

Tammelan Pyhäjärven, Kuivajärven ja Kaukjärven kunnostus ja virkistyskäytön lisääminen -hanke

## Sinilevien esiintyminen ja torjunta Pyhäjärvellä



Kuva:Suvi Mäkelä

Tiina Tulonen  
Helsingin yliopisto  
Lammin biologinen asema  
2007



HÄMEEN  
YMPÄRISTOKESKUS



Elinvoimaa  
EU-ohjelmista

## SISÄLTÖ:

1. Johdanto
2. Sinilevien esiintymiseen vaikuttavat tekijät
  - 2.1. Esiintyminen järvissä
  - 2.2. Ravinteet
  - 2.3. Fysikaaliset tekijät
  - 2.4. Eläinplanktonin saalistus
  - 2.5. Sinileväkukinnan muodostuminen
3. Pyhäjärven ominaisuuksia
  - 3.1. Vedenlaatu
  - 3.2. Kasviplankton
  - 3.3. Eläinplankton
  - 3.4. Kalakannat
  - 3.5. Rantakasvillisuus
4. Sinilevien esiintyminen Pyhäjärvellä
  - 4.1. Sinilevien esiintyminen aikaisempien selvitysten perusteella
  - 4.2. Sinilevien esiintyminen kesällä 2006
    - 4.2.1. Levien alueellinen esiintyminen: optinen mittaus
    - 4.2.2. Levähavainnot Tammelan uimarannoilla
  - 4.3. Ongelmat sinilevien esiintymisen arvioinnissa
5. Toimenpide-ehdotukset sinilevien torjunnassa
  - 5.1. Vedenpinnan nosto
  - 5.2. Ravinnekuormituksen vähentäminen
    - 5.2.1. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen
    - 5.2.2. Ravintoverkkokunnostus
    - 5.2.3. Pohjasedimentin ravinnekuormituksen vähentäminen
  - 5.3. Muut toimenpiteet
    - 5.3.1. Rantakasvillisuuteen kohdistuvat toimenpiteet
    - 5.3.2. Kalaistutukset
    - 5.3.3. Sinileväpuomit
6. Yhteenveto
7. Kirjallisuus

## 1. Johdanto

Tammelan Pyhäjärven Kuivajärven ja Kaukjärven kunnostus- ja virkistyskäytön lisääminen -hankkeen tarkoituksena on löytää keinoja alueen järvien kunnostamiseen ja vedenlaadun parantamiseen. Pyhäjärvellä on jo pitkään esiintynyt sinileväkukintoja vuosittain. Runsaat sinileväkasvustot haittaavat mm. veden käyttöä, uintia ja kalastusta. Rantaan ajautuvat sinilevälautat aiheuttavat esteettistä haittaa, mm. hajua ja rantojen limoittumista ja värjäntymistä. Osa sinilevistä erittää myrkyllisiä yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa iho-oireita ja elimistöön joutuessaan myös muita terveyshaittoja.

Hankkeen toimesta Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema on selvittänyt Pyhäjärven sinilevien runsastumiseen vaikuttavia tekijöitä. Vuonna 2006 sinilevien runsautta kartoitettiin kolmasti koko järven alueelta optisella mittauksella ja viikoittain uimarantojen sinilevätilannetta seuraamalla. Selvitykseen on kerätty myös aikaisemmat sinilevien esiintymiseen liittyvät tutkimus- ja havainnointitulokset järvestä. Lopuksi esitetään toimenpide-ehdotuksia, joilla sinilevien runsastumista voidaan ehkäistä ja vähentää niistä aiheutuvia haittoja Pyhäjärven virkistyskäytölle.

## 2. Sinilevien esiintymiseen vaikuttavat tekijät

### 2.1. Esiintyminen järvissä

Sinilevät elävät vapaasti vedessä kelluen ja ovat osa järven luonnollista kasviplanktonyhteisöä. Suomen vesissä elää noin 100 sinilevälajia. Sinilevät muistuttavat bakteereita solurakenteensa puolesta, mutta toiminnallisesti ne ovat levien kaltaisia ja tuottavat yhteyttäessään happea. Luonnontilaisissa järvissä sinilevien esiintyminen keskittyy yleensä loppukesään. Vain harvoin sinilevät muodostavat veden pinnalle silminnähtäviä leväkukintoja. Vesistöjen rehevöitymisen myötä sinilevät ovat runsastuneet monissa järvissä ja leväkukintoja voi muodostua pitkin kesää aina pitkälle syksyyn. Rehevissä järvissä sinilevien osuus levämassasta on keskimäärin 20%, mutta loppukesästä osuus saattaa nousta lähelle 50%:ia. Erittäin rehevissä, hyper-eutrofisissa järvissä sinilevää esiintyy koko kesän ajan ja sen osuus on keskimäärin 60 % levämassasta. *Aphanizomenon* spp. sinilevä on yksi runsaimmin esiintyvistä lajeista erittäin rehevissä järvissä (Lepistö 1999).

### 2.2. Ravinteet

Syynä sinilevien runsastumiseen pidetään usein ravinteiden, etenkin typen ja fosforin, määrän lisääntymistä järvissä. Mitä rehevämpi järvi sitä todennäköisempiä kesäiset sinileväkukinnat ovat. Sinilevillä on kyky varastoida veteen liuenneita fosfori- ja typpiyhdisteitä sekä muista leväryhmistä poiketen myös sitoa veden kaasumaista typpeä. Rehevissä järvissä keväällä ja alkukesällä esiintyvät leväryhmät, kuten piilevät, voivat sitoa itseensä lähes kaiken liukoisen typen. Veden liukoisten typpivarastojen ehtyessä sinilevät pystyvät kaasumaista typpeä (N<sub>2</sub>) hyödyntämällä edelleen kasvamaan muiden leväryhmien kärsiessä typen puutteesta. Sinilevien määrän on havaittu olevan usein

suurimmillaan silloin kun järven nitraattipitoisuudet ovat pieniä (Nyholm ym. 2003). Sinilevät tarvitsevat kuitenkin myös fosforia kasvaakseen, joten sinilevien runsastumisen edellytyksenä on, että fosforin saanti on turvattu. Usein kuitenkin myös pintaveden liukoinen fosfori on loppukesästä kulutettu loppuun. Syvissä järvissä ja mm. Itämeressä sinilevät pystyvät sitomaan fosforia syvemmillä ravinteikkaissa vesikerroksissa, jonka jälkeen ne nousevat valoisaan pintaveteen kaasurakkuloidensa avulla. Rehevien järvien pintavedessä liukoista fosforia vapautuu veteen jatkuvasti, sillä aktiivisen mikrobitoiminnan tuloksena ravinteet kiertävät nopeammin. Lisäksi kalojen pohja-aineksen pöyhintä ja ulosteet tuovat liukoista fosforia veteen. Fosforia kulkeutuu jatkuvasti myös valuma-alueelta järveen. Matalissa järvissä ja ranta-alueilla fosforia kulkeutuu veteen myös aallokon sekoittamista pohjakerroksista ja metaanin kuplimisen seurauksena.

Sinilevät pystyvät käyttämään muita leviä tehokkaammin veden vapaata hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), etenkin alhaisissa pitoisuuksissa. Rehevissä järvissä pintaveden happamuusaste voi usein nousta korkeaksi (pH 8-10), jolloin vapaan CO<sub>2</sub>:n pitoisuus vähenee voimakkaasti. Täten emäksissä oloissa hiilen saanti voi tulla rajoittavaksi tekijäksi levien kasvuille. Sinilevien kyky hyödyntää vähäisiä CO<sub>2</sub> pitoisuuksia auttaa sinileviä pääsemään parempaan asemaan muihin leväryhmiin verrattuna (Eloranta 2005).

### 2.3. Fysikaaliset tekijät

Sinilevien tiedetään kasvavan muita leväryhmiä paremmin olosuhteissa, joissa valon määrä veden sameuden tai levien oman varjostuksen takia on heikentynyt. Sinilevien kyky säädellä pystysuoraa liikkumista vedessä kaasurakkuloidensa avulla parantaa niiden menestymistä rehevissä, sameissa järvivesissä.

Lämpötila on merkittävä tekijä sinilevien esiintymisen kannalta, sillä useimmat sinilevät viihtyvät lämpöisessä vedessä. Useita eri tyyppisiä suomalaisia järviä koskevassa tutkimuksessa lämpötilan ja sinilevien esiintymisen välillä havaittiin selvä riippuvuus (Mäkelä ym. 2005). Lisäksi sinileviä esiintyi runsaammin vesistöissä, joissa alusveden ja pintaveden välinen lämpötilaero oli pieni. Tämän perusteella olosuhteet matalissa järvissä, joissa koko vesipatsas lämpiää tasaisesti kesän aikana, ovat suotuisia sinilevien kannalta. Ilmaston muutos johtaessaan yhä lämpimämpiin kesiin voi lisätä sinilevien määrää ja kukintoja entisestään matalissa järvissä.

Tuulen voimakkuus vaikuttaa sinilevien esiintymiseen. Tyynellä ilmalla kaasurakkulalliset sinilevät kerääntyvät aivan veden pintaan ja sopivan tuulen ansiosta muodostuneet sinilevämassat ajautuvat rannoille. Tuulen lisääntyessä sinilevät kuitenkin sekoittuvat uudelleen vesipatsaaseen. Jos sinilevää on runsaasti, ne voivat ajautua myös voimakkaalla tuulella ranta-alueille.

### 2.4. Eläinplanktonin saalistus

Leviä saalistavien eläinplanktereiden on todettu välttävän joidenkin sinilevälajien syöntiä. Monet sinilevät muodostavat monisoluisia ketjumaisia, nauhamaisia tai

pallomaisia yhdyskuntia, jotka voivat olla hankalia saalistajien kannalta. Eläinplankton pystyy käyttämään ravinnokseen yksittäisiä soluja tai pieniä soluryhmiä. Toisaalta on epäilty sinilevien myrkyllisyyden vähentävän eläinplanktonin halukkuutta saalistaa sinileviä. Sinilevien määrä saattaa kohota, vaikka muiden levien määrä vähenee laidunnuksen vaikutuksesta. Rehevissä järvissä kalojen runsaan saalistuksen ansiosta eläinplanktonin määrä voi olla vähäinen ja lajisto koostua enimmäkseen pienikokoisista lajeista. Tämä voi edesauttaa suurikokoisten sinileväyhdyskuntien runsastumisessa.

