan, titrausliuoksena käytettiin NaOH:a. pH-mittarina käytettiin Radiometer pH-meter 29:ää, elektrodina GK 2401C. Näytepulloina oli 100 millilitran hiostulpalliset lasipullot, ja kasviplanktonnäyte otettiin 200 ml ruskeaan lasipulloon.

### 3.5. Tilastollinen käsittely

Aineistolle tehtiin muunnoksia, jotta se olisi ollut paremmin normaalisti jakautunut. Kevättömässä sinileväbiomassalle jouduttiin tekemään neliöjuurimuunnos ja typelle logaritmuunnos. Onkivedessä sinileväälle tehtiin muunnos:  $-(\text{sinilevä}+1)^{-2}$  ja fosforille  $-1/\text{fosfori}$ . Naarajärvessä sinilevä vaati kuutiojuurimuunnoksen ja fosfori logaritmuunnoksen. Kukin järvi muodosti oman tiedostonsa. Aineiston käsittelyssä käytettiin Windowsin SPSS-ohjelmaa 6.1. Tilastollisina testeinä käytettiin Askeltavaa- (Stepwise) ja Enter-regressioanalyysijä. Seli-



tettävänä muuttujana oli sinileväbiomassa, ja selittävinä muuttujina pH, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori ja veden lämpötila. Klorofylli korreloi niin voimakkaasti sinileväbiomassan kanssa ( $R^2 > .80$ ), että se jätettiin jatkotarkasteluista pois, koska sinilevät ovat osa klorofylliä. Havaintoja järveä kohti oli vain 25-41, mikä on suhteellisen vähän tilastollisen luotettavuuden saavuttamiseksi. Tulosten luotettavuutta vähentää myös muunnosten käyttö, varsinkin kun samoille muuttujille ei voitu eri tiedostoissa käyttää samoja muunnoksia.

## 4 TULOKSET

### 4.1. Fysikaalis-kemialliset vedenlaatutekijät

Toukokuun puolenvälin sää oli suhteellisen tuuletonta ja pilvisyys vaihteli välillä 2-5/8. Tosin ensimmäistä näytteenottopäivää (18.5) edeltävä päivä oli melko tuulinen (6-8 m/s) ja pilvisyyskin oli 7-8/8. Toukokuun loppupuolesta aina kesäkuun puoliväliin asti sää pysyi pilvettömänä (noin 1/8) ja vähätuulisenä (1-3 m/s). Kesäkuun puolessavälissä tuli pieniä sateita, ja pilvisyys ja tuulen voimakkuus lisääntyi hieman.

Kesäkuun lopun näytteenottoa (24.6) edeltäneet päivät olivat pilvisyydeltään 5-8/8 ja tuuli oli suhteellisen voimakas 5-8 m/s. Myös sadekuuroja esiintyi. Kesäkuun lopulla oli jälleen pilvetöntä ja vähätuulista, kunnes heinäkuun alusta lähtien pilvisyys lisääntyi 7-8/8:aan ja tuulen nopeus oli 3-7 m/s. Heinäkuun alkupäivinä myös satoi runsaasti. Kokonaisuutena heinäkuun sää oli vaihteleva. Heinäkuun lopun/elokuun sää oli sateista ja ajoittain jopa myrskyistä. Varsinkin Naarajärven ja Kevättömän kasviplanktonnäytteenottoa (21.8) edeltäneet päivät olivat sateisia ja tuulisia.

Lämpötilat järvissä olivat samaa luokkaa varsinkin ylemmissä vesikerroksissa. Lämpimimmillään (19,2°C) pintavesi oli 10.6. Selvimmin kerrostui Naarajärvi, jossa kerrostuneisuus säilyi koko tutkimusjakson. Toukokuun ensimmäisellä näytteenottokerralla (18.5) Kevättömän ja Onkiveden lämpötilat olivat samat kaikissa vesikerroksissa. Kevätön kerrostui selvästi vain toukokuun lopulla ja kesäkuun alussa.

Toukokuussa järvien happipitoisuuksissa ei ollut suuria eroja eri vesikerrosten välillä, happipitoisuuksien pysytellessä välillä 7,6-10,9 mg/l. Myöhemmin kesällä varsinkin Kevättömän happipitoisuus laski jyrkästi jo 5 metrin syvyydellä, ja oli ajoittain lähellä nollaa pohjan tuntumassa. Myös Naarajärven happipitoisuus laski erittäin alhaiseksi loppukesällä pohjan yläpuolisessa vesikerroksessa, mutta ylemmät kerrokset pysyivät happipitoisuudeltaan hyvinä.

Kaikkien tutkittujen järvien päällysveden pH nousi toukokuusta heinäkuun loppuun. Alusveden pH-arvoissa ei ollut selvää muutossuuntaa. Sekä pinnassa että pohjan yläpuolisessa kerroksessa kaikkien kolmen järven pH:t muuttuivat samansuuntaisesti jokaisella näytteenottokerralla. Vertikaalisesti kuvattuna pH-arvot olivat suurempia pinnassa kuin syvemmissä kerroksissa, paitsi Kevättömässä 24.6., jolloin pinnan pH-arvo jäi hieman syvempiä kerroksia alemmaksi.

Kevättömän johtokykyarvot, samoin kuin alkaliniteetti, olivat huomattavasti suurempia kuin Onkivedellä ja Naarajärvellä. Kevättömän johtokyky oli pintakerroksissa välillä 8.7-8.9 mS/m, ja pohjan läheisyydessä välillä 8.8-10 mS/m. Onkivedellä johtokyky oli pintakerroksissa suurimmillaan 5.2 mS/m ja pohjakerroksessa 5.8 mS/m. Naarajärven arvot olivat Onkiveden arvoja pienempiä. Kevättömän alkaliniteetti oli pinnassa yli 0.40 mmol/l läpi kesän, ja pohjakerroksen alkaliniteetti vaihteli välillä 0.41-0.61 mmol/l. Naarajärven alkaliniteetti-arvot olivat välillä 0.11-0.20 mmol/l, ja Onkiveden välillä 0.13-0.21 mmol/l. Onkivedellä olivat suurimmat väriarvot (100-160 mg Pt/l), joskin myös Naarajärvellä loppukesän väriarvot alusvedessä olivat korkeita (120-160 mg Pt/l). Kevättömällä väri vaihteli välillä 35-100 mg Pt/l. Näkösyvyudet olivat koko kesän suurimmat Naarajärvellä, jossa ne olivat välillä 1.9-3.2 metriä. Kevättömällä ja Onkivedellä näkösyvyys oli usein alle metrin.

Kevättömällä ja Onkivedellä kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet olivat suuria. Kokonaistyyppi vaihteli Kevättömässä välillä 830-1500 µg/l ja Onkivedellä välillä 600-1150 µg/l. Naarajärvessä kokonaistyyppiä oli useimmiten alle 500 µg/l. Kokonaisfosfori oli Kevättömällä ylimmissä vesikerroksissa välillä 39-73 µg/l, Onkivedellä välillä 44-67 µg/l, ja Naarajärvellä alle 20 µg/l. Typpi/fosfori -suhteet olivat pienempiä Kevättömällä ja Onkivedellä kuin Naarajärvellä. Vedenlaatu-arvojen keskiarvot ja vaihteluvälit näkyvät taulukossa 2.

Ensimmäinen intensiivipäivä oli 14.7. Onkivedellä. Samana päivänä oli myös normaali näytteenottokerta. Tuuli oli näytteenottoaikana 4-5 m/s ja pilvisyys 5-7/8. Näytteitä otettiin tunnin välein aikavälillä 8.20-14.10. Sekä pinnan että 1 metrin hiilidioksidi- ja pH-arvoissa ei päivän mittaan tapahtunut muutoksia. Pinnan hiilidioksidipitoisuudet olivat väliltä 0.31-0.34 mg CO<sub>2</sub>/l, ja pH pysytteli välillä 6.9-7.0. Metrin syvyydellä hiilidioksidipitoisuus oli väliltä 0.29-0.34 mg CO<sub>2</sub>/l ja pH 6.9. Lämpötiloissa ei ollut eroa pinnan ja 1 metrin välillä. Lämpötila oli väliltä 16°-18°C. Alkaliniteetti myöhemmin laboratoriossa määritettynä oli 0.19 mmol/l.

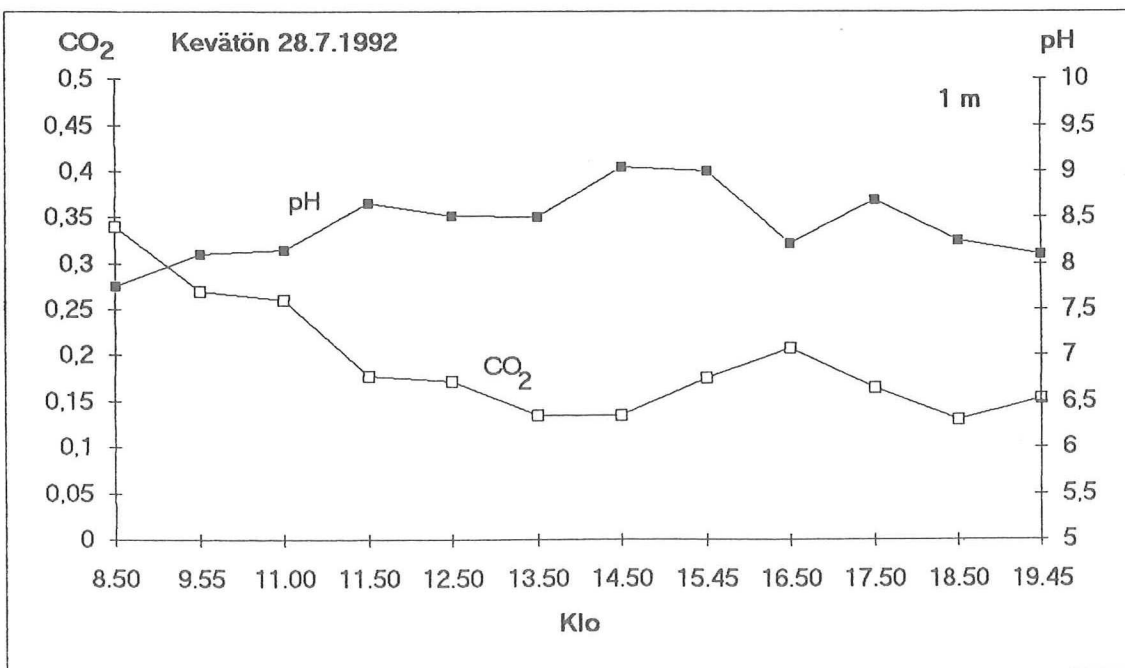
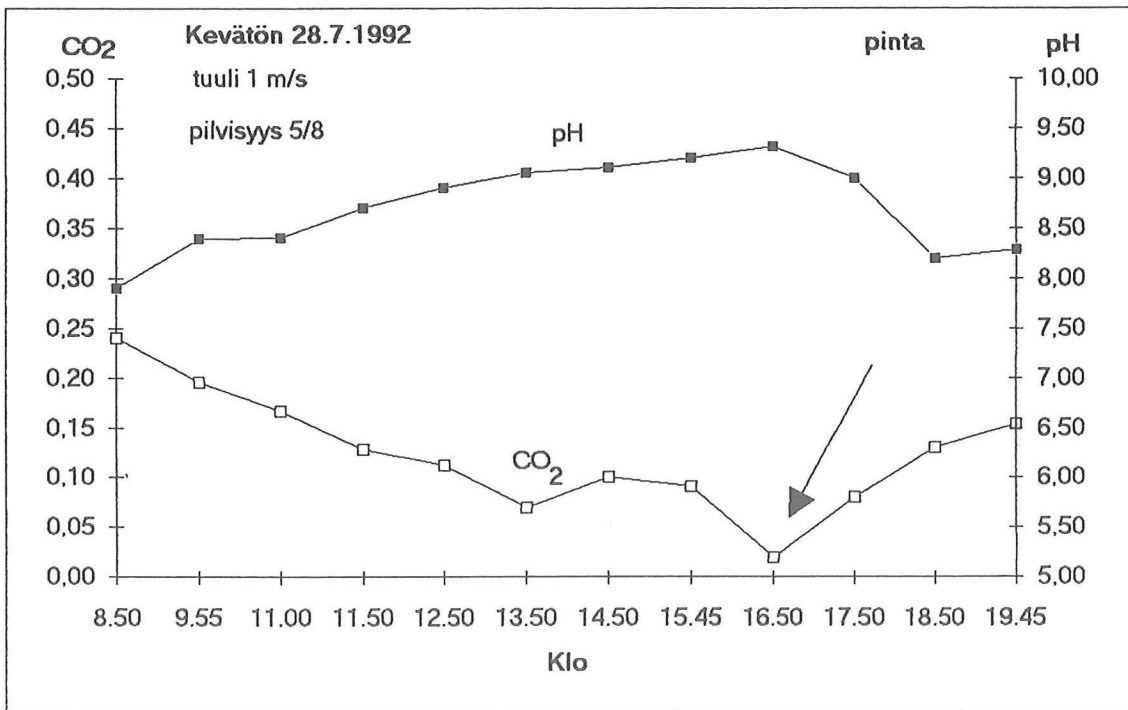
Kevättömän intensiivipäivänä 28.7. tuuli oli 1 m/s ja pilvisyys 5/8. Näytteenotto aloitettiin klo 8.50 ja lopetettiin klo 19.45. Pinnanäytteessä hiilidioksidi laski vähitellen ja oli minimissään 0.02 mg CO<sub>2</sub>/l klo 16.50. Samaan aikaan pH oli huipussaan 9.32. Tämän jälkeen hiilidioksidipitoisuus alkoi nousta ja pH laskea. Metrin syvyydessä CO<sub>2</sub>-pitoisuus noudatteli samaa trendiä, mutta pinnan minimipitoisuuden aikana hiilidioksidipitoisuus metrissä kasvoi voimakkaasti ja pH laski (Kuva 1). Laboratoriossa tehdyt pH-mittaukset tukivat järvellä saatuja tuloksia. Lämpötila pinnan ja 1 metrin välillä vaihteli jonkin verran. Pinnan lämpötila oli koko näytteenottoajan muutamaa astetta kymmenystä suurempi. Myöhään iltapäivällä lämpötilaero tasaantui. Hiilidioksidiminimin aikana pinnan lämpötila oli 20.6°C ja metrissä 19.2°C. Lämpötilahuiput (20.9°C) olivat pinnassa klo 11.50 ja klo 13.50. Alkaliniteetti pysytteli päivän mittaan välillä 0.42-0.44 mmol/l.