## 2.5. Sinileväkukinnan muodostuminen

Leväkukinnalla tarkoitetaan levien kerääntymistä suhteellisen lyhyessä ajassa aivan vedenpintaan silmännähtäviksi värillisiksi kasaumiksi. Sinilevät nousevat vedenpintaan kaasurakkuloidensa avulla. Etenkin tyynellä ilmalla kasvava sinilevämassa jää vedenpintaan, mutta tuulisella säällä levämassa sekoittuu takaisin syvempiin vesikerrokseen tai ajautuu rannoille. Usein sinilevien kasvu on jo kukintavaiheessa heikentynyt ja pintaan nousseet levät kuolevat ja hajoavat vähitellen. Sinileväkukinta muodostuu yleensä syvemmissä vesikerroksissa ja pintaan noustessaan levien määrä ei enää oleellisesti kasva.

### **Sinileväkukinnan tuntomerkkejä** (Lähde: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi))

- \* vihertävä kerrostuma veden pinnalla tai rannassa, joka muistuttaa lateksimaalia tai sakeaa hernekeittoa
- \* vähäisempi esiintymä näkyy vedessä vihertävinä hiukkasina ja rannalla vihertävinä juovamaisina raitoina
- \* heikko tuuli voi kasata levämassaa mm. järvien lahtiin, mutta voimakas tuuli sekoittaa levämassan veteen
- \* vanhemmat esiintymät muuttuvat vihertävän harmaiksi ja joskus myös kirkkaan turkoosin siniseksi
- \* noin puolet esiintymistä on myrkyllisiä
- \* yleisiä keski- ja loppukesästä sekä alkusyksystä
- \* maamainen, homeinen ja/tai tunkkainen haju
- \* lasipurkkiin otettussa vesinäytteessä sinilevä nousee veden pintaan vihreäksi kerrokseksi noin tunnin kuluessa
- \* levämassaa nostettaessa kepillä rannassa sinilevä ei jää roikkumaan kepin nokkaan

### 3. Pyhäjärven ominaisuudet

#### 3.1. Vedenlaatu

Tammelan Pyhäjärvi on suuri, lähes pyöreä järvi, jonka pinta-ala on 22.8 km<sup>2</sup> ja tilavuus 57 milj. m<sup>3</sup>. Järven suurin syvyys on 4.7 m ja keskisyvyys vain 2.5 m. Järven mataluus ja laajuus merkitsevät sitä, että tuulet pääsevät helposti sekoittamaan vesimassaa jäiden lähden jälkeen. Järveen ei muodostu suojaisemmille järville tyypillistä lämpötilakerrostuneisuutta eikä täten selvää päälly- ja alusvesikerrosta. Tuulet ja aallokko pystyvät sekoittamaan järven pohjaa myöden lähes koko järven alueella aiheuttaen samennusta. Pyhäjärven vesi on savisamennuksen lisäksi väriltään tummaa, mikä johtuu ruskeavetisestä Kuivajärvestä ja muualta suovaltaisilta valuma-alueilta kulkeutuvista humusaineista. Veden sameus ja humusaineet vaikuttavat siihen, että valo ei tunkeudu kovin syvälle vesipatsaaseen. Talvella, jolloin tuulet ja levät eivät aiheuta samennusta, näkösyvyys on noin 0.9-1.0 metriä. Kesällä näkösyvyyttä on vähemmän, noin 0.5-0.9 metriä. Mataluus ja veden tehokas sekoittuminen pitävät Pyhäjärven hapellisenä avoveden aikana. Talvikuukausina jään alla happipitoisuus voi olla kuitenkin melko alhainen, mutta vain harvoin selvää happikatoa on havaittavissa.

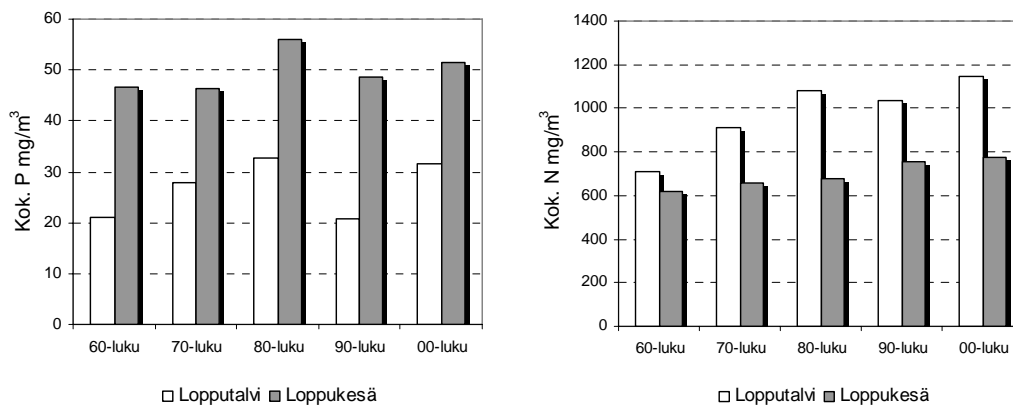
**Taulukko 1.** Pyhäjärven vedenkemiallisia v. 2000-2006 (vuosikeskiarvo).

Vuosi	pH	Alkaliniteetti mmol/l	Johtokyky mS/cm/25°C	Väri mg/l Pt	NH <sub>4</sub> -N mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg/m <sup>3</sup>	Kok. N mg/m <sup>3</sup>	Kok. P mg/m <sup>3</sup>	Klorofylli a mg/m <sup>3</sup>
2000	6.9	0.29	78	117	9	238	9	903	39	26
2001	7.0	0.26	63	169	30	255	8	940	45	33
2002	6.9	0.26	70	158	25	382	7	1081	40	33
2003	7.1	0.36	89	86	5	50	8	689	45	29
2004	7.0	0.41	81	117	7	242	12	930	40	36
2005	7.1	0.25	70	133	18	194	13	867	46	30
2006	7.1	0.33	85	140	21	110	9	863	56	34
<b>keskiarvo</b>	<b>7.0</b>	<b>0.31</b>	<b>76</b>	<b>131</b>	<b>16</b>	<b>210</b>	<b>9</b>	<b>896</b>	<b>44</b>	<b>32</b>
hajonta	0.1	0.06	9	28	10	108	2	117	6	3

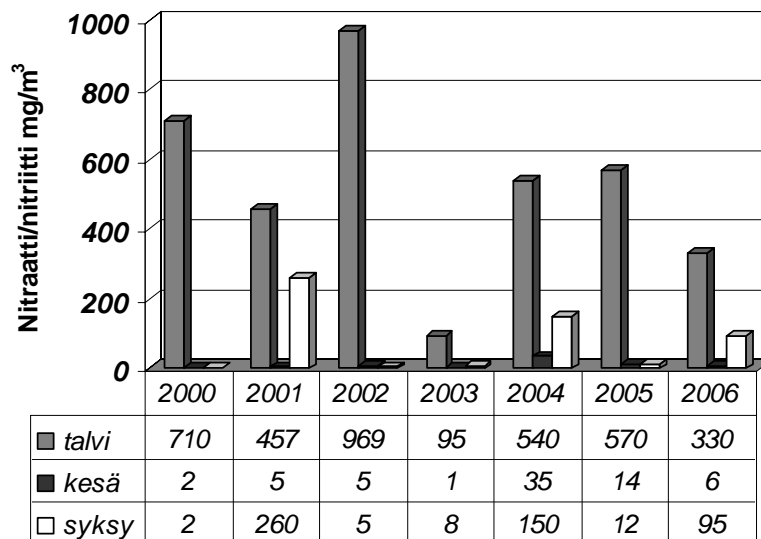
Pyhäjärvi luokitellaan ravinnepitoisuuksiensa perusteella reheväksi. Aikaisemmin järveä kuormittivat Tammelan taajaman asumajätevedet ja mm. meijerin jätevedet. Jätevesien vaikutukset ovat yhä havaittavissa purkupaikkoina olleissa lahdissa, missä pohjakerrostumista on löydettävissä muuta järveä korkeampia fosforipitoisuuksia (Haapasilta 1999). Kalliojärven kuivatus 1950-luvulla ja siitä aiheutunut kuormitus on edelleen havaittavissa Kuhasuonlahden pohjasedimenteissä. Verrattuna kerrostuneisiin järviin, joissa osa ravinteista vajoaa syvänteiden kerrostumis pohjille, Pyhäjärven pohja-aineksessa on tavallista vähemmän ravinteita. Selkeän syvänteen puuttuessa pohjan ravinteet sekoittuvat säännöllisesti yläpuoliseen veteen aallokon vaikutuksesta. Pohjan ravinteet ja toisaalta järveen valuma-alueelta tulevat ravinteet ylläpitävät melko korkeaa

levätuotantoa. Vaikka järvi on savisamea ja valoa on runsaasti vain järven pintakerroksessa, veden jatkuva sekoittuminen mahdollistaa levien kulkeutumisen säännöllisin väliajoin valoisaan pintakerrokseen, missä fotosynteesi ja levien kasvu on mahdollista.

Pyhäjärvestä on otettu näytteitä aina 1960-luvulta lähtien, useimpina vuosina sekä loppupalvella että loppukesällä. Pyhäjärven veden laadusta ei ole kuitenkaan tuloksia vuosilta 1995-1999. Vuodesta 2000 lähtien järvestä on otettu vesinäytteitä useita kertoja vuodessa. Tänä aikana Pyhäjärven veden laadussa ei ole tapahtunut selviä muutoksia (taulukko 1). Vuosina 2000-2006 pintaveden loppukesän kokonaisfosforipitoisuus on ollut keskimäärin  $51 \text{ mg/m}^3$  ja typpipitoisuus  $773 \text{ mg/m}^3$  (kuva 2). Myös pidemmällä aikavälillä muutokset fosforipitoisuuksissa ovat olleet melko vähäisiä, vaikka suuntaus näyttäisi olevan hieman nousujohteinen. 1980-luvulla fosforin määrä oli pintavedessä keskimäärin korkeampi kuin viimeisten kuuden vuoden aikana. Sedimenttitutkimuksissa pohja-aineksen fosforipitoisuuksissa on todettu selvä nousu 1970-luvulla (Haapasilta 1999). Typpipitoisuuksissa on nähtävissä selvempi nouseva suuntaus etenkin talvisissa pitoisuuksissa, mikä ilmentää ihmistoiminnasta johtuvaa typpikuormituksen lisääntymistä. Levien käyttämien liukoisten ravinteiden, fosfaattifosforin ja epäorgaanisen typen, määrät ovat etenkin kesän aikana erittäin pieniä (kuva 3). Fosfaattipitoisuudet ovat yleensä alle  $10 \text{ mg/m}^3$ .