Viimeinen intensiivipäivä oli Onkivedellä 30.7. Tuulen voimakkuus oli 5 m/s ja pilvisyys 5/8. Näytteenotto aloitettiin klo 8.50 ja lopetettiin klo 13.50. Pinnan hiilidioksidipitoisuus vaihteli välillä 0.310-0.360 mg/l ja metrissä välillä 0.308-0.370 mg/l. pH vaihteli pinnassa välillä 6.8-7.03 ja metrin syvyydellä välillä 6.8-7.03. Lämpötiloissa pinnan ja metrin välillä ei ollut suurta eroa. Lämpötila pysytteli välillä 17.8-18.5°C. Alkaliniteetti pinnassa oli 0.19 mmol/l ja metrissä 0.20 mmol/l.

Taulukko 2. Tutkimusjärvien vedenlaatuarvojen keskiarvot (ka) ja vaihteluvälit

	0-4 m		Onkivesi		Kevätön		Naarajärvi	
	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli	ka	vaihteluväli
Lämpötila oC	14,9	8,2-19,3	15,9	9,7-20,0	15,9	11,2-19,3	15,9	11,2-19,3
Happi mg/l	8,8	7,6-10,0	9,3	6,6-11,5	9	8,3-10,2	9	8,3-10,2
Happi kyllästys%	87	81-96	93	70-111	92	87-105	92	87-105
pH	6,7	5,9-7,0	7,2	6,4-8,3	6,6	6,0-7,1	6,6	6,0-7,1
Sähkönjohtokyky mS/m	4,8	4,4-5,2	8,8	8,6-8,9	3,8	3,7-3,8	3,8	3,7-3,8
Alkaliniteetti mmol/l	0,16	0,13-0,19	0,43	0,40-0,44	0,12	0,11-0,13	0,12	0,11-0,13
Sameus (FTU)	6,2	4,0-10,4	10,8	3,30-17,50	1,4	0,91-1,80	1,4	0,91-1,80
Väri Pt mg/l	120	100-160	50	35-80	65	50-80	65	50-80
Kokonais-N µg/l	840	600-1200	900	820-1100	420	350-470	420	350-470
Kokonais-P µg/l	54	42-67	57	37-77	12	9,0-17	12	9,0-17
Klorofylli-a µg/l	25,4	13,6-51,3	30	15-47,2	9	6,3-11,8	9	6,3-11,8
Näkösyyvyys m	1	0,7-1,2	1,1	0,6-2,1	2,8	1,9-3,2	2,8	1,9-3,2
<b>alusvesi</b>								
Lämpötila oC	13,1	8,1-16,2	12,6	9,7-16,2	9,4	7,4-10,4	9,4	7,4-10,4
Happi mg/l	7,1	2,7-9,9	5,2	0,2-9,6	3,1	0-8,0	3,1	0-8,0
Happi kyllästys%	67	25-85	48	2,0-85	26	0-67	26	0-67
pH	6,6	5,9-7,0	6,9	6,4-7,3	6,2	5,9-6,6	6,2	5,9-6,6
Sähkönjohtokyky mS/m	5,1	4,4-5,8	9,4	8,8-10,6	4,1	3,8-4,3	4,1	3,8-4,3
Alkaliniteetti mmol/l	0,18	0,14-0,21	0,49	0,41-0,61	0,14	0,11-0,20	0,14	0,11-0,20
Sameus (FTU)	6,1	4,10-10,40	13	2,60-23	5,9	1,53-11,0	5,9	1,53-11,0
Väri Pt mg/l	130	100-160	55	35-100	110	70-160	110	70-160
Kokonais-N µg/l	800	600-1100	1120	880-1500	500	450-550	500	450-550
Kokonais-P µg/l	58	48-71	66	34-95	19	12,0-24	19	12,0-24
Klorofylli-a µg/l	16,5	7,2-40,2	27	8,3-46,1	6,7	2,3-12,1	6,7	2,3-12,1





Kuva 1. Intensiivipäivän pH:n ja hiilidioksidimäärän vaihtelut pinnassa ja 1 metrissä.

## 4.2. Kasviplanktonlajisto ja -biomassa

### 4.2.1. Yleistä

Kevättömässä lajilukumäärä oli suurin, kun taas Naarajärnessä esiintyi sinilevälajeja, joita ei ollut muissa järvissä, esimerkiksi *Anabaena lemmermannii*. Kevättömässä oli varsinkin *Microcystis*-lajeja, *Planktolyngbya subtilis*, *Chroococcus minutus* ja *Coelosphaerium kuetzingianumia*. Onkiveden sinilevälajiston muodosti lähes yksinomaan *Aphanizomenon flos-aquae*. Onkiveden ja Kevättömän sinileväbiomassat olivat huomattavasti suurempia kuin Naarajärnessä. Kevättömän sinileväbiomassat olivat suuria jo alkukesästä, ja muihin järviin verrattuna myös alusvedessä biomassat olivat korkeita. Taulukoista 3, 4, 5 ja 6 näkyvät sinilevälajit ja niiden runsaudet tutkimusjärvissä kesän aikana.

### 4.2.2. Onkivesi

Onkivedessä toukokuun näytteet olivat hyvin piilevävaltaisia eikä sinileviä juuri esiintynyt. Kesäkuun lopulla sinilevien osuus oli edelleen pieni (7-8%), mutta tällöin sinilevien lajilukumäärä oli suurimmillaan. Heinäkuun alussa (7.7.) piilevien määrä oli jo laskenut ja sini- ja viherlevät runsastuneet. Sinileviä oli noin 30 % kaikesta kasviplanktonista, valtalajina *Aphanizomenon flos-aquae* (Kuva 2).

Heinäkuun puolessa välissä sinilevät vallitsivat 0-6 metrissä. Intensiivipäivän (14.7) kasviplanktonnäytteessä sinilevien osuus oli päällysvesikerroksessa 0-2 metriä jopa 70%. *Aphanizomenon flos-aquae* muodosti lähes yksinään sinilevädominanssin. Leväsoluja oli vähän, joten biomassa ei noussut kovin korkeaksi. Heinäkuun lopun näytteessä oli havaittavissa sinilevien keskittyminen aivan pintakerrokseen, josta jo silmin pystyi havaitsemaan suuria *Aphanizomenon*-kimppuja. Intensiivipäivänä 30.7. sinilevien osuus kasviplanktonista oli 45-50%, piileviä oli 25% ja nieluleviä 10%. Elokuun puolessa välissä (13.8.) *Aphanizomenon flos-aquae* oli edelleen dominoivin laji, mutta myös muita sinilevälajeja oli ilmaantunut runsaasti joukkoon, esimerkiksi *Pseudanabaena limnetica* ja *Achroonema* spp. Sinilevien biomassa oli huomattavasti suurempi kuin aikaisemmissa näytteissä (Kuva 3). *Aphanizomenon*-yhdykskunnat olivat jo hajonneita. Myös piileviä oli runsaasti, varsinkin *Fragilaria crotonensis*.

### 4.2.3. Kevätön

Jo ensimmäisellä näytteenottokerralla (18.5.) sinilevälajisto oli runsas, vaikka piilevät vielä hallitsivatkin kasviplanktonissa (Kuva 4). Kesäkuun alussa (10.6.) sinilevät olivat pintakerroksissa vallitsevina, mutta alusvedessä niiden osuus oli vähäinen. Biomassa nousi nopeasti kesäkuun puolenvälin jälkeen ollen suurimmillaan 24.6. Lajilukumäärä pysyi koko kesän korkeana. Heinäkuussa sinilevien osuus oli alusvedessä jopa suurempi kuin pinnalla (Kuva 5). Kaikissa vesikerroksissa oli tällöin havaittavissa paljon kuolleita ja hajonneita sinileväyhdykskuntia. Valtalajeja olivat *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii* ja *Planktolyngbya subtilis* (Kuvat 6 ja 7).

Taulukko 3. Sinilevälajit ja niiden runsaudet tutkimusjärvissä (\* vähän, \*\* kohtalaisesti, \*\*\* runsaasti) toukokuussa.

Toukokuu

Naarajärvi Onkivesi Kevätön

CHROOCOCCALES

<u>Gomphosphaeria aponina</u> Kützing			
<u>Gomphosphaeria pusilla</u> (van Goor) Komárek			
<u>Snowella lacustris</u> (Chodat) Komárek & Hindak			
<u>Snowella septentrionalis</u> Komárek & Hindak			
<u>Woronichinia compacta</u> (Lemmermann) Komárek & Hindak			
<u>Woronichinia naegeliana</u> (Unger) Elenkin	*	*	
<u>Coelosphaerium kuetzingianum</u> Nägeli			*
<u>Aphanothece clathrata</u> W. & G. S. West			
<u>Aphanothece castagnei</u> (Brébisson) Rabenhorst			
<u>Microcystis aeruginosa</u> Kützing		*	***
<u>Aphanocapsa elachista</u> W. & G. S. West			
<u>Microcystis reinboldii</u> (Richter) Forti	*	*	**
<u>Microcystis viridis</u> (A. Braun) Lemmermann			*
<u>Microcystis wesenbergii</u> (Komárek) Starmach			**
<u>Chroococcus minutus</u> (Kützing) Nägeli	*	*	*
<u>Merismopedia punctata</u> Meyen			*
<u>Merismopedia warminqiana</u> Lagerheim			

NOSTOCALES

<u>Achroonema</u> sp.			*
<u>Limnothrix planktonica</u> (Woloszynska) Messert		*	*
<u>Oscillatoria</u> sp.			
<u>Phormidium tenue</u> (C. A. Agardh) Anagnostidis & Komárek			*
<u>Planktothrix agardhii</u> (Gomont) Anagnostidis & Komárek *		*	*
<u>Pseudanabaena limnetica</u> (Lemmermann) Komárek			*
<u>Planktolynqbya subtilis</u> (W. West) Anagnostidis & Komárek			***
<u>Phormidium dictyothallum</u> Skuja			
<u>Pseudanab. mucicola</u> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Bourrelly			*
<u>Aphanizomenon flos-aquae</u> (Linné) Ralfs		*	*
<u>Aphanizomenon flos-aquae</u> f. <u>gracile</u> Lemmermann			*
<u>Anabaena</u> sp. (l. 6.5 p. 7.8)			*
<u>Anabaena</u> sp. (l. 5.8 p. 8)			*
<u>Anabaena</u> sp. (l. 2.6 p. 5.2)			
<u>Anabaena circinalis</u> Rabenhorst			
<u>Anabaena flos-aquae</u> Brébisson			
<u>Anabaena lemmermannii</u> P. Richter			
<u>Anabaena solitaria</u> Klebahn			
<u>Anabaena spiroides</u> Klebahn			

Taulukko 4. Sinilevälajit ja niiden runsaudet tutkimusjärvissä (\* vähän, \*\* kohtalaisesti, \*\*\* runsaasti) kesäkuussa.