**Kuva 2.** Pyhäjärven keskimääräiset kokonaisravinnepitoisuudet loppupalven ja loppukesän aikana eri vuosikymmeninä.



**Kuva 3.** Pyhäjärven pintaveden keskimääräinen nitraatti/nitriittipitoisuus talvella, kesällä ja syksyllä vv. 2000-2006.

### 3.2. Kasviplankton

Pyhäjärvelle on tyypillistä korkeat piileväkasvustot keväällä ja sinileväkasvustot kesällä (Mäkelä 2004). Järvessä on keväällä runsaasti piiyhdisteitä, mikä mahdollistaa rihmamaisten piilevien kasvun tilanteessa, jossa valumavedet tuovat typpi- ja fosforiravinteita järveen. Piilevät käyttävät vedestä lähes kaiken piin loppuun, jonka jälkeen kuolleet piilevät vajoavat pohjalle. Pii- ja muut leväryhmät käyttävät ja sitovat kesän aikana liukoisessa muodossa olevia fosfori- ja typpiyhdisteitä (fosfaattia ja nitraattia), jonka seurauksena loppukesällä Pyhäjärven veden fosfaatin ja nitraattitypen määrät ovat vähäisiä (kuva 3). Typen vähäiseen määrään loppukesällä voi olla syynä myös pohjasedimentissä hapellisen ja hapettoman rajapinnoilla elävien denitrifikaatiobakteerien toiminta. Denitrifikaatiossa nitraattityppi muuttuu kaasumaiseksi typeksi, joka kulkeutuu vedestä ilmakehään. Pyhäjärvässä sinilevät runsastuvat kesän mittaan, sillä niillä on kyky käyttää kaasumaista typeä. Ne runsastuvat muiden levien kärsiessä nitraattitypen puutteesta.

Vaikka sinilevät pysyvät lisäksi sitomaan ja varastoimaan muita leväryhmiä tehokkaammin fosforia, fosfori on kuitenkin niiden kasvua ensisijaisesti rajoittava tekijä. Koska loppukesällä järven pohjalta sekoittuu fosforia järviveteen sinilevät menestyvät ja ne esiintyvät runsaana. Loppukesän ja syksyn sateiden myötä valuma-alueelta kulkeutuu lisää fosforia, mikä saattaa pitää yllä sinilevien kasvua pitkälle syksyyn asti. Myös piilevät voivat lisäravinteiden ansioista runsastua uudelleen.



### 3.3. Eläinplankton

Pyhäjärven eläinplanktonin määrää ja lajistoa on selvitetty vv. 2001-2002 (Mäkelä 2004) Kahden vuoden välillä eläinplanktonin runsaudessa oli suuria eroja ja luotettavaa kuvaa Pyhäjärven eläinplanktonin runsaudesta ei voida saada harvan näytteenoton (neljästi vuoden aikana) vuoksi. Eläinplankton koostui molempina vuosina suurimmaksi osaksi pienikokoisista lajeista. Rataseläinten ja alkueläinten osuus eläinplanktonista oli korkea, mutta isompien hankajalkaisäyriäisten ja vesikirppujen osuus vähäinen. Tutkimus viittaa siihen, että sinileviin kohdistuva saalistuspaine on Pyhäjärvässä melko pieni. Alkueläimet ja rataseläimet eivät pysty saalistamaan tehokkaasti sinileviä. Rantavyöhykkeessä uposkasvillisuuden suojissa elää yleensä erityisen runsaasti eläinplanktonia. Pyhäjärvässä uposlehtivyöhykkeiden vähäisyys vaikuttaa todennäköisesti myös eläinplanktonin runsauteen ja sitä kautta levien alhaiseen saalistuspaineeseen.

### 3.4. Kalakannat

Pyhjäjärvi on erinomainen kalajärvi, jonka tuottavuus sen rehevyydestä johtuen on korkea. Muista rehevistä järivistä poiketen Pyhjäjärvässä on harvoin happiongelmiä, jotka haittaisivat kalastoa. Kalaston rakenne on saatu pidettyä hoitokalastuksen ja istutusten avulla petokalavaltaisena. Järveen on istutettu mm. kuhaa, haukea, siikaa ja täplärapuja. Järvellä tehtiin hoitokalastuksia vv. 1993-1998, jolloin saaliiksi saatiin yhteensä n. 40 000 kg vähemparvoista kalaa. Vuonna 2001 tehtyjen koekalastuksien perusteella särkikalojen osuus oli 48% ja petokalojen 52%. Kuhan osuus on merkittävä.

Vuonna 2005 tehtyjen koenuottausten perusteella särkikalojen osuus oli melko suuri; etenkin lahnoja oli runsaasti. Särkikalat kilpailevat ahventen ja kuhien nuorten ikäluokkien kanssa samasta ravinnosta. Alle vuoden ikäiset kuhat olivat kooltaan pienikokoisia, mikä viittaa ravintokilpailuun. Kalojen ravintokilpailu eläinplanktonista voi edelleen vähentää ravintona olevien eläinplanktereiden määrää järvessä.

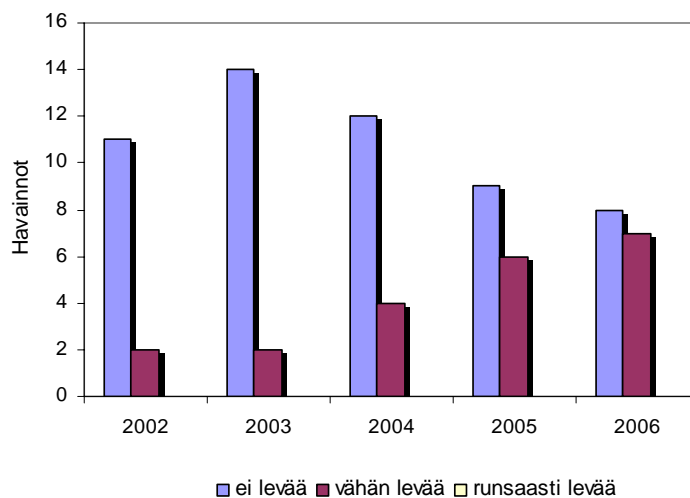
### 3.5. Rantakasvillisuus

Rantakasvillisuuden osuus järven pinta-alasta on pieni, vain noin 3.3 % (Mäkelä 2004), mikä johtuu veden huonosta valon läpäisevyydestä ja aallokon ja jään kuluttavasta vaikutuksesta avoimilla rannoilla. Suurin osa vesikasvustoista koostuu ilmaversoista vesikasveista ja etenkin tuontilaji isosorsimo, *Glyceria maxima*, on levinnyt laajoille alueille. Kelluslehtisten kasvustojen osuus on ainoastaan 14% vesikasvillisuudesta. Rantojen mataluudesta johtuen rantakasvillisuus on runsasta matalissa lahdelmissa ja paikoin rantojen umpeenkasvu ja saroittuminen haittaa rantojen käyttöä virkistykseen. Loimijoen yläjuoksun perkaukset 1950-luvulla laskivat järven vedenpintaa, mikä osaltaan on kiihdyttänyt matalien lahtien umpeenkasvua. Järvellä nykyisellään on laajoja alueita vesijättömaita.

## 4. Sinilevien esiintyminen Pyhäjärvellä

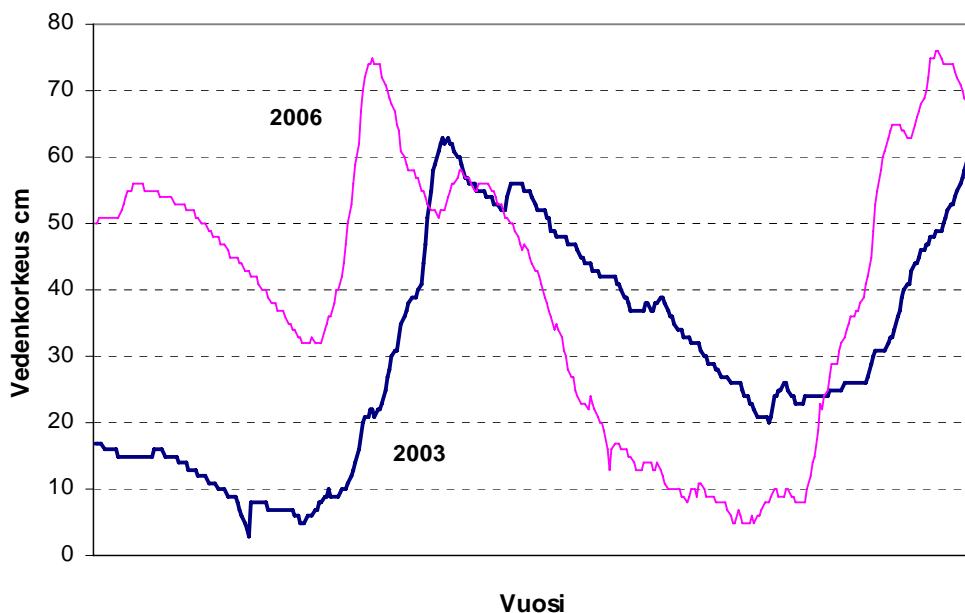
### 4.1. Sinilevien esiintyminen aikaisempien selvitysten perusteella

Hämeen ympäristökeskus on koonnut valtakunnalliseen levähavaintoseurantaan liittyen Hämeen järvistä levähavaintoja. Havainnolla tarkoitetaan silmännähtävää leväkasvustoa rantavedessä. Manttaalin rannasta on otettu vuodesta 2002 lähtien kesä-syyskuussa kerran viikossa näyte, josta arvioidaan levien runsaus asteikolla: ei levää, vähän levää, runsaasti levää, erittäin runsaasti levää. Kartoituksen perusteella levähavaintojen määrä on kasvanut Pyhäjärvellä (kuva 4.). Vuonna 2002 ja 2003 levää havaittiin vain kahdesti kun vuosina 2005 ja 2006 levähavaintoja oli jo yli viisi. Manttaalin rannassa ei ole kuitenkaan tehty yhtään havaintoa runsaista tai erittäin runsaista levämääristä.



**Kuva 4.** Levähavainnot Tammelan Pyhäjärvellä vv. 2002-2006. Havaintopaikka Manttaalin ranta (Lähde: Hämeen ympäristökeskus, [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi))

Vuonna 2003 Manttaalin rannassa havaittiin levää vain kahtena viikkona, elokuun lopussa ja syyskuun puolivälissä. Talvi 2003 oli hyvin kuiva ja vedenkorkeudet olivat alhaalla (kuva 5), mikä merkitsi vain vähäistä kuormitusta järveen. Myös edellinen syksy 2002 oli kuiva ja vähäkuormitteinen. Järven liukoisen ja kokonaistypen pitoisuudet olivat tavallista pienempiä keväällä 2003 (kuva 3). Vuonna 2006, jolloin sinilevähavaintoja Manttaalinrannassa tehtiin selvästi useammin, kevättulvat tulivat hieman aikaisemmin ja suurempina. Toisaalta vedenkorkeus oli selvästi alempi kesän aikana.



**Kuva 5.** Pyhäjärven vedenkorkeus vuosina 2003 ja 2006 mitattuna Saaren salmesta.

Helsingin yliopisto tutki Pyhäjärven kasviplanktonlajistoa vv. 2001-2002 neljä kertaa vuodessa (maalis-, touko-, elo- ja lokakuussa). Tuottavan kerroksen syvyydeksi mitattiin 2002 elokuussa n. 2.8 metriä. Tämä merkitsee, että suurin osa järven vesitilavuudesta on riittävän valoisaa levätuotannolle. Pyhäjärvelle näyttäisi olevan tyypillistä korkeat piileväsiintymät keväisin, mikä näkyy selkeästi myös liukoisen piin loppumisena vedestä piilevien sitoessa sen soluihinsa. Vuonna 2001 kevään levämassasta 98 % ja vuonna 2002 88 % muodostui piilevistä. Piilevät eivät kuitenkaan muodosta sinilevien tavoin veden pintaan kukintoja, mutta runsaana esiintyessään ne voivat aiheuttaa mm. kalaverkkojen limittumista. Sinilevien esiintyminen keskittyy yleensä loppukesään. Elokuussa 2001 sinilevien osuus levästä oli 54 %, mutta vuonna 2002 sinilevien osuus oli vain 7% (Mäkelä 2004). Lajistossa yleisemmin esiintyviä lajeja olivat *Aphanizomenon* spp. ja *Anabaena* spp. Vuosien välistä eroa on mahdotonta verrata muutaman näytteen perusteella.

Pyhäjärvessä on sinileviä esiintynyt säännöllisesti aikaisempinakin vuosina, sillä Hämeen ympäristökeskuksen ympäristötietojärjestelmässä on 1990-luvulta mainintoja runsaista sinileviäkukinnoista. Myös Forssan seudun terveydenhuollon kuntayhtymän tietojen mukaan sinileviä esiintyy vuosittain. Asukkaiden ilmoituksia sinilevähaitoista Pyhäjärveltä on viime vuosina tullut kahdesta kolmeen kesän aikana. Liitteeseen 1 on kerätty Pyhäjärveltä ilmoitetut ja tarkistetut levähavainnot.



**Kuva 6.** Leväkartoituksen mittauspisteet Pyhäjärvellä v. 2006.

## 4.2. Sinilevien esiintyminen kesällä 2006

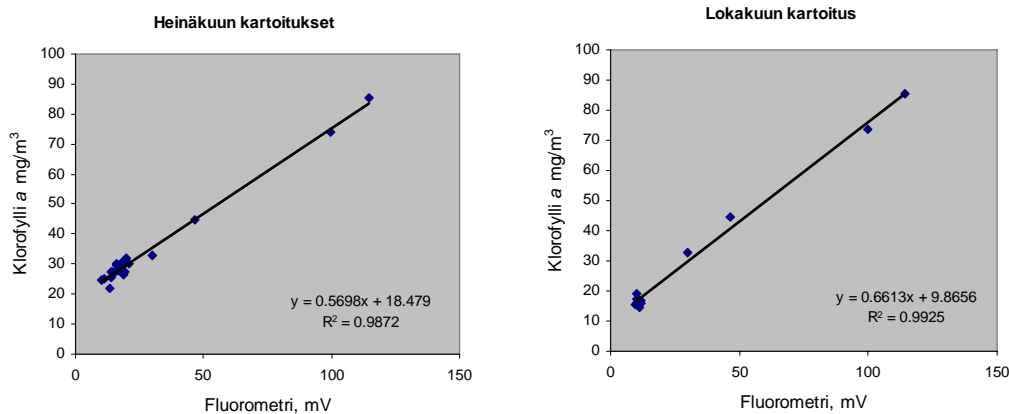
### 4.2.1. Levien alueellinen esiintyminen: optinen mittaus

Sinilevien esiintymistä ja runsautta koko Pyhäjärven alueella mitattiin optisesti kenttäkäyttöisen fluorometrin avulla. Mittaukset keskitettiin loppukesään, jolloin sinilevien osuus levämassasta oli oletuksen mukaan suurimmillaan. Tarkoituksena oli selvittää sinileväkasvustojen esiintymistä ja mahdollista ajautumista järvellä eri suunnasta puhaltavien tuulien aikana.

Mittaukset tehtiin heinä- ja lokakuussa yhteensä kolmena päivänä kartoittamalla sinilevien runsautta kunakin päivänä yhteensä 29 havaintopisteellä, jotka sijoituivat tasaisesti järvelle (kuva 6). Kultakin havaintopisteeltä mittaus tehtiin eri syvyyksiltä noin 1 metrin välein pinnasta pohjaan. Optisten mittausten lisäksi kymmeneltä näytteenottopisteeltä otettiin vesinäytteet levien klorofyllipitoisuuksien määrittystä varten.

Klorofyllipitoisuudet laskettiin regressioyhtälöiden perusteella, jotka perustuivat fluorometrilukemiin ja klorofyllipitoisuuksiin havaintopisteillä sekä laboratoriossa mitattuihin kalibrointituloksiin (kuva 7). Regressioyhtälöt laskettiin erikseen heinäkuun ja lokakuun kartoituksille. Kalibroinnissa Pyhäjärven veteen lisättiin laboratoriossa kasvatettua leväkasvustoa eri pitoisuuksina, jonka jälkeen veden fluorometrilukema ja klorofyllipitoisuus määritettiin. Klorofylli *a* määritettiin pakastetuista GF/C (Whatman) lasikuitusuotimille suodatetuista näytteistä käyttäen etanoliuuttoa. Mittaukset tehtiin

spektrofotometrillä aallonpituuksilla 656, 665 ja 750 nm. Syvänehavaintopisteeltä otettiin lisäksi näytteet kasviplanktonlajiston määrittystä varten. Mikroskopoinnin perusteella havaittiin, että sinilevien osuus koko kasviplanktonista oli keskimäärin 40%. Fluorometrillä havaitut klorofyllipitoisuudet mittasivat siten kokonaislevämäärää, eivät vain sinilevien määrää.

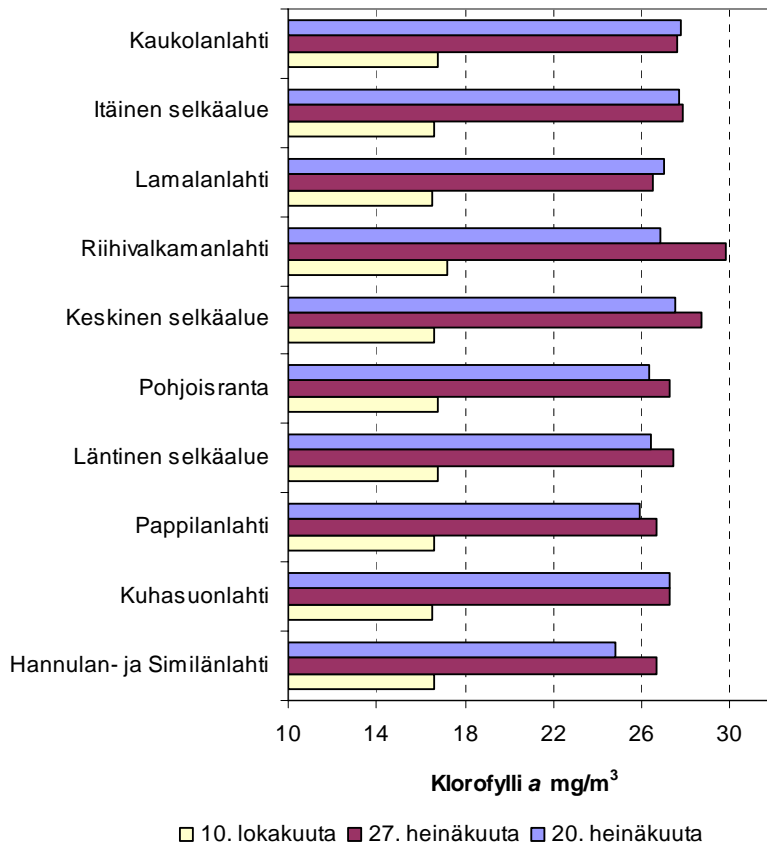


**Kuva 7.** Klorofyllipitoisuuksien ja fluorometrilukemien välinen riippuvuus heinäkuun ja lokakuun kartoituksissa.

Heinäkuussa toteutettiin kaksi kartoitusta, jonka jälkeen päätettiin tehdä seuraavat mittaukset ajankohtana, jolloin kuivan kesän jälkeen tulevat sateet lisäävät ulkoista kuormitusta. Kuivuus kuitenkin jatkui aina lokakuulle asti. Viimeinen sinileväkartoitus tehtiin lokakuussa, jolloin rannoilla oli havaittu toistuvasti ja melko runsaana sinileviä.

Ensimmäisellä mittauskerralla (20.7.2006) tuuli oli puhaltanut usean päivän ajan luoteesta ja viikkoa myöhemmin tehdyllä toisella mittauskerralla (27.7.2006) luoteen ja pohjoisen välistä. Lokakuussa (10.10.2006) tuuli oli kääntynyt parin edellisen päivän aikana etelästä luoteen ja pohjoisen väliseksi tuuleksi.