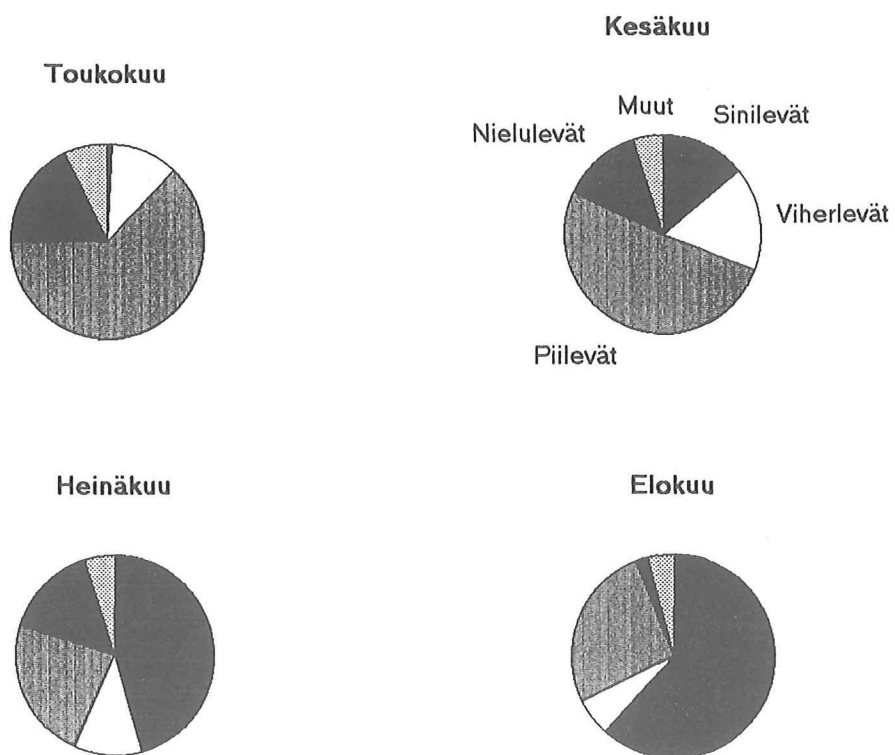
Kesäkuu	Naarajärvi	Onkivesi	Kevätön
<b>CHROOCOCCALES</b>			
<u>Gomphosphaeria aponina</u>			
<u>Gomphosphaeria pusilla</u>			
<u>Snowella lacustris</u>	*		
<u>Snowella septentrionalis</u>	*		
<u>Woronichinia compacta</u>	*		*
<u>Woronichinia naegeliana</u>	*	*	*
<u>Coelosphaerium kuetzingianum</u>	**	*	**
<u>Aphanothece clathrata</u>			
<u>Aphanothece castagnei</u>			
<u>Microcystis aeruginosa</u>			***
<u>Aphanocapsa elachista</u>			
<u>Microcystis reinboldii</u>	*		**
<u>Microcystis viridis</u>			*
<u>Microcystis wesenbergii</u>			***
<u>Chroococcus minutus</u>	*	**	**
<u>Merismopedia punctata</u>			*
<u>Merismopedia warmingiana</u>	*		
<b>NOSTOCALES</b>			
<u>Achroonema sp.</u>	*	**	***
<u>Limnothrix planktonica</u>			*
<u>Oscillatoria sp.</u>	*		
<u>Phormidium tenue</u>			
<u>Planktothrix agardhii</u>	*	**	**
<u>Pseudanabaena limnetica</u>	*	*	*
<u>Planktolyngbya subtilis</u>	*	**	***
<u>Phormidium dictyothallum</u>			
<u>Pseudanab. mucicola</u>		*	**
<u>Aphanizomenon flos-aquae</u>		***	*
<u>Aphanizomenon flos-aquae f. gracile</u>	*	**	*
<u>Anabaena sp. (l. 6.5 p. 7.8)</u>	*	*	
<u>Anabaena sp. (l. 5.8 p. 8)</u>		*	**
<u>Anabaena sp. (l. 2.6 p. 5.2)</u>		*	*
<u>Anabaena circinalis</u>			
<u>Anabaena flos-aquae</u>		*	
<u>Anabaena lemmermannii</u>	**		
<u>Anabaena solitaria</u>			*
<u>Anabaena spiroides</u>			*

Taulukko 5. Sinilevälajit ja niiden runsaudet tutkimusjärvissä (\* vähän, \*\* kohtalaisesti, \*\*\* runsaasti) heinäkuussa.

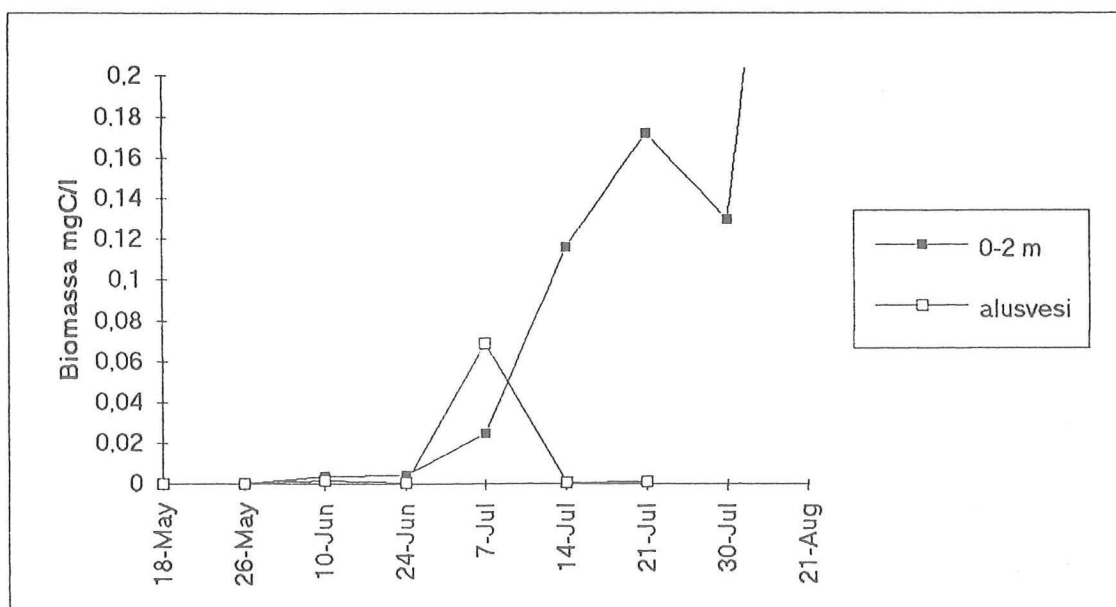
Heinäkuu	Naarajärvi	Onkivesi	Kevätön
<b>CHROOCOCCALES</b>			
<u>Gomphosphaeria aponina</u>	*		
<u>Gomphosphaeria pusilla</u>	*		
<u>Snowella lacustris</u>	**	*	*
<u>Snowella septentrionalis</u>	*		*
<u>Woronichinia compacta</u>			**
<u>Woronichinia naegeliana</u>	*	*	*
<u>Coelosphaerium kuetzingianum</u>	***	*	***
<u>Aphanothece clathrata</u>	*	*	
<u>Aphanothece castagnei</u>		*	
<u>Microcystis aeruginosa</u>	*	*	***
<u>Aphanocapsa elachista</u>	**		*
<u>Microcystis reinboldii</u>	*	**	***
<u>Microcystis viridis</u>	*		**
<u>Microcystis wesenbergii</u>		*	***
<u>Chroococcus minutus</u>	**	*	***
<u>Merismopedia punctata</u>			
<u>Merismopedia warmingiana</u>	*		*
<b>NOSTOCALES</b>			
<u>Achroonema sp.</u>		**	***
<u>Limnothrix planktonica</u>			
<u>Oscillatoria sp.</u>			
<u>Phormidium tenue</u>			
<u>Planktothrix agardhii</u>	*		*
<u>Pseudanabaena limnetica</u>	*	*	***
<u>Planktolyngbya subtilis</u>	**		***
<u>Phormidium dictyothallum</u>			
<u>Pseudanab. mucicola</u>	*		**
<u>Aphanizomenon flos-aquae</u>		***	*
<u>Aphanizomenon flos-aquae f. gracile</u>		**	***
<u>Anabaena sp. (l. 6.5 p. 7.8)</u>	*		
<u>Anabaena sp. (l. 5.8 p. 8)</u>			*
<u>Anabaena sp. (l. 2.6 p. 5.2)</u>			
<u>Anabaena circinalis</u>			*
<u>Anabaena flos-aquae</u>	*	*	
<u>Anabaena lemmermannii</u>	**		
<u>Anabaena solitaria</u>		*	***
<u>Anabaena spiroides</u>		*	*

Taulukko 6. Sinilevälajit ja niiden runsaudet tutkimusjärvissä (\* vähän, \*\* kohtalaisesti, \*\*\* runsaasti) elokuussa.

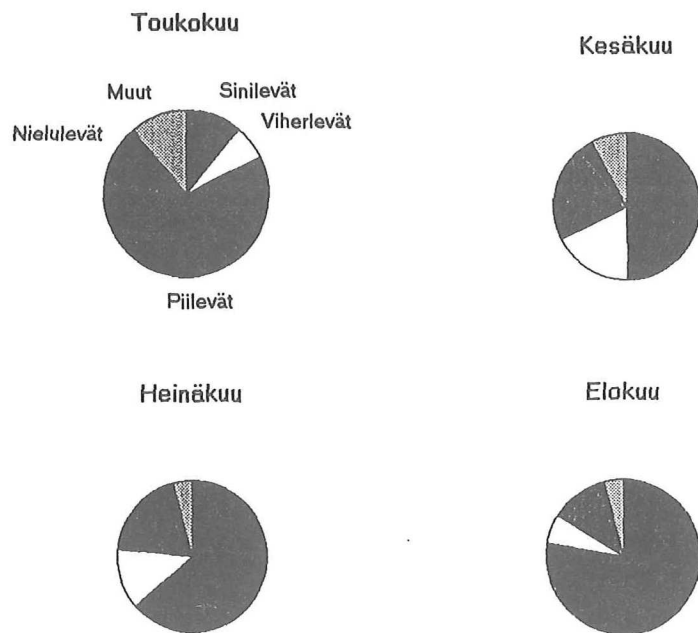
Elokuu	Naarajärvi	Onkivesi	Kevätön
<b>CHROOCOCCALES</b>			
<u>Gomphosphaeria aponina</u>			
<u>Gomphosphaeria pusilla</u>			
<u>Snowella lacustris</u>			
<u>Snowella septentrionalis</u>	*		*
<u>Woronichinia compacta</u>			**
<u>Woronichinia naegeliana</u>		*	
<u>Coelosphaerium kuetzingianum</u>	**		***
<u>Aphanothece clathrata</u>			
<u>Aphanothece castagnei</u>			
<u>Microcystis aeruginosa</u>		*	***
<u>Aphanocapsa elachista</u>		*	
<u>Microcystis reinboldii</u>		**	***
<u>Microcystis viridis</u>			**
<u>Microcystis wesenbergii</u>		*	***
<u>Chroococcus minutus</u>	**	*	***
<u>Merismopedia punctata</u>			
<u>Merismopedia warmingiana</u>	*		
<b>NOSTOCALES</b>			
<u>Achroonema sp.</u>		**	**
<u>Limnothrix planktonica</u>			
<u>Oscillatoria sp.</u>			
<u>Phormidium tenue</u>			
<u>Planktothrix agardhii</u>			
<u>Pseudanabaena limnetica</u>		**	*
<u>Planktolyngbya subtilis</u>			***
<u>Phormidium dictyothallum</u>		*	
<u>Pseudanab. mucicola</u>			**
<u>Aphanizomenon flos-aquae</u>		***	
<u>Aphanizomenon flos-aquae f. gracile</u>			**
<u>Anabaena sp. (l. 6.5 p. 7.8)</u>			
<u>Anabaena sp. (l. 5.8 p. 8)</u>			
<u>Anabaena sp. (l. 2.6 p. 5.2)</u>			
<u>Anabaena circinalis</u>		*	
<u>Anabaena flos-aquae</u>			
<u>Anabaena lemmermannii</u>	**		
<u>Anabaena solitaria</u>			***
<u>Anabaena spiroides</u>			



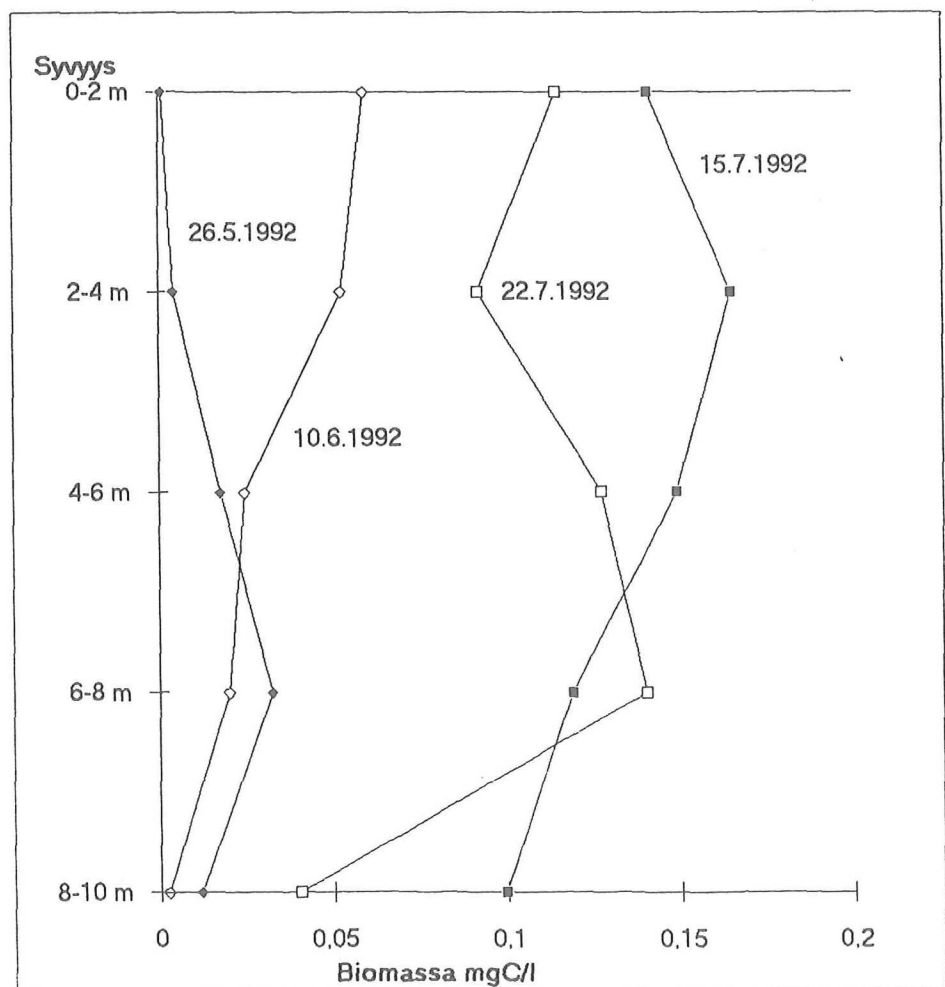
Kuva 2. Onkiveden kasviplanktonryhmien osuudet kokonaissolumäärästä.



Kuva 3. *Aphanizomenonin* biomassa eri vesikerroksissa Onkivedessä

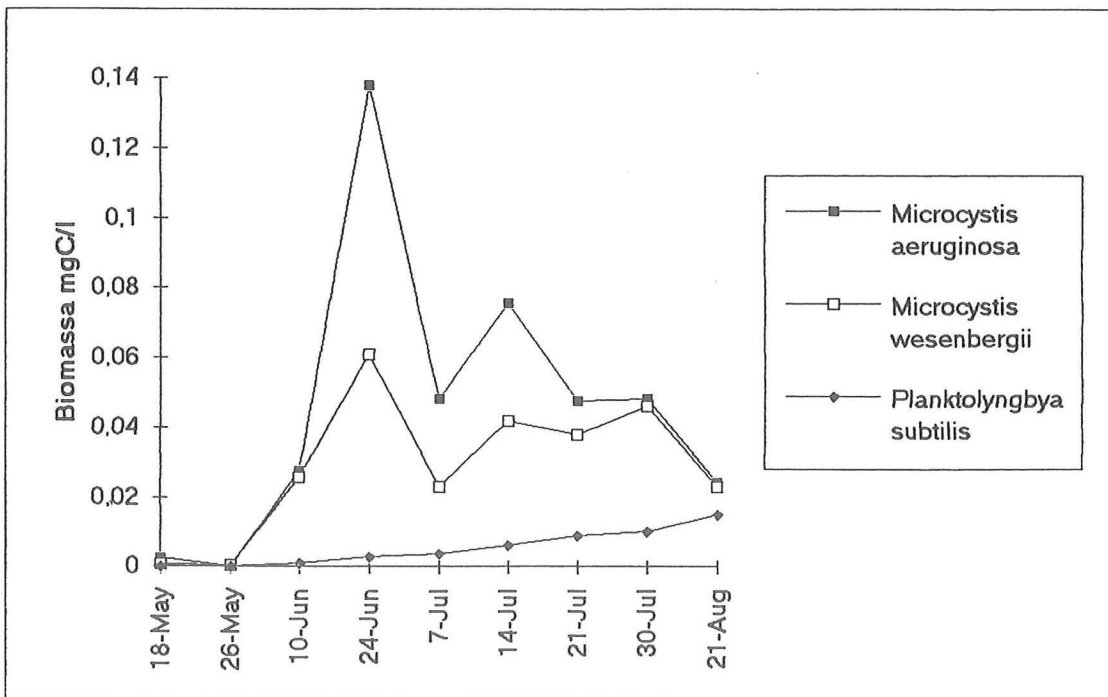


Kuva 4. Kevättömän kasviplanktonryhmien osuudet kokonaissolumäärästä

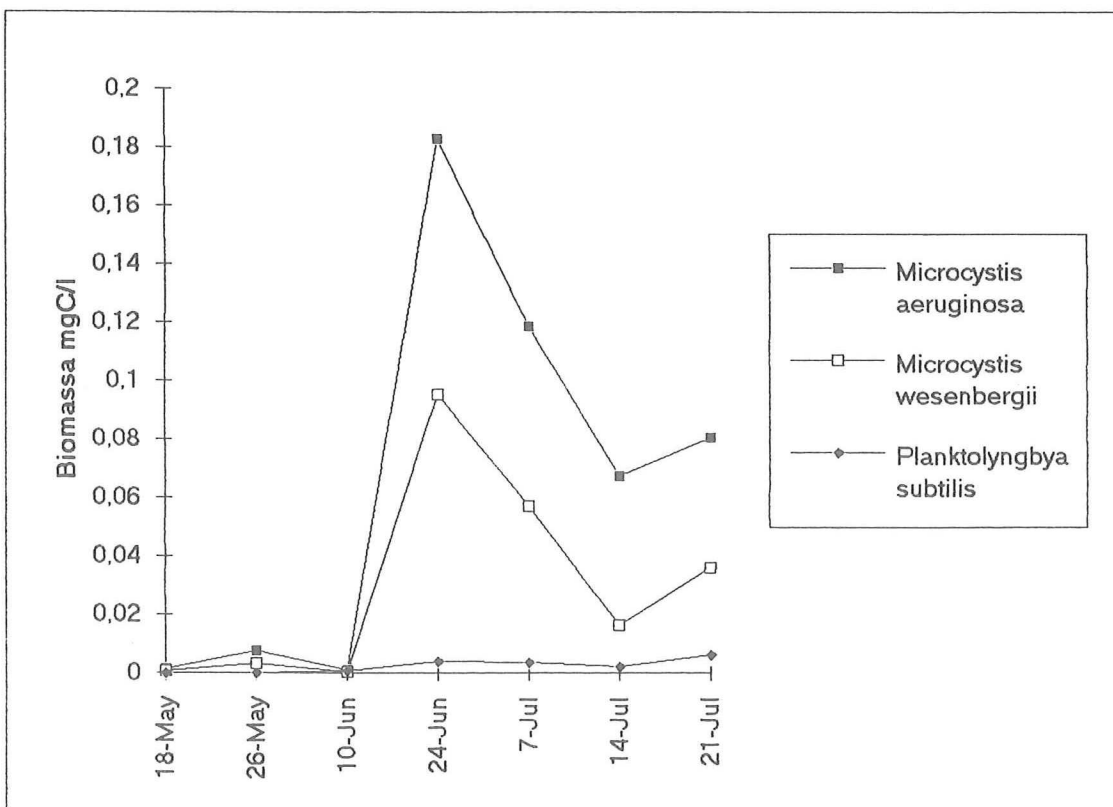


Kuva 5. Kevättömän sinileväbiomassoja vertikaalisesti.

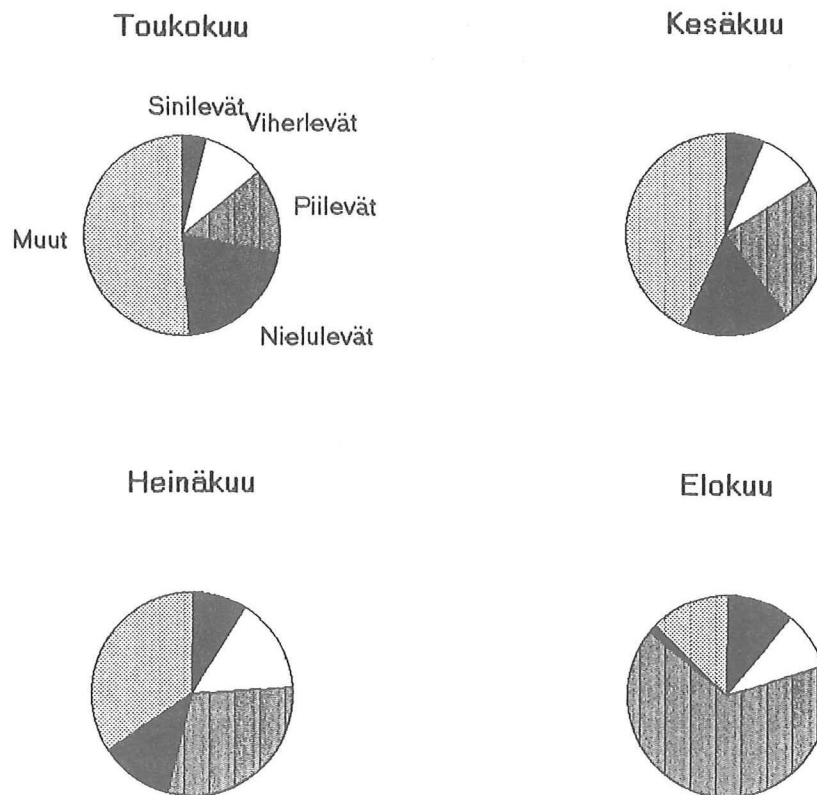




Kuva 6. Valtalajien biomassakehitys Kevättömän päänlyvedessä (0-2 m).



Kuva 7. Valtalajien biomassakehitys Kevättömän alusvedessä.



Kuva 8. Naarajärven kasviplanktonryhmien osuudet kokonaissolumääristä.

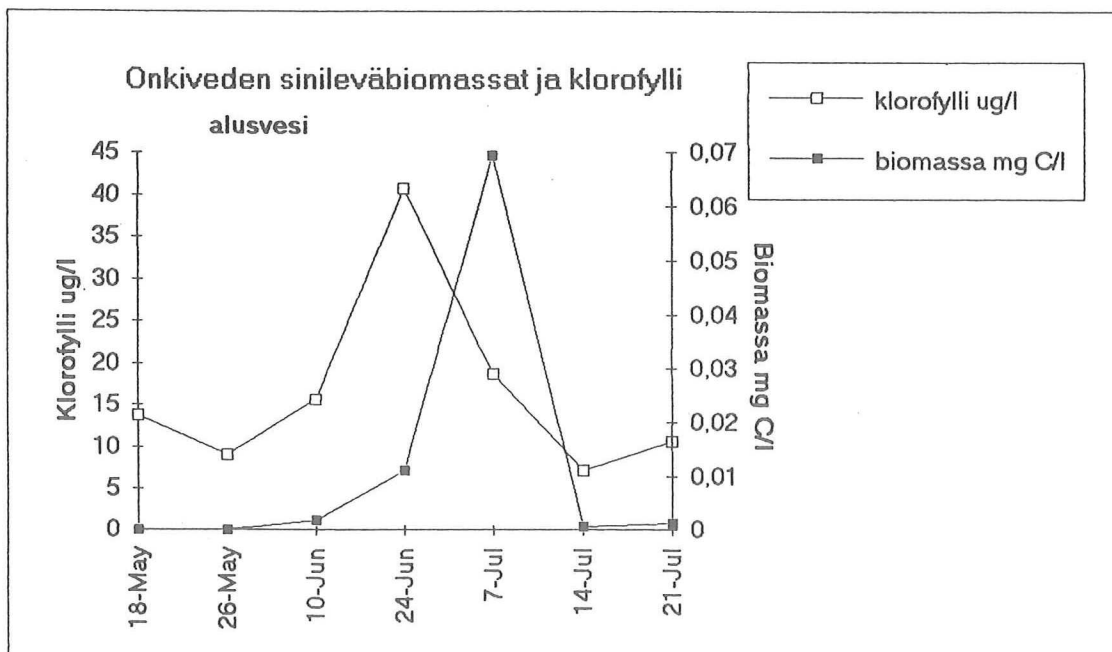
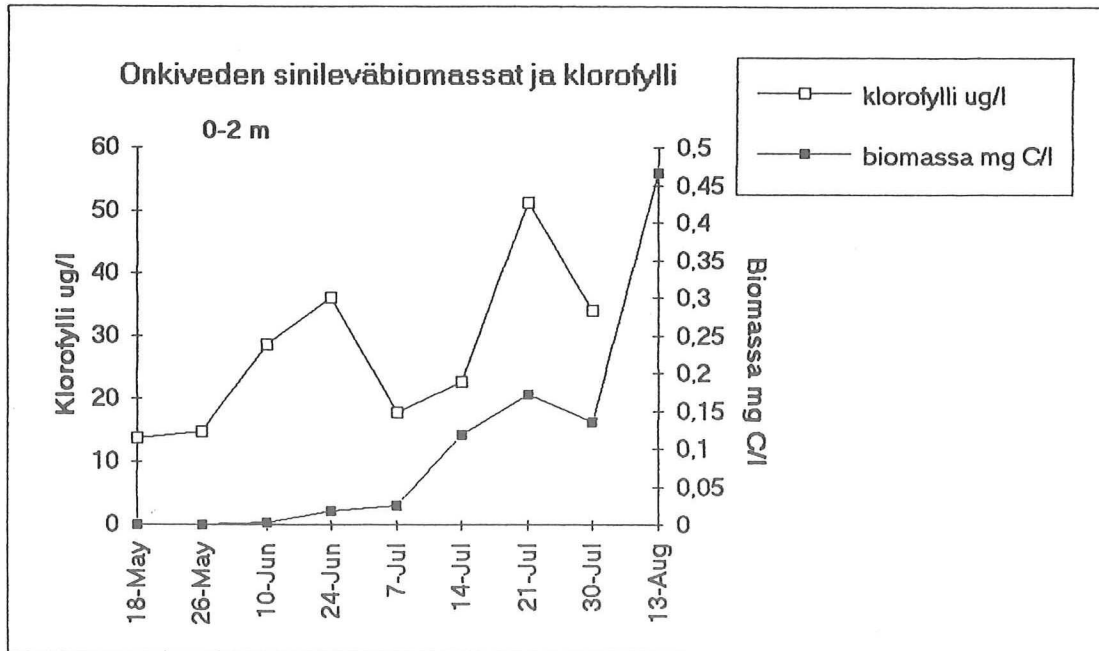
#### 4.2.4. Naarajärvi