Heinäkuussa levien määrässä havaittiin vaihtelua järven eri osissa. Keskimääräinen pintaveden klorofyllipitoisuus vaihteli eri alueilla 24.8-29.8 mg/m<sup>3</sup> välillä (kuva 8). Levien runsaus oli riippuvainen tuulen suunnasta. Luoteis- ja pohjoistuulen vallitessa suurimmat levämassat havaittiin järven kaakkois- ja eteläosissa. Pienimmillään levien klorofyllipitoisuudet olivat järven pohjoisosissa. Määrissä havaitut erot eivät kuitenkaan olleet erityisen suuria. Fluorometrimittausten perusteella klorofyllipitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeampia syvemmillä kuin pintavedessä (taulukko 2). Silmämääräisesti selvää sinileväkukintaa ei havaittu, mutta levähiutaleita esiintyi pintavedessä melko tasaisesti.



**Kuva 8.** Levien keskimääräinen klorofyllipitoisuus pintavedessä (0-1 m) Pyhäjärven eri alueilla mitattuna optisella kenttämittarilla.

Lokakuussa klorofyllimäärät olivat alhaisempia kuin heinäkuussa, levät olivat tasaisemmin jakaantuneet koko järven alueelle ja selvää eroa eri syvyyksillä ei ollut. Kuitenkin silmämääräisesti leväkukinnat olivat paikoin lokakuussa selvempiä kuin kesällä veden pinnassa ajalehtevien vihreiden hiutaleiden vuoksi. Fluorometrillä ei voitu mitata luotettavasti klorofyllipitoisuutta aivan vedenpinnasta. Kukinnan aikana levämassa sijoittuu yleensä kuitenkin aivan veden pintaan alle 0.5 cm:n paksuiseksi kerrokseksi. Kartoituksen havaintopisteet eivät myöskään sijoittuneet aivan rantaan, joten ranta-alueiden sinilevämääriä ei kartoituksen avulla voitu arvioida (kuva 6).

Pohjois- ja luoteistuulten vallitessa on todennäköistä, että sinilevät ajautuvat järven eteläisille rannoille. Ranta-asukkaiden ilmoittamien havaintojen perusteella vuoden 2006 kesällä sinilevien ajautumisesta rannoille kärsittiin etenkin Riihivalkamanlahdella ja Kuhasuonlahdella. Luoteistuulten vallitessa sinileviä voi toisaalta ajautua eniten Venesillan, Lamalan ja Vekkilän uimarannoille. Manttaalin rannasta säännöllisesti kerran viikossa tehtyjen sinilevähavaintojen mukaan sinileviä ei esiintynyt kesän aikana kertaakaan runsaana (kuva 4).

**Taulukko 2.** Pyhäjärven koko alueelta fluorometrillä mitattu keskimääräinen klorofylli *a* -pitoisuus (mg/m<sup>3</sup>) eri syvyyksillä kolmena havaintopäivänä sekä tuulen suunta ja voimakkuus.

Päivämäärä	20.7.2006	27.7.2006	10.10.2006
Syvyys:			
0-1 m	26.3	27.5	16.7
2m	28.4	29.4	16.8
3 m	29.8	29.8	17.0
Tuulensuunta	luode	pohjoinen	pohjoinen
Tuuli m/s	2	4	2

Mikroskooppisen tarkastelun perusteella kasviplanktonista oli sinilevää heinäkuun havaintokerroilla 36-37% ja lokakuussa 47%. Toinen suuri leväryhmä oli piilevät, joiden osuus oli heinäkuussa suurempi kuin sinilevien, mutta lokakuussa hieman pienempi. Sinilevälajeista yleisin oli suoraa, risumaisia rihmakimppuja muodostava *Aphanizomenon flos-aquae*, jota esiintyy yleisenä erittäin rehevissä järvissä. *Anabaena* sp. lajit olivat toiseksi yleisempiä, etenkin *Anabaena spiroides*. Myös *Worinichinia* sp. ja *Microcystis* sp. leviä esiintyi kaikilla havaintokerroilla. Piilevästö koostui suurimmaksi osaksi rihmamaisista *Aulacoseira* sp. ja *Cyclotella* sp. lajeista. Rehevän järven indikaattorilajina tunnettu piilevä *Fragillaria berolinensis* esiintyi myös yleisenä.

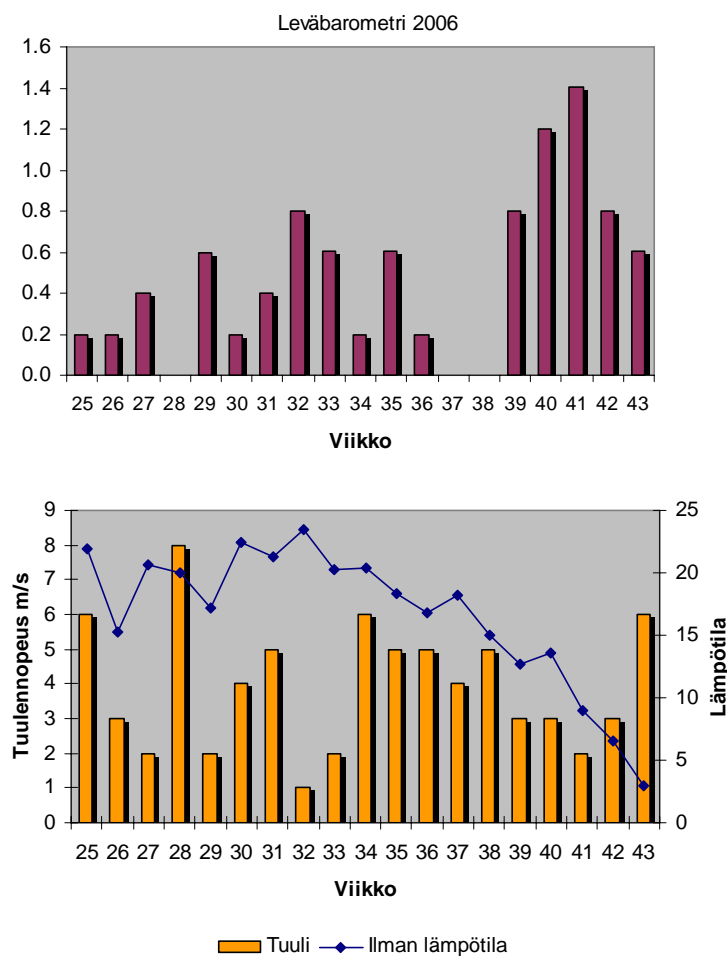
Syksyn sateiden alkaminen lokakuun alussa toi runsaasti ravinteita valuma-alueelta, mikä on saattanut ylläpitää sinilevien kasvua myöhään syksyyn. Päivän lyhentyessä muut leväryhmät kärsivät valon puutteesta. Sinilevät pystyvät kuitenkin pysymään kaasurakkuloidensa avulla aivan vedenpinnassa, jossa valoa on riittävästi.

**Taulukko 3.** Leväryhmien suhteellinen osuus (%) kasviplanktonista Pyhäjärven pintavedessä v. 2006.

Leväryhmä	20.7.2006	27.7.2006	10.10.2007
Sinilevät	36	37	47
Nielulevät	1	4	11
Piilevät	56	44	34
Silmälevät	1	3	1
Viherlevät	2	3	1
Muut	4	9	6

#### 4.2.2. Levähavainnot Tammelan uimarannoilla

Kesän ja syksyn aikana sinilevähavainnot tehtiin Tammelan taajamassa ja sen lähetyvillä viikoittain viidellä rantakohteella: Venesilta, Lamala, Vekkilä, Manttaali ja Ruisluoto. Rantojen sinilevien runsautta arvioitiin samalla asteikolla kuin ympäristökeskuksen levähavainnoinnissa. Havaintojen perusteella laskettiin ns. leväbarometri, joka kuvaa havaintojen suhteellista määrää viikoittain painotettuna levän runsaudella (kuva 9). Leväbarometrissä on mukana myös ympäristökeskuksen tekemät havainnot Manttaalinrannassa ja Forssan seudun terveydenhuollon kuntayhtymän tietoon tulleet muut havainnot. Kesäkuusta lokakuuhun kestäneen havaintojakson aikana ainoastaan kolmena viikkona levää ei havaittu lainkaan rannoilta. Näinä viikkoina tuuli tavallista voimakkaammin (4-8 m/s). Eniten levää havaittiin elokuussa ja lokakuussa. Lokakuun alussa vedenpinta oli poikkeuksellisen alhaalla. Syyskuun lopussa, viikolla 39, sateet alkoivat pitkän kuivan jakson jälkeen. Sinilevää ajautui runsaasti tai erittäin runsaasti uimarannoille (kuva 10).



**Kuva 9.** Sinilevien esiintyminen Tammelan uimarannoilla v. 2006 (yläkuva). Tuulennopeus ja ilman lämpötila klo 12.00 havaintopäivinä mitattuna Jokioisten säähavaintopisteellä (alakuva, Lähde: Ilmatieteen laitos).





**Kuva 10.** Sinilevää ajautuneena rantakivikkoon Pyhäjärvellä lokakuussa 2006 (kuva Suvi Mäkelä)

#### 4.4. Ongelmat sinilevien esiintymisen arvioinnissa

Pyhäjärveltä käytettävissä olevien sinilevähavaintojen hajanaisuuden vuoksi on vaikea luotettavasti arvioida, ovatko sinilevät runsastuneet viime vuosina. Samasta syystä ei voida selkeästi osoittaa, mitkä tekijät Pyhäjärvässä vaikuttavat sinilevien runsaisiin esiintymiin joiakin vuosina. Kuten sinilevien alueellinen kartoitus osoittaa, Manttaalin rannassa sijaitseva sinilevien viikkohavaintopiste ei välttämättä kerro järvellä todellisuudessa vallitsevasta sinilevätilanteesta. Esimerkiksi vuoden 2006 heinäkuun viimeisellä viikolla (30) Manttaalin rannassa havaittiin vain vähän levää. Alueellisen kartoituksen mukaan sinilevää oli kuitenkin runsaasti koko järven alueella, erityisesti järven lounaisosassa.