Naarajärven sinileviä alkoi esiintyä vasta kesäkuun lopussa ja valtalajeina olivat kultalevät. Yleisin sinilevälaji oli *Coelosphaerium kuetzingianum*. Heinäkuun puolella välissä sinilevien lajilukumäärä oli jo runsaampi, varsinkin alimmissa vesikerroksissa. Pohjakerroksessa esiintyi runsaasti *Planktolyngbya subtilista*. Dominoivaa leväryhmää ei ollut. Tosin piileviä oli elokuun pintanäytteessä runsaasti. Sinilevien biomassa pysyi erittäin alhaisena koko kesän (Kuva 8).

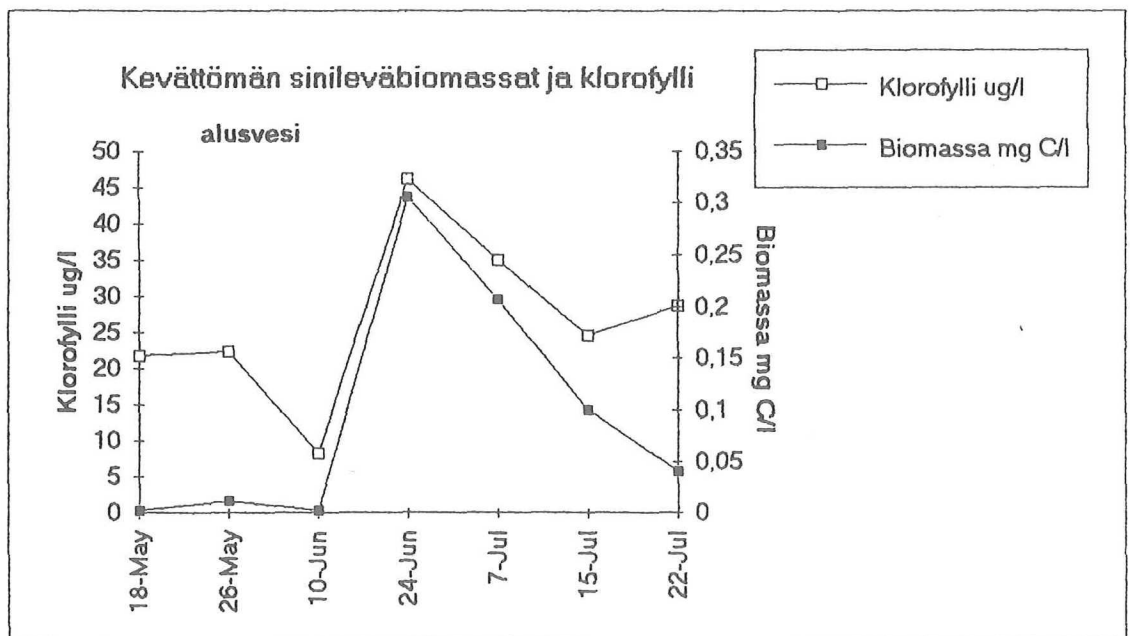
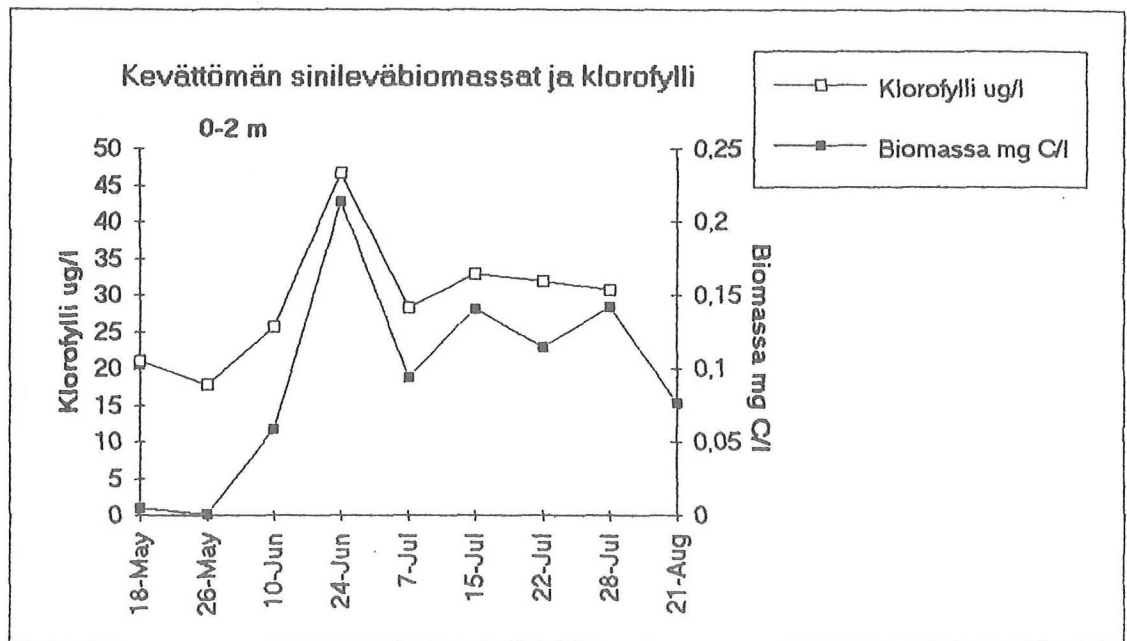
### 4.3. Klorofylli

Naarajärven suurimmat klorofyllipitoisuudet olivat samaa luokkaa Onkiveden ja Kevättömän pienimpien arvojen kanssa. Onkiveden klorofylliarvot syvyydellä 0-4 metriä vaihtelivat välillä 13.6-51.3  $\mu\text{g/l}$ , Kevättömässä välillä 15-47.2  $\mu\text{g/l}$  ja Naarajärven välillä 6.3-11.8  $\mu\text{g/l}$ . Kevättömän pintakerroksessa klorofylli-a oli suurimmillaan 24.6. (46.7  $\mu\text{g/l}$ ), jolloin myös alusveden klorofylliarvo oli suurin (46.1  $\mu\text{g/l}$ ). Kevättömän intensiivipäivänä 28.7. klorofyllipitoisuus oli pinnassa 28.9  $\mu\text{g/l}$  ja yhden metrin syvyydellä 33.7  $\mu\text{g/l}$ . Onkiveden klorofylli 0-2 metrissä nousi korkeimmaksi 21.7., jolloin se oli 51.3  $\mu\text{g/l}$ . Alusveden suurin klorofylliarvo Onkivedellä oli 24.6. (40.7  $\mu\text{g/l}$ ). Onkiveden intensiivipäivänä 14.7. klorofylli oli 22.7  $\mu\text{g/l}$ , ja 30.7. pidettynä intensiivipäivänä klorofylli oli pinnassa 32.4  $\mu\text{g/l}$  ja metrin syvyydessä 35.8  $\mu\text{g/l}$ . Naarajärven klorofyllipitoisuus pysyi kohtalaisen tasaisena koko kesän. Tosin 8.7.

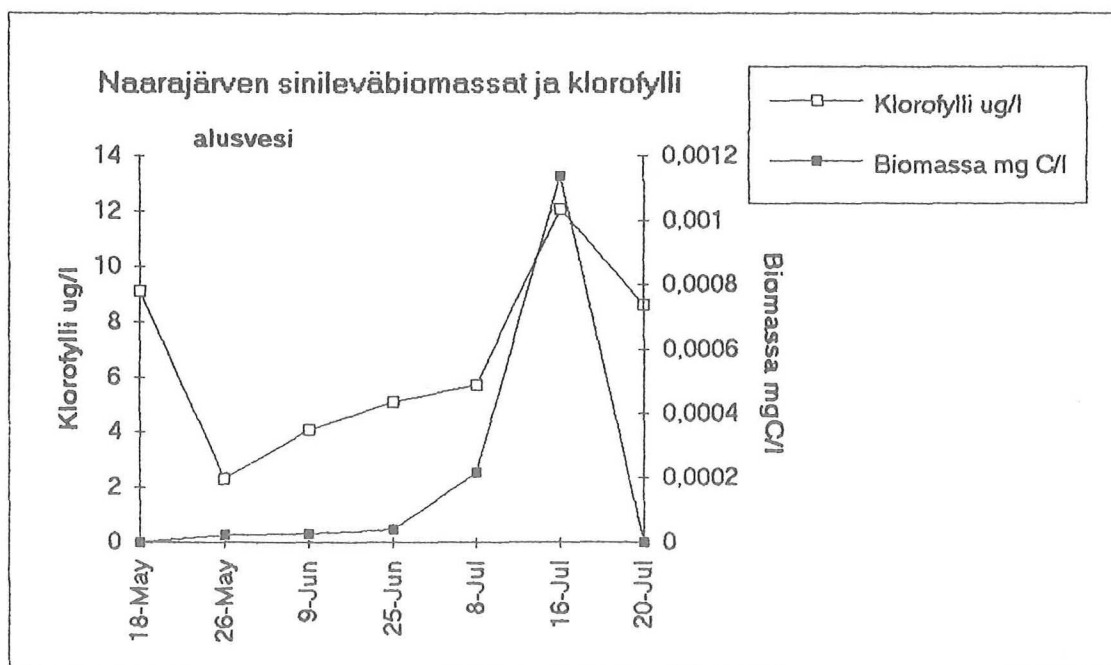
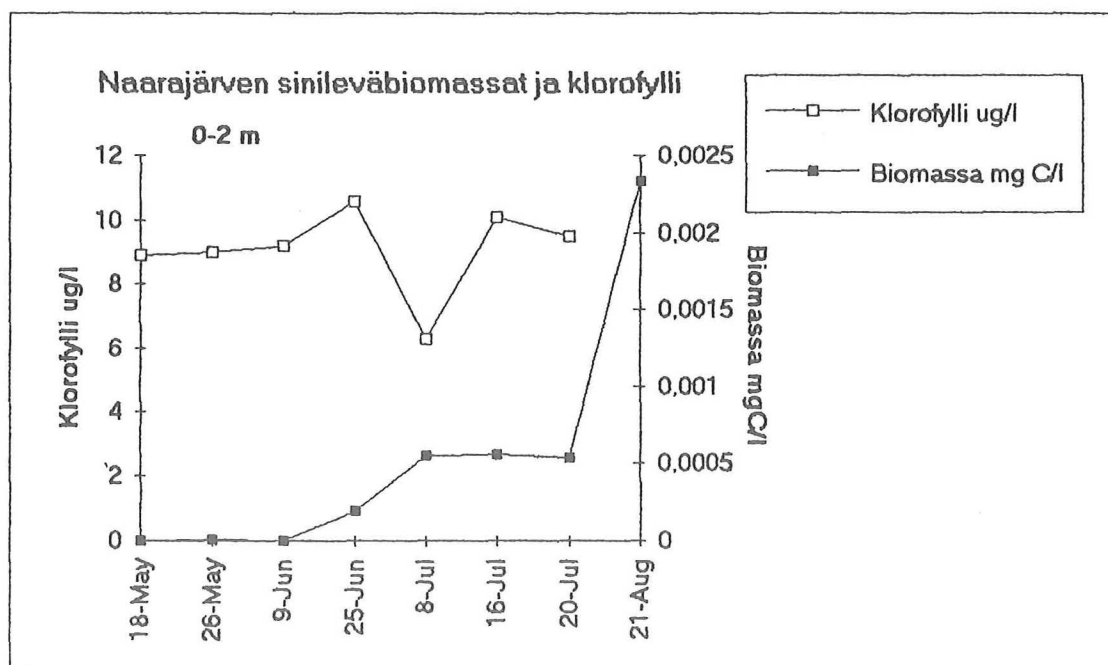
pintakerroksen klorofylliarvoissa tapahtui selvä lasku, ja 16.7. vastaavasti alusvedessä selvä nousu, jolloin a-klorofylli oli 12.1 µg/l. Klorofyllipitoisuudet ja sinileväbiomassat vaihtelivat hyvin samansuuntaisesti kaikissa järvissä (Kuvat 9, 10 ja 11).



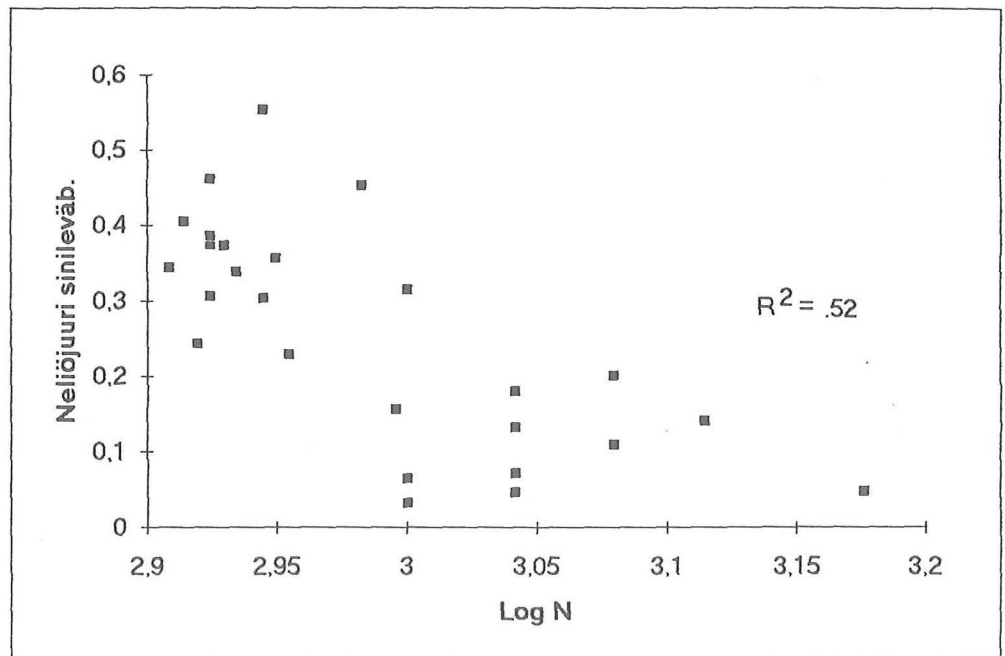
Kuva 9. Onkiveden sinileväbiomassat ja klorofylli 0-2 metrissä ja alusvedessä.



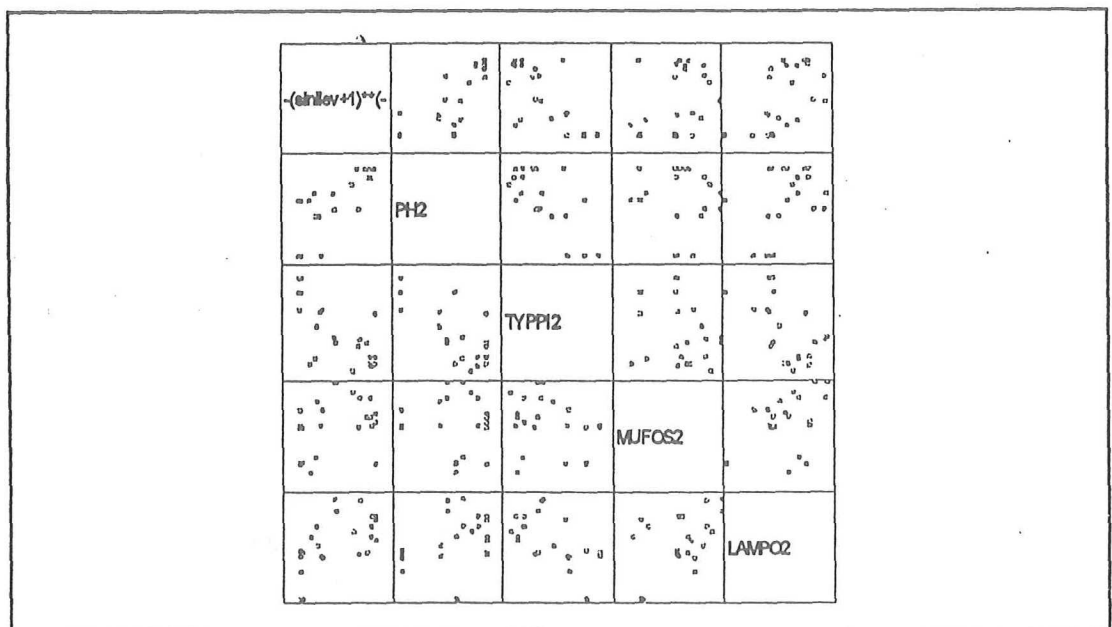
Kuva 10. Kevättömän sinileväbiomassat ja klorofylli 0-2 metrissä ja alusvedessä.



Kuva 11. Naarajärven sinileväbiomassat ja klorofylli 0-2 metrissä ja alusvedessä.



Kuva 12. Muunnetun sinilevän ja log typen välinen korrelaatio Kevättömässä.



Kuva 13. Korrelaatiodiagrammi Onkivedestä sinilevän ja selittävien muuttujien välillä (mufos2= muunnettu fosfori).

## 4.4. Tilastollinen käsittely

Stepwise-menetelmän mukaan eniten sinileväbiomassan vaihtelusta Kevättömässä selitti kokonaistyyppi ( $R^2=.52$ ,  $p<.001$ ), jonka korrelaatio sinilevän kanssa oli negatiivista (Kuva 12). Toiseksi merkittävin oli kokonaisfosfori, joka yhdessä kokonaistypen kanssa selitti 72% vaihtelusta ( $R^2=.72$ ,  $p<.001$ ). Testin mukaan pH ja veden lämpötila eivät selittäneet merkittävästi sinileväbiomassan vaihtelua, joskin pH:n vaikutus oli tilastollisesti suuntaa antava ( $p=.07$ ). Enter-menetelmä antoi kaikkien (kokonaistyyppi ja -fosfori, pH ja veden lämpötila) yhteiseksi selitysasteeksi  $R^2=.76$  ( $p<.001$ ).

Onkivedessä Stepwise-menetelmän mukaan merkittävin tekijä oli pH ( $R^2=.55$ ,  $p<.001$ ) (Kuva 13), ja seuraavana veden lämpötila, joka selitti pH:n kanssa 76%:a sinileväbiomassan vaihtelusta ( $R^2=.76$ ,  $p<.001$ ). Kolmanneksi tärkein selittäjä oli fosfori, joka pH:n ja lämmön kanssa selitti 81% vaihtelusta. Tyypellä ei tämän testin mukaan ollut tilastollista merkitystä. Enter-menetelmä antoi kaikkien yhteiseksi selitysasteeksi  $R^2=.81$ .

Stepwise-menetelmä antoi eniten selittäväksi muuttujaksi Naarajärvessä typen ( $R^2=.27$ ,  $p<.05$ ), ja seuraavaksi fosforin, joka typen kanssa selitti 47%:a sinileväbiomassan vaihtelusta ( $R^2=.47$ ,  $p<.001$ ). Veden lämpötilalla ja pH:lla ei ollut tilastollista merkitystä sinileväbiomassan vaihtelun selittäjinä. Enter-menetelmä antoi kaikkien selittävien muuttujien yhteiseksi selitysasteeksi  $R^2=.49$ ,  $p<.001$ ).

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1. Fysikaalis-kemialliset vedenlaatutekijät

Toukokuun loppupuolen vähätuuliset ja -pilviset säät loivat hyvät edellytykset sinileväpopulaation muodostumisen ja kasvun alkamiselle. Keväen täyskierto oli palauttanut ravinteita pohjasta koko vesimassaan, ja sitä seurannut tyyni jakso teki olosuhteet sinileville optimaalisiksi. Usein sinileväkukinnot syntyvät tyynissä, tuulettomissa olosuhteissa, mikäli järvessä on jo olemassa sinileväpopulaatio ja varsinkin, jos lajit ovat kaasurakkulallisia eli kykenevät säätelemään liikkumistaan vesikerroksien välillä (Reynolds 1986). Kevättömässä esiintyneet *Microcystis*-lajit ja Onkiveden *Aphanizomenon* ovat tyypillisesti kaasurakkulallisia, ja niiden tiedettiin aiheuttaneen kukintoja jo useina vuosina.

Kun sinileväpopulaatiot olivat jo saaneet vahvan aseman Kevättömän ja Onkiveden kasviplanktonissa, ei edes loppukesän sääolosuhteiden heikkeneminen horjuttanut niiden valta-asemaa. Tosin heinäkuun lopun huonot säät olivat todennäköisesti osasyynä siihen, että Kevättömässä sinilevät laskeutuivat alusveteen ja yhdyskunnat alkoivat hajota. Kevättömässä sinilevädominanssi alkoi jo huomattavasti varhaisemmassa vaiheessa Onkiveteen verrattuna, jossa *Aphanizomenon*-yhdyskunnat veden pintakerroksessa vain runsastuivat loppukesää kohden.

Kevättömässä lämpökerrostuneisuuden rikkoutumisen jälkeen kesäkuun lopulla klorofylli- ja sinileväbiomassa-arvot nousivat hetkeksi huippulukemiinsa, jonka jälkeen ne alkoivat laskea



jyrkästi. Myös Onkivedessä kerrostuneisuuden hävittyä klorofylli-arvot nousivat. Molemmat järvet olivat suhteellisen matalia (keskisyvyys 2-3 metriä) ja hyvin ravinteikkaita, joten vesimassojen sekoittuminen ei juuri häirinyt sinilevien valta-asemaa, sillä kaasurakkuudessa ne ilmeisesti pystyivät sopeutumaan vallitseviin olosuhteisiin ja saivat jopa lisää ravinteita alusvedestä. Onkivedessä sekoittuminen päinvastoin sysäsi sinilevät liikkeelle, sillä *Aphanizomenon*-yhdyskunnat runsastuivat koko vesipatsaassa. Vasta elokuun myrskyjen aikana oli Onkivedessä pinnan sinilevämaksimi. Myrsky nostatti sinilevämassat pintaan, ja *Aphanizomenon*-yhdyskunnat alkoivat hajota.

Kesäkuun lopun vesikerrosten sekoittumisen jälkeen näkösyvyys kaikissa kolmessa järvessä laski minimiin. Kevättömässä näkösyvyys pysyi tämän jälkeen alhaisena koko kesän johtuen todennäköisesti suurimmalta osaltaan leväsamennuksesta. Karussa Naarajärvessä ei tapahtunut suuria heilahteluja klorofylli-arvoissa eikä sinileväbiomassassa koko kesän aikana. Naarajärvi pysyikin kerrostuneena koko kesän, tosin kesäkuun lopulla Naarajärvessäkin alusvettä lukuunottamatta vesikerrokset sekoittuivat aiheuttaen hetkellisen näkösyvyyden pienenemisen. Todennäköisesti juuri vähäravinteisuudesta ja kerrostuneisuudesta johtuen Naarajärvessä ei muodostunut yhtä suurta sinileväbiomassaa kuin Kevättömässä ja Onkivedessä.

Järvien happipitoisuudet pysyivät suhteellisen hyvinä koko kesän. Loppukesän tuulisuus ja sateisuus edesauttoi happitilanteen säilymistä hyvänä. Kevättömän pintakerroksissa esiintyi ajoittain hapen ylikyllästymistä runsaan kasviplanktonituotannon seurauksena, ja vastaavasti hapen puutetta alusvedessä. Fogg (1973) on todennut, että sinilevien metaboliatoiminnot, kuten typen sidonta ja fotosynteettinen hiilen sidonta estyvät suurissa hapen pitoisuuksissa, ja valossa sinilevät kasvavat todennäköisesti nopeammin vähähappisissa kuin täysin hapellisissa oloissa. Tästä syystä sinileväkukinnot ovat yleensä voimakkaampia järvissä, joilla on taipumus kärsiä kesällä hapenpuutteesta hypolimnionissa. Naarajärven alusveden pienet happipitoisuudet pohjakerroksessa johtuivat osittain siitä, että Naarajärven näytteenottopaikka oli muiden järvien näytteenottopaikkaa syvempi.