Myöskään rantaan ajautuneet sinilevät eivät anna oikeaa kuvaa sinilevien runsaudesta. Haittavaikutukset olivat ajoittain selviä heinäkuussa sinilevien ajautuessa rannoille, mutta avovedessä olevasta levämassasta noin puolet koostui piilevistä ja sinilevien osuus oli vain noin 38%. Rannalle ajautuvista levämassoista otettiin elo- syys- ja lokakuussa muutamia näytteitä, jotka osoittivat, että rannoille ajautunut levämassa koostui suurimmaksi osaksi *Aphanizomenon* sp. ja *Anabaena* sp. sinilevälajeista. Lokakuussa, jolloin sinilevähaitat rannoilla olivat suurimmillaan, leväpitoisuudet avovedessä olivat pienimmillään. Tällöin sinilevät muodostivat lähes puolet koko levämassasta.

Selvitys osoittaa, että avovedessä olevien sinilevien määrän perusteella ei välttämättä voida arvioida sinilevähaittojen suuruutta rannoilla. Oleellinen tekijä haittojen syntymisen kannalta on sinileväkukinnan muodostuminen, jolloin sinilevämassa nousee pintaveteen. Tämän jälkeen tuulen suunta ja voimakkuus vaikuttavat sinilevien ajautumiseen rannoille. Kovalla tuulella sinilevät sekoittuvat tasaisesti koko vesipatsaaseen, mutta kohtalaisella tuulella sinilevät kasaantuvat tuulen puoleisille

rannoille. Sinilevien kulkeutumista voidaan jossain määrin etukäteen arvioida tuulen suunnan perusteella. Pyhäjärven kaikki uimarannat olisi syytä tarkistaa parhaan uintikauden aikana säännöllisesti, jotta voitaisiin tehdä päätöksiä mahdollisista varoituksista ja uintikielloista.

Pyhäjärven sinilevätilanteen kehittymisen selvittämiseksi on tärkeää saada vuosittain sinilevähavainnot järveltä. Parhaimman kuvan sinilevien esiintymisestä saadaan havainnoimalla levien määrää useammalla uimarannalla, jotka sijaitsevat eri puolilla järveä. Sinilevät voivat aiheuttaa jo vähäisessä määrin esiintyessään iho-oireita vedenkäyttäjille. Vuoden 2006 tarkastelun perusteella sinilevien esiintyminen rajoitti Pyhäjärven virkistyskäyttömahdollisuuksia lähes koko kesän.

Silminnähdn sinileviä oli pintavedessä runsaimmin syksyllä, jolloin ympäristökeskuksen levähavainnointi on jo lopetettu. Siksi havainnointia tulisikin jatkaa aina lokakuulle asti.

Tietojen puutteellisuuden vuoksi on vaikea arvioida ovatko sinilevät runsastuneet viime vuosina. Ilmoitukset sinilevähaitoista ovat lisääntyneet, mutta on myös mahdollista, että sinilevistä tiedottaminen on lisännyt ihmisten kiinnostusta asiaa kohtaan, jolloin haitoista myös ilmoitetaan aikaisempaa herkemmin.

## 5. Toimenpide-ehdotukset sinilevien torjunnassa

Pyhäjärven veden laadussa ei viime vuosikymmeninä ole tapahtunut merkittäviä muutoksia, joten sinilevien mahdollista runsastumista ei voida selittää veden laadussa tapahtuneilla muutoksilla. Ilmaston lämpenemisen vaikutukset ovat todennäköisesti jo nähtävissä Etelä-Suomen järvissä, sillä useina vuosina pintavedet ovat olleet kesäisin keskimääräistä lämpöisempiä (hydrologiset havainnot, [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)). Pyhäjärven kaltaisessa järvessä, jossa koko vesipatsas lämpenee nopeasti, kehitys todennäköisesti suosii sinileviä. Jatkuva ulkoinen ja sisäinen kuormitus ovat tekijöitä, jotka mahdollistavat sinilevien runsastumisen.

On mahdollista, että sinileviä esiintyy aikaisempaa pidemmällä aikavälillä kesäkuukausina ja runsaana myös syksyllä. Rannoilla esiintyvien sinilevähaittojen torjumiseksi sinilevien määrää tulisi voimakkaasti pyrkiä vähentämään avovesialueella. Sinilevien torjuntaan ja haittojen vähentämiseen ei ole olemassa nopeaa ja yksiselitteistä keinoa. Onnistuneissakin järvien kunnostuksissa sinilevähaitat saattavat palata takaisin useidenkin levättömien vuosien jälkeen. On olemassa monia toimenpiteitä, joilla voidaan parantaa järven ekologista tilaa ja siten vähentää rehevöitymistä ja sinileväkukintoja. Jokaisella järvellä on omat erityispiirteensä, joita voidaan käyttää apuna sinilevien runsastumisen ehkäisyssä. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi niitä mahdollisuuksia, joilla Pyhäjärven sinilevien määrää voidaan vähentää.

### 5.1. Vedenpinnan nosto

Pyhäjärven vedenpintaa laskettiin 1950-luvulla Loimijoen yläosan perkauksella. Perusteina olivat tulvasuojelu ja maatalouden peruskuivatus. Ennen perkausta vv. 1912-

1949 vedenpinta oli noin 20 cm korkeammalla kuin perkauksen jälkeen vv. 1966-1983. Valtion vesistötoimikunnan vuonna 1949 tehdyn päätöksen mukaan Pyhäjärveä säännösteltiin ns. Wäreen juoksutusohjeen perusteella, jossa minimivirtaamaksi määriteltiin  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Myöhemmin juoksutuksia korjattiin nostamalla Loimijoen Kuhalankoskessa patoluukkujen yläreunaa, jolla pyrittiin poistamaan säännöstelyn aiheuttamia ongelmia. Loimijoen yläjuoksun perkausyhtiö haki 1990-luvulla uudelleen lupaa Loimijoen alkuosan perkaukseen tavoitteena turvata maankuivatusedellytykset entisen veroisina, turvata virkistyskäytön kannalta sopiva vedenkorkeus parhaimpana kesäaikana ja saada tasainen ja riittävä juoksutus Loimijoen kautta ympäri vuoden. Länsi-Suomen vesioikeuden päätöksellä Loimijoen perkaus toteutettiin 1990-luvun alussa ja samassa yhteydessä patoluukkuja vielä korotettiin tasoon N60+96,60 m. Viimeisimmän Loimijoen perkauksen jälkeen juoksutussäännön mukaiset Pyhäjärven vedenkorkeustavoitteet eivät ole toteutuneet keväisin tarkastelujaksolla 2001-2006 (taulukko 4), mikä on pitänyt vedenkorkeudet loppukevästä ja alkukesästä pitkänaikavälin keskiarvoa alemmalla tasolla. Vuonna 2006 tämä tuli erityisen selvänä näkyviin kevättulvien jäädessä lyhytaikaisiksi (kuva 5). Alkukesän alhainen vedenkorkeus laajentaa alueita, missä tuulen ja aallokon sekoittava vaikutus nostaa ravinteita järven pohjasedimentistä. Pyhäjärven kaltaisessa tuulille alttiissa järvessä lisäksi kesäaikainen haihdunta pienentää vesitilavuutta etenkin, jos virtaamat ovat kuivuuden vuoksi pieniä. Vaikka ulkoinen kuormitus olisi tavallista vähäisempää, pohjalta kulkeutuvat ravinteet ylläpitävät leväkasvua läpi kesän. Voimakas levätuotanto vähentää myös nitraattityypen pitoisuutta vedessä, jonka seurauksena olosuhteet muuttuvat sinileville edullisiksi.

**Taulukko 4.** Pyhäjärven vedenkorkeus Saarensalmessa toukokuun 20. päivä vv. 2001-2006. Juoksutusohjeen tavoitekorkeus 20.5. on 96.95 m

Vuosi	Vedenkorkeus 20.5	Tavoitetasoa alempana
	m	cm
2001	96.73	22
2002	96.73	22
2003	96.67	28
2004	96.68	27
2005	96.72	23
2006	96.63	32

Alkukesään kohdistuva vedenpinnan korotus, joka nostaisi aallokon vaikutuksen rajasyvyyttä, parantaisi veden laatua vähentämällä järven sisäistä kuormitusta. Lisäksi vedenpinnan nosto mahdollistaisi myöhemmin kesällä suuremmat juoksutusmäärät ja ravinteiden huuhtoutumisen järvestä Loimijokeen. Keskimääräisellä juoksutuksella ( $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) veden teoreettinen viipymä Pyhäjärvestä on 110 vuorokautta, mutta juoksutustasolla  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  järven vesitilavuuden vaihtumiseen kuluu aikaa 330 vrk. Kun järven vedenpinta laskee 20 cm, järven tilavuus vähenee 8%:ia eli  $4.6 \text{ milj. m}^3$ . Etelä-Suomessa vesistöhaihdunta on keskimäärin 80 mm touko-syyskuun aikana. Pyhäjärvestä tämän mukaisesti haihtuu vettä kesän aikana noin  $11.5 \text{ milj. m}^3$ , joka on 20% veden keskitilavuudesta. Järveen tulevan virtaaman tulee olla kesällä tarpeeksi suuri, jotta

järven vedenpinta ei laske haihdunnan vuoksi. Vuoden 2006 loppukesästä juoksutukset olivat kuivuuden vuoksi alimmalla mahdollisella tasolla, mikä näkyi järven tavallista korkeampina ravinnepitoisuuksina sekä lisääntyneinä sinilevähaittoina heinäkuulta lokakuulle asti.

Pyhäjärven mataluuden ja suuren pinta-alan vuoksi vesipatsas kerrostuu lämpötilan mukaan erittäin harvoin. Veden lämpötila on syvimmilläänkin alueilla lähes tasalämpöistä pinnasta pohjaan. Suurempi vesimassa ja syvyys hidastaisivat veden lämpenemistä kesäkuukausina, mikä vähentää sinileville suotuisten lämpimien olosuhteiden muodostumista.

Suomessa on toteutettu useita järvien vedenpinnan nostohankkeita, joilla on pyritty mm. estämään järven umpeenkasvua, parantamaan virkistyskäyttömahdollisuuksia sekä kalataloudellisia ja maisemallisia arvoja (Lakso 2005). Hankkeita, joissa olisi seurattu kattavasti vedenpinnan noston vaikutuksia vedenlaatuun tai sinilevien määrään ei ole tiettävästi tehty. Virossa sijaitsevan matalan ja rehevän Vörtsjärven vedenpinnan vaihtelulla on havaittu olevan selvä vaikutus sinilevien esiintymiseen (Nöges ym 2003).