Järvien pH:n nousu pinnassa toukokuusta heinäkuun loppuun johtui kasviplanktonin voimistuvasta fotosynteettisestä aktiivisuudesta, jolloin ne kuluttavat vedestä epäorgaanista hiiltä, josta seuraa pH:n kasvu päällysvedessä (Harris 1986). Erityisesti tiheiden leväpopulaatioiden fotosynteettinen aktiivisuus voi aiheuttaa merkittävää hiilen vähenemistä, kun liuennta hiilidioksidia kulutetaan vedestä nopeammin kuin uutta ehtii liueta ilmakehästä ja muodostua hengityksen tuloksena. Kun hiilidioksidi jatkaa vähenemistään, on seurauksena pH:n nousu, kunnes tasapaino hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatti-ionien välillä saavutetaan. Seurauksena on epäorgaanisen hiilen puute, korkea pH ja muutoksia dominanssilajeissa. Kun hiilidioksidia on vapaasti käytettävissä, se diffundoituu leväsolujen kalvon läpi. Pienissä pitoisuuksissa levien kasvu joko rajoittuu tai ne käyttävät bikarbonaattia hiilen lähteenä. Useiden sinilevien, varsinkin *Microcystis aeruginosa*, on todettu käyttävän tehokkaasti bikarbonaattia (Talling 1976). Myös eräät muut leväryhmät, erityisesti viherlevät, pystyvät käyttämään bikarbonaattia hiilen lähteenään, mutta vähemmän tehokkaasti (Raven 1984). Hiilidioksidisysteemillä voi siten olla merkittävä rooli, koska se määrää makeanveden planktonin laadullisen koostumuksen (Reynolds 1986). Hiilidioksidin vähäisen määrän oletetaan lisäävän sinilevien keijuntakykyä, mikä edesauttaa niiden pysymistä valon saannin kannalta edullisissa pintakerroksissa (Klemer 1990).

Varsinkin Kevättömässä oli selvä ero pinnan ja alempien vesikerrosten pH:ssa siten, että pH kasvoi pintaa kohti. Poikkeuksena oli 24.6. näytteenottopäivä, jolloin oli tapahtunut vesikerrosten sekoittuminen. Silloin pH-arvot olivat tasoittuneet vesipatsaassa.

Yhteenvedona voidaan todeta, että Kevättömän ja Onkiveden tulokset ilmentävät selvää eutrofiaa, kun taas Naarajärven vedenlaatutulokset kuvaavat karun järven olosuhteita. Sinileväkukintojen on usein todettu olevan yhteydessä runsasravinteisuuteen, ja vastaavasti karuissa järvissä harvemmin esiintyy mittavia sinileväkukintoja.

Useimmat kukintoja muodostavat epilimneettiset sinilevät ovat koloniaalisia, ja siten suuria verrattuna muihin kasviplanktonlajeihin. Niiden pinta-alan suhde tilavuuteen on näin alempi, jolloin myös ravinteidenottonopeus ja kasvu ovat alhaisia. Edellä mainittu rajoittaa sinilevien esiintymisen useimmiten vain eutrofisiin vesiin (Humphries & Lyne 1988). Ravinnekuormitus ei tosin välttämättä kuvasta kasviplanktonin saatavilla olevien ravinteiden määrää, sillä ravinteiden kiertonopeus vesiekosysteemeissä vaihtelee (Whitton & Carr 1982).

Kasviplankton tuotannon vuorokautista vaihtelua tutkittiin intensiivitarikkailupäivinä 14.7, 28.7 ja 30.7. Pienikin tuuli häiritsi määrittämistä, ja vain 28.7 Kevättömässä onnistuttiin perustuotantohuipun määrittämisessä. Huippu oli myöhään iltapäivällä, mikä on vastoin yleistä käsitystä, jonka mukaan kasviplankton tuotanto olisi voimakkainta aamupäivän aikana. Klo 16.50 jälkeinen hiilidioksidimäärän jyrkähkö kasvu johtui ilmeisesti illalla lisääntyneestä tuulesta, mitä tukee metrin syvyydellä tapahtunut CO<sub>2</sub>-pitoisuuden päinvastainen kehitys. Hiilidioksidin määrä ja pH ovat toisistaan riippuvaisia, sillä pH:n noustessa hiilidioksidin määrä laski. Perustuotantohuippu ylipäätään jäi epäselväksi, koska loppukesän tuuliset säät eivät antaneet mahdollisuutta toistaa määrittystä paremmissa oloissa.

## 5.2. Kasviplanktonlajisto ja -biomassa

Onkivedellä valtalajina esiintynyt *Aphanizomenon flos-aquae* on kaasurakkulallinen, hyvin yleinen planktinen sinilevä ja vedenkukan muodostaja eutrofisissa vesissä (Tikkanen 1986). *Aphanizomenon* on suuri kooltaan ja sillä on taipumus muodostaa isoja yhdyskuntia. Se pystyy myös tehokkaasti säätelemään keijuntaansa ja tekemään kontrolloituja vertikaalivaelluksia (Reynolds 1986). Edellä mainitut tekijät tekevät siitä tehokkaan kilpailijan, ja selittävät sitä, ettei Onkivedessä esiintynyt merkittäviä määriä muita sinileviä. *Aphanizomenonilla* on heterokystejä, joilla se pystyy sitomaan veteen liuennutta molekylaarista typpeä. Typpisuolojen vähyys ei rajoita sen kasvua samalla tavoin kuin muiden levien kasvua. Onkiveden typpi/fosfori -suhde oli loppukesästä suhteellisen alhainen (<15), jolloin *Aphanizomenon* ilmeisesti pääsi hyötymään runsaasta fosforista muiden lajien kärsiessä typen niukkuudesta. Typpi/fosfori -suhde alle 29 suosii sinileviä (Stern 1989).

Harris (1986) toteaa, että monet eutrofisten vesien kesäaikaisista sinilevistä ovat typen sitoja. Ne hyötyvät, kun vedessä on runsaasti fosforia mutta vähän typpeä. Näin on varsinkin silloin, kun hypolimnionin hapettomuus suosii denitrifikaatiota. Harrisin (1986) mukaan typen kierto eutrofisissa vesissä on nopeaa. Solujen aggregaatio, kuten *Aphanizomenonin* kimppumuodostelmat, tarjoaa sopivan mikroympäristön typen sidonnalle.

Fayn (1983) mukaan rihmamaiset sinilevät kehittyvät yleensä nopeasti heti kerrostumisen alettua keväällä tai aikaisin kesällä. *Aphanizomenon* ilmaantui runsaana Onkiveden vasta loppukesällä. Syynä saattoi olla se, että Onkiveden väriarvot olivat erittäin korkeita. Tummassa vedessä valo tunkeutuu alempiin vesikerrokseen heikommin, joten pohjalla talvehtineet *Aphanizomenon*-rihmat ovat saaneet valostimulaation myöhäisemmässä vaiheessa.

Kevättömän valtalajina oli *Microcystis aeruginosa*. Se on kaasurakkulallinen ja luonteenomainen vahvasti eutrofioituneissa järvissä, missä vedenkukka on vuosittain toistuva ilmiö. Myös *Microcystis wesenbergii* on kaasurakkulallinen ja melko yleinen laji. *Planktolynghya subtilis* ei ole kaasurakkulallinen eikä heterokysteja muodostava, mutta on silti yleinen planktinen laji erityisesti eutrofisessa ympäristössä (Tikkanen 1986). Heterokystittömien rihmamaisten *Lynghya*-lajien on todettu sitovan tyypeä vähähappisissa oloissa (Fogg 1973).

Typen sidontaa esiintyy myös heterokystittömillä makeanveden sinilevillä, mutta monilla yleisillä lajeilla tällaista typensidonta-ominaisuutta ei ole varmasti pystytty todistamaan (Reynolds 1986). Kyseiset lajit pystyvät varastoimaan soluihinsa suuriakin määriä tyypeä ja fosforia, jos näitä ravinteita on aiemmin ollut runsaammin saatavilla (Fogg 1973). Kukintaa muodostavia lajeja voidaan ennustaa ravinnekuormituksen laadusta riippuen. Jos typpi- ja fosforikuormitus on runsasta, kukinnot muodostuvat pääasiassa *Microcystis*- tai *Oscillatoria*-lajeista. Jos taas fosforikuormitus on huomattavan suuri, tyypeä sitovat lajit esim. *Aphanizomenon* dominoivat kukintaa (Paerl 1988). Kevättömässä oli runsaasti sekä tyypeä että fosforia, jonka seurauksena tyypeä sitomattomat *Microcystis*-lajit sekä *Planktolynghya subtilis* saavuttivat valta-aseman.

*Microcystis*-lajien on todettu talvehtivan kasvullisina kolonioina pohjalla, jossa ne voivat säilyä useita vuosia ilman valoa ja happea (Reynolds 1986). Kevättömässä esiintyneet happikatoja talven aikana, joten *Microcystis* voi säilyä elinkykyisenä epäedullisten aikojen ohi, ja näin se saa kilpailuedun heikommin säilyviin nähden. Tosin on muistettava, että monilla leväryhmillä on kyky muodostaa ns. akineetteja eli lepomuotoja, jotka kestävät hyvin äärimmäisiä olosuhteita.

*Microcystis*-lajien vegetatiiviset koloniat nousevat epilimnioniin, kun kasvu on ensin saanut alkunsa pohjalla olevista talvehtivista kolonioista valon stimuloimana. Monissa kerrostuvissa järvissä *Microcystis* on varsin myöhäinen tulokas; sen kasvunopeus on yleensä alhainen ja populaatiomaksimi esiintyy useimmiten vasta kesän myöhemmällä puoliskolla (Reynolds 1986). Näin ei käynyt Kevättömässä, jossa *Microcystis*-lajit dominoivat jo alkukesästä lähtien. Tämä selittyy loppukevään tavallista lämpimämmällä säällä, Kevättömän tavallista runsaammalla *Microcystis*-kannalla ja järven mataluudella, jolloin valostimulaatio saavuttaa pohjan lepovaiheet nopeammin.

Kun pintakukintoja esiintyy, kasviplanktonsolut altistuvat voimakkaalle auringon säteilylle, joka aiheuttaa massakuolemia valoinhibition seurauksena. Näin tapahtuu varsinkin, kun hiili-dioksidista on puutetta (Abeliovich & Shilo 1972). *Microcystis*-lajien on todettu kestävän voimakasta säteilyä paremmin kuin useiden muiden leväryhmien (Eloff et al 1976), jolloin se pystyy varjostamaan alapuolisia vesikerroksia pysytellen itse edullisessa pintakerroksessa.

Eräs *Microcystis*-solujen sopeumakeino voimakasta valoa vastaan on lisätä karoteenien synteesiä, mikä myös lisää fotosynteesin tehokkuutta (Humphries & Lyne 1988).

### 5.3. Tilastollinen käsittely

Kevättömässä merkitsevin sinileväbiomassan vaihtelun selittäjä oli typpi, ja seuraavana fosfori. Kevättömässä oli molempia pääravinteita runsaasti, ja valtalajina sinilevistä oli tyypeä sitomaton *Microcystis aeruginosa*. Typen ja sinilevien välinen korrelaatio oli negatiivista. Tämä viittaa siihen, että *Microcystis* hyötyi typpipitoisuuden laskusta ja fosforin lisääntymisestä. Tämä sopii N/P- hypoteesin oletuksiin varsinkin tyypeä sitovilla lajeilla. *Microcystis*-lajit pystyvät kuitenkin varastoimaan ravinteita soluihinsa ja menestyvät ravinteikkaissa järvissä.

Typen ja fosforin keskinäisestä merkityksestä kasviplanktonrakenteen säätelijänä on useita ristiriitaisia tuloksia. Reynolds (1989) toteaa, että useimmissa järvissä kasviplanktonin tuotantoa ensisijaisesti säätelevä ravinne on fosfori. Kirkasvetisissä järvissä fosfaatti-fosforin lisäyksen seurauksena tyypeä sitovat sinilevät runsastuivat kukinnoiksi asti, koska fosforilisäyksen jälkeen tyypeä oli tullut rajoittava tekijä (Whitton & Carr 1982). Smith, Willén & Karlsson (1987) testasivat aineistoaan askeltavalla regressioanalyysillä, ja saivat tulokseksi, että fosfori oli tärkein sinileväkukintoja ennustava tekijä. Tosin he tulivat siihen tulokseen, että myös muilla tekijöillä, kuten kokonaistypellä ja hiilidioksidipitoisuudella on tärkeä merkitys sinileväkukintojen selittäjänä. Sternerin kokeet (1989) osoittivat, että typpi oli enemmän leväkasvua rajoittava kuin fosfori, sillä kasviplankton reagoi herkemmin typen lisääkseen, kun taas fosforiin reagointi oli satunnaisempaa. Fogg (1973) päätteli, että sinilevien osuus planktonista on maksimissaan suhteessa kuukautta aikaisemmin olleeseen ammoniumin määrään.

Onkivedessä pH selitti sinilevävaihtelua eniten, kun taas tyypellä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Onkiveden valtalajina oli tyypeä sitova *Aphanizomenon flos-aquae*, mikä selittänee sen, ettei typpi ollut tilastollisesti merkittävien selittäjien joukossa. *Aphanizomenon* dominoi loppukesällä järven pintakerroksissa, jossa se pysyi keijuntakykynsä ansiosta. Ilman ja veden rajapinta lisää hiilidioksidin saatavuutta (Paerl & Ustach 1982). *Aphanizomenon* pysytteli juuri pintakerroksessa, jolloin se ei kärsinyt hiilidioksidin eikä typen puutteesta. Pinnan olosuhteet olivat muihin vesikerroksiin verrattuna emäksisemmät. Useimmat sinilevälajit kasvavat parhaiten neutraalissa vedessä ja sopeutuvat paremmin emäksisiin kuin happamiin olosuhteisiin. Tämä johtuu niiden kyvystä käyttää hiilidioksidia hyvin alhaisissa pitoisuuksissa, sekä niiden kyvystä käyttää myös bikarbonaattia hiilen lähteenä. Syksyllä tuulen aiheuttama sekoittuminen tuhoaa fysikaalisesti sinilevien pintakukinnot, ja vähentää niiden hyödyllisyyttä, sillä hiilidioksidin määrä lisääntyy vesipatsaassa sekoittumisen seurauksena.

Veden lämpötilan nousu vaikutti Onkivedessä tilastollisesti merkitsevästi *Aphanizomenonin* runsauteen, mikä tukee osaltaan lämpötilahypoteesia. Viime aikoina on kuitenkin tultu siihen tulokseen, että lämpötila on luultavasti vähemmän tärkeä tekijä sinilevien kasvussa kuin on oletettu, vaikka sinilevät voivatkin ylläpitää suurta kasvunopeutta lämpötiloissa, joissa muilla levillä esiintyy jo lämpötilainhibitiota. Sinilevien lämpötila-alueen on todettu olevan hyvin



laajan (mm. Fogg 1973), ja merkittävää fotosynteesiä on todettu esiintyvän myös alemmissa viileissä vesikerroksissa (Fay 1983). Monet levät kasvavat nimenomaan syvällä, ja nousevat vasta myöhemmin pintaan. Shapiro (1990) totesikin, että lämpötilan vaikutus on toissijainen epäsuoriin tekijöihin, kuten sekoittumiseen ja ravinteisiin verrattuna.

Naarajärven sinileväbiomassan ja selittävien muuttujien väliset korrelaatiot jäivät pieniksi. Tämä oli oletettavaa, koska sinileväbiomassat pysyivät erittäin alhaisina koko kesän.

Tilastollista käsittelyä varten aineistossa olisi pitänyt olla huomattavasti enemmän havaintoja, sillä pienellä havaintomäärällä oli vaikea saada normaalisuuden ehtoja toteutumaan. Muunnosten käyttö heikentää tulosten luotettavuutta ja tulkintaa. Syvyyden vaikutusta ei aineiston käsittelyssä huomioitu. Multikollineaarisuutta esiintyi, joskaan selittävät muuttujat eivät korreloineet keskenään enemmän kuin mitä selitettävän muuttujan kanssa. Jatkossa olisi syytä lisätä mittauksia sekä päälly- että alusvedessä, ja sen jälkeen vakioida syvyyden vaikutus.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Sinileväkukintoja säätelevät useat eri mekanismit, jolloin kukinta ei koskaan ole pelkästään yhdestä tekijästä johtuva, vaan kyseessä on useiden ympäristötekijöiden yhteisvaikutus. Sinileväkukinnot ovat myös enemmän sidoksissa yleiseen rehevyys-asteeseen ja leväbiomassaan, kuin esimerkiksi pelkästään typen tai fosforin vaikutukseen.

Hiilidioksidi/pH- hypoteesi selittää useimpia kukintoja, koska se on yhteydessä muihin hypoteeseihin. Alhaisemmat typpi/fosfori- suhteet usein liittyvät lisääntyneeseen eutrofitumiseen. Kun tuotanto nousee ja hiilidioksidin määrä tällöin alenee, sinilevädominanssin ja alhaisen typpi/fosfori- suhteen välinen yhteys on ilmeinen (Shapiro 1990). Tehokas fotosynteesi puolestaan vähentää käytettävissä olevaa hiilidioksidimäärää, jonka seurauksena pH nousee. Sinilevät vaativat vähemmän hiilidioksidia käynnistämään fotosynteesin alhaisessa valossa kuin esimerkiksi viherlevät. Sinilevillä on myös kyky lisätä pigmentaatiota alhaisissa valon intensiteeteissä, josta on seurauksena tehokkaampi polysakkaridien muodostus valossa.

Kesäkuukausina veden lämpötila nousee, jolloin hiilidioksidin liukoisuus veteen alenee ja se on heikommin kasviplanktonin dissosioitavissa. Tämä suosii sinileviä, kun taas kevään ja syksyn alhaisemmat lämpötilat helpottavat viherleviä ja piileviä kilpailussa sinilevien kanssa, koska hiilidioksidia liukenee enemmän veteen. Hiilidioksidi/pH- hypoteesilla on myös yhteys keijuntahypoteesiin, koska keijunta stimuloituu alhaisen hiilidioksidin ja korkean pH:n seurauksena.

Näin ollen hiilidioksidi/pH- hypoteesi on merkittävä sinileväkukintojen selittäjänä, mutta se vaatii tuekseen myös muiden hypoteesien mukaisia oletuksia.

## KIRJALLISUUS

- Abeliovich, A. & Shilo M. 1972: Photooxidative death in blue-green algae. - J. Bact. 111: 682-689. (Ref. Carr & Whitton 1982).
- Carr, N. G. & Whitton, B. A. (toim.) 1982: The Biology of Cyanobacteria. - 688 s. Blackwell, Oxford.
- Colman, B. 1989: Photosynthetic carbon assimilation and the suppression of photorespiration in the Cyanobacteria. - Aquatic Botany. 33: 211-231.
- Fay, P. 1983: The Blue-Greens. - Studies in Biology 160. 88 s. London.
- Fogg, G. E., Stewart, W. D. P., Fay, P. & Walsby, A. E. 1973: The Blue-green Algae. - Acad. Press, London and New York. 459 s.
- Goldman, J. C. 1973: Letter to the editor. - Science 182: 306-307.
- Harris, G. P. 1986: Phytoplankton Ecology - Structure, Function and Fluctuation. - Chapman & Hall. London. 384 s.
- Humphries, S. E. & Lyne, D. V. 1988: Cyanophyte blooms: The role of cell buoyancy. - Limnol. Oceanogr. 33(1): 79-91.
- King, D. L. 1970: The role of carbon in eutrophication. - J. Water Pollution Contr. Fed. 42: 2035-2051.
- Klemer, A. R. 1991: Effects of nutritional status on cyanobacterial buoyancy, blooms, and dominance, with special reference to inorganic carbon. - Can. J. Bot. 69: 1133-1138.
- Lehtinen, E. & Muje, P. 1989: Kevättömän ja Pöljänjärven kalastus selvitys. - Kuopion yliopisto, soveltavan eläintieteen laitos, 19 s.
- Lehtinen, E. 1990: Kevättömän ja Pöljänjärven kunnostussuunnitelma. - Kuopion yliopisto, soveltavan eläintieteen laitos, 50 s.
- Muje, P. & Lehtinen, E. 1991: Kevättömän vuoden 1991 eläinplankton selvitys. - Kuopion yliopisto, soveltavan eläintieteen laitos, 5 s.
- Mölsä, H. & Ritola, O. 1989: Siilinjärven Kevättömän pohjaeläintutkimus kesällä 1989. - Kuopion yliopisto, 17 s.
- Olofsson, J. A. & Woodward, F. E. 1977: Effects of pH and inorganic carbon concentrations upon competition between *Anabaena flos-aquae* and *Selenastrum capricornutum*. - Completion Report A-034-ME. Land and Water Resources Research Institute, Oklahoma State Univ., Stillwater. (Ref Shapiro 1990).

- Paerl, H. W. & Ustach, J. F. 1982: Blue-green algal scums: An explanation for their occurrence during freshwater blooms. - *Limnol. Oceanogr.* 27(2): 212-217.
- Paerl, H. W. 1988: Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. - *Limnol. Oceanogr.* 33(4, osa 2): 823-847.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1992: *Biometria. Tilastotiedettä ekologeille.* 4. painos. - Yliopistopaino. Helsinki.
- Raven, J. A. 1984: *Energetics and Transport in Aquatic Plants.* - Alan R. Liss, New York, NY, 587 s. (Ref. Colman (1989)).
- Reynolds, C. S. 1986: *The Ecology of Freshwater Phytoplankton.* - Cambridge University Press. 384 s.
- Reynolds, C. S. 1989: Relationships among the biological properties, distribution, and regulation of production by planktonic Cyanobacteria. - *Int. Journal Vol. 4:* 229-255.
- Shapiro, J. 1973: Blue-green algae: Why they become dominant. *Science* 179: 382-384.
- Shapiro, J. 1984: Blue-green dominance in lakes: The role and management significance of pH and CO<sub>2</sub>. - *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 69(6): 765-780.
- Shapiro, J. 1990: Current beliefs regarding dominance by blue-greens: The case for the importance of CO<sub>2</sub> and pH. - *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 38-54.
- Smith, V. H., Willén, E. & Karlsson, B. 1987: Predicting the summer peak biomass of four species of blue-green algae (cyanophyta/cyanobacteria) in Swedish lakes. - *Water Resources Bulletin.* 23(3): 397-402.
- Steinberg, C. E. W. & Hartmann, H. M. 1988: Planktonic bloomforming Cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. - *Freshwater Biol.* 20: 279-287.
- Sterner, R. W. 1989: Resource competition during seasonal succession toward dominance by cyanobacteria. *Ecology* 70(1): 229-245.
- Talling, J. F. 1976: The depletion of carbon dioxide from lake water by phytoplankton. - *J. Ecol.* 64: 79-121.
- Tikkanen, T. 1986: *Kasviplanktonopas.* - Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. Forssa.
- Tikkanen, T. & Willén, T. 1992 : *Växtplanktonflora.* - Naturvårdsverket, Tuna-Tryck AB, Eskilstuna.
- Utermöhl, H. 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - *Mitteilungen der Int. Ver. Limnol.* 9: 1-38.
- Wetzel, R. G. 1975: *Limnology.* - Saunders College Publishing. 767 s. USA.



Julkaisija  
Suomen ympäristökeskus

Julkaisun päivämäärä  
Toukokuu 1996

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)  
Hanna Blomqvist

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)  
Sinilevätutkimuksia kolmessa Pohjois-Savon järvessä

Julkaisun laji	Toimeksiantaja	Toimielimen asettamispyvm
Opinnäytetutkimus	Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri	

Julkaisun osat

#### Tiivistelmä

Sinilevälajiston kehitystä ja sinileväkukintoja selittäviä tekijöitä tutkittiin kolmessa Pohjois-Savon järvessä. Rehevimmässä järvessä, Kevättömässä, sinilevien lajilukumäärä oli suurin. Kevättömän sinileväbiomassat olivat suuria jo alkukesästä, ja muihin järviin verrattuna myös alusvedessä biomassat olivat korkeita. Valtalajiston muodostivat *Microcystis*-lajit sekä *Planktolyngbya subtilis*, jotka ovat yleisiä rehevien järvien sinileväkukintojen muodostajia. Typen ja fosforin määrät selittivät tilastollisesti eniten sinileväbiomassan vaihtelua tässä järvessä, kun taas pH:n merkitys oli vain suuntaa antava.

Toisen rehevän järven, Onkiveden, sinilevälajiston muodosti lähes yksinomaan tyyppiä sitova *Aphanizomenon flos-aquae*, jota ei esiintynyt runsaana alkukesällä mutta loppukesää kohden sen valta-asema voimistui ja biomassa varsinkin päällysvedessä kasvoi. Onkiveden sinileväbiomassan vaihtelua selitti parhaiten pH, kun taas typen vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevää, mikä johtunee siitä, että *Aphanizomenon* kykenee itse sitomaan tyyppiä.

Onkiveden ja Kevättömän sinileväbiomassat olivat huomattavasti suurempia kuin Naarajärvessä, joka oli vertailujärvenä toiminut karumpi järvi. Naarajärven sinileväbiomassan vaihtelua kuvanneet selitysasteet jäivät alhaisemmiksi, koska sinileviä ei juuri esiintynyt.

Toukokuun lopun vähätuuliset ja -pilviset säät loivat hyvät edellytykset sinileväpopulaation muodostumiselle. Järvien pH-arvot nousivat päällysvedessä toukokuusta heinäkuun loppuun, ja myös pohjasta ylöspäin mentäessä. Tämä johtuu kasviplanktonin perustuotannosta, joka kuluttaa vedestä hiilidioksidia ja näin nostaa veden pH:ta. Sinilevät saivat näin kilpailuedun, koska ne suosivat emäksisempiä olosuhteita ja pystyvät hiilen lähteenään käyttämään bikarbonaattia.

#### Asiasanat (avainsanat)

Sinilevät, hiilidioksidi, pH, dominanssi, valta-asemaa selittävät hypoteesit

#### Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero	ISBN	ISSN
Suomen ympäristökeskuksen moniste 24		
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta
88	suomi	
Jakaja	Kustantaja	Luottamuksellisuus
Suomen ympäristökeskus, asiakaspalvelu	Suomen ympäristökeskus	julkinen
Puh. (90) 4030 0100	PL 140	
Telefax (90) 4030 190	00251 HELSINKI	