Käytännössä kaikki vedenpinnan nostohankkeet vaativat vesilain mukaisen luvan, jolloin prosessi voi kokonaisuudessaan kestää 5-10 vuotta. Edellytykset säännöstelykäytännön tarkistamiseen, joka ei muuta voimassa olevia keskimääräisiä vedenkorkeuksia ja aiheuta haittoja ranta-alueille, tulisi Pyhäjärven tilanteessa selvittää. Ilmaston lämpenemisen seurauksena keväinen lumipeite on jäänyt viime vuosina aikaisempaa ohuemmaksi, kevättulvat pienemmiksi ja lyhytaikaisemmiksi. Tämän vuoksi loppukevään juoksutuksia tulisi harkinta tarkoin, jotta liian suuri juoksutus ei laske alkukesän vedenpinnan korkeutta liikaa. Lupaehtojen tarkistamisen sijaan vedenkorkeuksille ja virtaamille tulisi asettaa virkistyskäytön ja vesiluonnon tilan huomioonottavia vedenkorkeussuosituksia (Keto 2005).

## 5.2. Ravinnekuormituksen vähentäminen

Pyhäjärven ravinnekuormituksista valmistuu hankkeen puitteissa erillinen selvitys, jonka perusteella voidaan tarkemmin arvioida valuma-aluekuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutusta järven ravinnetalouteen. Pyhäjärven ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat sekä ulkoinen että järven sisäinen kuormitus. Lisäksi veden typpipitoisuuksiin vaikuttaa pohjasedimentissä mikrobien toimesta tapahtuva denitrifikaatioprosessi, jossa typpeä poistuu typpikaasuna järvivedestä ilmakehään.

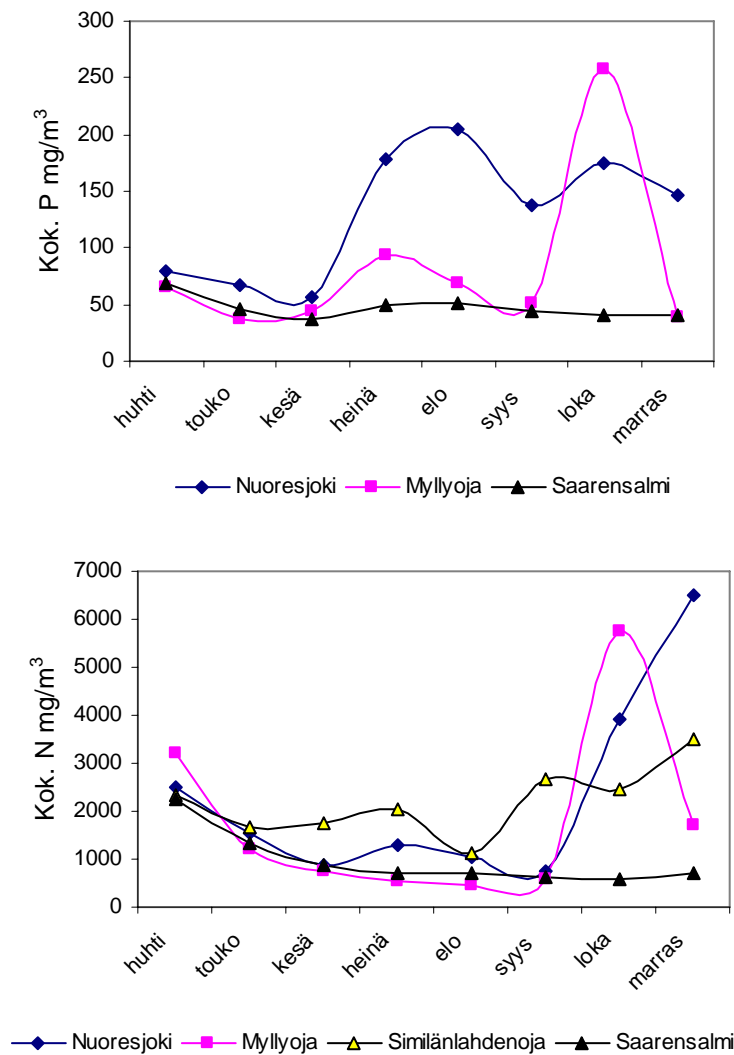
Ulkoinen kuormitus koostuu luonnon huuhtoumasta, maa- ja metsätaloudesta peräisin olevasta kuormituksesta ja haja-asutuksen aiheuttamasta kuormituksesta. Lisäksi järven pintaan kohdistuva ilmaperäinen laskeuma ja Tammelan taajaman ns. hulevedet ja pintavalunta ja sen mukanaan tuomat ravinteet kuormittavat osaltaan järveä.

Pyhäjärven kaltaisessa matalassa järvessä tapahtuu väistämättä myös sisäistä kuormitusta. Sisäisen kuormituksen vähentämismahdollisuuksia ovat veden pinnan nosto, kalastorakenteen korjaaminen ja vähäarvoisen kalaston vähentäminen. Pyhäjärvessä

vesikasvillisuuden poistolla ei ravinnemäärien vähentämisen kannalta ole käytännön merkitystä, sillä kasvillisuusvyöhykkeiden osuus koko järven kokonaispinta-alasta on vain 3.3%.

### 5.2.1. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Pyhäjärvi saa suurimman osan vedestä Kuivajärvestä Saarensalmen kautta ja järvi laskee länsipäässä olevaan Loimijokeen. Vuonna 2006 järveen tulevia ja lähteviä ravinnepitoisuuksia mitattiin huhtikuun ja marraskuun välisenä aikana (kuva 11). Jokivesien ravinnepitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin Kuivajärvestä Saarensalmen kautta Pyhäjärveen laskevassa vedessä. Tutkituista joista virtaamaltaan pienimmässä, Similänlahdenojassa, mitattiin heinä-elokuussa yli kymmenkertaisia kokonaisfosforipitoisuuksia (3000-9000 mg P/m<sup>3</sup>) muihin jokivesiin verattuna.



**Kuva 11.** Pyhäjärven laskevien jokivesien ja Saarensalmen keskimääräiset kuukausittaiset ravinnepitoisuudet huhti-marraskuussa v. 2006.

Pyhäjärven ulkoista kuormitusta voidaan arvioida laskemalla järvelle ns. sallittu ja vaarallinen fosforikuorma, mikä kertoo järven kyvystä vastaanottaa ja sietää kuormitusta. Kuormituksen jäädessä alle sallitun kuorman muutokset järven tilassa ovat epätodennäköisiä. Kuorman ylittäessä sallitun kuorman järven tilan muutokset ovat mahdollisia. Ylittäessä vaarallisen kuorman muutokset veden laadussa ovat usein suuria ja vaikeasti palautettavissa entiselle tasolle.

Volleweider (1976) mukaan järveen kohdistuvat fosforikuormat voidaan laskea yhtälöistä:

$$\text{Sallittu kuorma} \quad P = 0.055x^{0.635}$$

$$\text{Vaarallinen kuorma} \quad P = 0.174x^{0.469}$$

jossa  $x$  = järveen tuleva vesimäärä järven pinta-alayksikköä kohti ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{v}$ )

Pyhäjärven kuormitusluvut tilanteessa, jossa järveen tuleva vesimäärä arvioidaan keskimääräisen juoksutuksen ( $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) perusteella. Vuorokausivirtaamaksi saadaan  $518400 \text{ m}^3$ , jolloin Pyhäjärvellä

$$\text{sallittu kuorma:} \quad 0.211 \text{ g P/m}^2/\text{v}$$

$$\text{vaarallinen kuorma:} \quad 0.469 \text{ g P/m}^2/\text{v}$$

Saarensalmessa, jonka kautta virtaa suurin osa Pyhäjärveen tulevasta vedestä, keskimääräinen fosforipitoisuus v. 2006 oli  $47 \text{ mg/m}^3$ . Jos pelkästään tuon pitoisuuden perusteella lasketaan Pyhäjärveen tuleva kuormitus, se olisi  $0.390 \text{ g/m}^2/\text{v}$ , joka on selvästi yli sallitun kuorman ja melko lähellä vaarallista kuormitusta. Kun otetaan huomioon, että muissa joissa fosforipitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin Saarensalmessa, on hyvin todennäköistä että Pyhäjärven fosforikuormitus lähentelee vaarallista tasoa. Vuonna 2006 Pyhäjärveen laskevien ojien keskimääräinen fosforipitoisuus oli  $88 \text{ mg/m}^3$  (mukana ei ole Similänojan poikkeuksellisen korkeita pitoisuuksia). Tämä osoittaa hyvin selkeästi sen, että Pyhäjärven fosforikuormitusta tulee voimakkaasti vähentää.

Toimenpiteet, joilla onnistutaan vähentämään ulkoista kuormitusta, ovat järven kannalta merkittäviä, koska sisäisen kuormituksen vähentäminen on usein hidasta. Sisäiseen kuormitukseen kohdistuvat toimenpiteet eivät aina selkeästi ja pysyvästi aiheuta muutoksia veden laadussa (Ruuhijärvi & Olin 2002). Viime vuosina tieto ja menetelmävalikoima ulkoisen kuormituksen vähentämiseksi ovat sen sijaan selvästi kasvaneet (Kirkkala & Ventelä 2002, Simola & Jutila 2006). Pyhäjärveen tulevasta kuormituksesta fosfori on avainasemassa, sillä se on lähes kaikkien leväryhmien kasvua ensisijaisesti rajoittava tekijä. Järviin kohdistuvasta ulkoisesta kuormituksesta suurin osa tulee syksyllä ja keväällä. Näinä ajankohtina kuormituksen vähentäminen on usein kuitenkin kaikkein vaikeinta.

Kokonaisfosforista vain sen liukoinen osuus on leville suoraan käyttökelpoisessa muodossa, joten erityisen tärkeää olisi pystyä vaikuttamaan liukoisessa muodossa olevan fosforin vähentämiseen valumavesissä. Kuitenkin Pyhäjärven kaltaisessa matalassa järvässä, jossa koko vesimassa on suhteellisen lämmin kesällä, mikrobit pystyvät hajottamaan tehokkaasti partikkelimuodossa olevaa fosforia levien käyttöön. Siksi kokonaisfosforikuormituksen vähentäminen tulee olla ensisijaisena tavoitteena.

Havainnot vuodelta 2003 osoittavat, että talven ja kevään vähäinen ravinnekuormitus saattaa olla yhteydessä sinilevien tavallista vähäisempään esiintymiseen seuraavan kesän aikana. Koska Pyhäjärven sisäinen kuormitus pitää fosforipitoisuudet jatkuvasti melko korkeina, tyyppiyhdisteiden ulkoisen kuormituksen väheneminen saattaa vähentää levien kasvua alkukesästä. Typpi on yleensä toissijainen levien kasvua rajoittava ravinne. Keväällä Pyhäjärvässä esiintyvät levät ovat enimmäkseen piileviä ja sinilevät runsastuvat veden lämmitessä keskikesällä. Sinilevien runsastumiseen kesällä vaikuttavat toisaalta veden lämpötila ja toisaalta se, että sinilevät saavat kilpailuedun muihin leviin nähden epäorgaanisen typen ollessa käytetty lähes loppuun jo alkukesän aikana. Fosforikuormituksen saaminen mahdollisimman pieneksi nimenomaan kesäkuukausina vähentää vastaavasti sinilevien määrää. Ongelmana Pyhäjärvässä on kuitenkin sisäinen kuormitus, joka tuo fosforia jatkuvasti veteen.

### **Asumajätevesikuormitus**

Haja-asutuksen kuormituksen vähentämisessä viemäriverkoston ulkopuolella olevien kiinteistöjen ja kesämökkien jätevesien käsittelyyn tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Viemärointiin kuulumattoman kiinteistön kuormituksen on arvioitu olevan keskimäärin 0.2 kg P/v ja 1.2 kg N/v (Kaipainen ym. 2002). Lahden Vesijärven kunnostusprojektissa (Vesijärvi II 2002-2006) haluttiin vaikuttaa asutuksen hajakuormitukseen. Projektissa kartoitettiin kiinteistökohtaisesti jätevesihuoltoa ja pyrittiin vaikuttamaan kiinteistöjen jätevesihuollon korjaamiseen lainsäädännön edellyttämälle tasolle.

Pyhäjärven lähivaluma-alueella sijaitsee yli 800 kiinteistöä, joiden jätevesien kuormittava vaikutus kohdistuu suoraan järveen. Kesäasuntojen ja vakituisten asuntojen jätevesipäästöt tulee saada vähenemään mahdollisimman pieniksi. Kesäasukkaille tulee jakaa tietoa jokaisen mahdollisuudesta vaikuttaa omaan järveen kohdistuvan ravinnekuormituksen vähentämiseen. Erityistä huomiota tulee kohdistaa kesäasuntojen nurmikenttien ja viheralueiden rakentamiseen ja lannoittamiseen, jotta niistä ei aiheudu lisäkuormitusta järvelle.

### **Maa- ja metsätalouden kuormitus**

Maa- ja metsätalousoikeuden kuormituksen vähentämiseen on löydettävissä monia vaihtoehtoja, joiden laajamittainen toteuttaminen ei ole ollut käytännössä kovinkaan yleistä. Kuormitus olisi tarkoituksenmukaisinta pidättää mahdollisimman lähellä kuormituksen syntyäpaikkaa. Tärkeimpiä keinoja maatalouden osalta ovat mm. peltoviljelyn tuotantomenetelmien kehittäminen, peltojen suojavyöhykkeet, sääätösalajoitus, ojaluiskien loiventaminen ja vahvistaminen (Mattila 2005). Valuma-alueen vesien puhdistukseen voidaan käyttää mm. laskeutusaltaita ja kosteikkoja, jotka vaikuttavat etenkin kesäkuukausina parhaiten ravinnekuormituksia vähentävästi

(Koskiahho & Puustinen 1998). Pintavalutuskenttiä on käytetty enimmäkseen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyyn. Erilaisia suodatusmenetelmiä on myös käytetty lähinnä kokeilumielessä ravinteiden poistamiseen. Ravinteiden vähentäminen kemiallisen saostuksen avulla on varteenotettava menetelmä kuormituslähteen läheisyydessä ja sopinee esimerkiksi karjatilojen ja turvetuotantoalueiden vedenpuhdistusmenetelmäksi.

Pyhäjärven valuma-alueella kuormituksen vähentäminen on erityisen tärkeää. Mahdollisuuksia valumavesien ravinnekuormituksen vähentämiseksi tulee tarkastella valuma-aluekohtaisesti, jotta löydettäisiin mahdollisimman tehokkaita ja nopeasti vaikuttavia vesiensuojelumenetelmiä järven ravinnetason pienentämiseksi. Kuten Similänlahdenojan korkeat fosforipitoisuudet osoittivat, valuma-alueelta on löydettävissä myös huomattavia pistekuormittajia, joiden kuormitus on pystyttävä korjaamaan.

### **Taajama-alueiden kuormitus**

Tammelan taajama-alue kattaa melko suuren osan Pyhäjärven pohjoisosan valuma-alueesta. Taajaman hulevedet kulkeutuvat osittain sadevesiviemäriin ja osittain pintavaluntana järveen. Hulevesien käsittelyä tulisi tarkastella yhtenä mahdollisuutena vähentää Pyhäjärveen kohdistuvaa kuormitusta. Hulevedet, joista on muutamilla paikkakunnilla mitattu suuriakin ravinnepitoisuuksia, saattavat olla merkittäviä alapuolisten vesistöjen kuormittajia. Esimerkiksi Hämeenlinnan kaupungin hulevesien ravinnekuormitusta Katumajärveen on pyritty vähentämään ohjaamalla hulevedet kosteikko-alueen läpi (Jutila & Kesäniemi 2006).

### **5.2.2. Ravintoverkkokunnostus**

Aikaisempien selvitysten mukaan Pyhäjärven kalastorakenne on melko hyvä. Petokaloja on noin puolet kalastosta ja särkikalajien määrä on kohtuullinen ja kokorakenne monipuolinen. Lisääntymistulos saattaa kuitenkin vaihdella vuosittain ja särkikalajien osuus voi rehevässä järvestä kasvaa muutamassa vuodessa. Pyhjäjärvellä mahdollisimman hyvän kalastorakenteen ylläpitäminen voimistamalla petokalojen osuutta istutuksin voi vaikuttaa edullisesti myös vedenlaatuun. Kuitenkin järven tilan selvä parantaminen vaatii voimakkaampia toimenpiteitä.

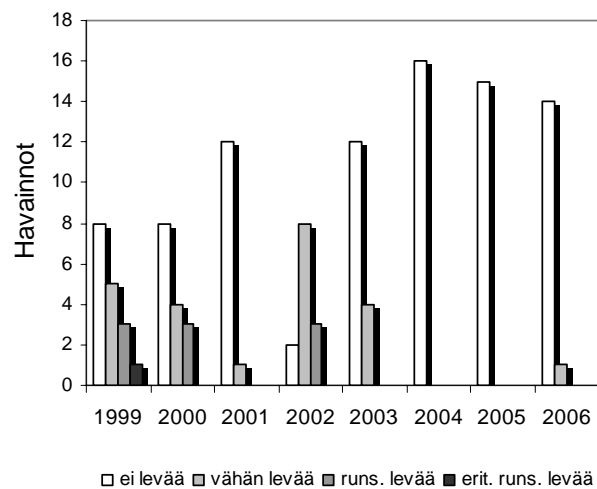
Särkikalavaltaisen kalaston vähentämisellä, joka tapahtuu usein ensin tehopyynnin avulla ja jatkuu sen jälkeen hoitokalastuksella, on havaittu olevan järven sisäistä kuormitusta vähentävä vaikutus. Rungas särkikalakanta lisää sisäistä kuormitusta pöyhimällä pohja-ainesta, mikä vapauttaa pohjan ravinteita veteen. Särkikalajien vähentämisellä voidaan vaikuttaa myös ravintoverkkoston rakenteeseen siten, että eläinplanktoniin kohdistuvan saalistuspaineen heikentyessä eläinplankterit runsastuvat ja pystyvät syömään tehokkaammin leviää ravinnokeeseen. Tehokalastus, jossa vähennetään voimakkaasti vähempiarvoisen kalan määrää järvestä, poistaa lisäksi järvestä ravinteita. Tutkimusten mukaan ravintoverkkokunnostuksissa vuosittaisen saaliin tulisi ylittää 50-100 kg/ha, jotta haluttuihin tavoitteisiin päästäisiin (Sammalkorpi & Horppila 2005, Sammalkorpi, Tammelan kalastusalueen hoito- ja käyttösuunnitelma). Pyhäjärven osalta se tarkoittaa, että järvestä tulee pyytää vähempiarvoista kalaa n. 114 000- 228 000 kg vuodessa. Hyvään tulokseen päästään kuitenkin vain jos fosforin ulkoinen kuormitus ei ole liian



suuri. Matalissa järvissä ulkoinen kuormitus ei saisi ylittää tasoa  $0.5\text{--}2.0\text{ g P/m}^2/\text{v}$  (Jeppesen ym. 1990). Pyhäjärven kuormitus, noin  $0.39\text{ g P/m}^2/\text{v}$ , alittaa juuri tuon tason, joten tehokalastuksella olisi tämän perusteella mahdollista parantaa järven tilaa.

Suomessa tehdyissä ravintoverkkokunnostuksissa on saatu vaihtelevia tuloksia. Hoitokalastuksilla on saatu vähennettyä sinilevien määrää noin puolessa tutkituista järvistä (Ruuhijärvi & Olin 2002). Usein sinilevien esiintyminen on siirtynyt kesältä alkusyksyyn, mikä on virkistyskäytön kannalta positiivinen tulos.

Matalassa ja rehevässä Kalvolan Äimäjärvestä tehopyyntiä toteutettiin vuosina 2002–2003, saaliiden ollessa keskimäärin  $25\text{ kg/ha}$ . Talvella 2003 järvestä esiintynyt happikato aiheutti kalojen massakuoleman (Olin 2005). Kalakannan voimakkaan vähenemisen seurauksena Äimäjärven vesi kirkastui ja sinilevähavaintojen määrä on huomattavasti vähentynyt (kuva 12). Veden kirkastuminen on toisaalta lisännyt uposvesikasvillisuuden runsastumista matalilla ranta-alueilla.



**Kuva 12.** Levähavainnot Kalvolan Äimäjärvellä vv. 1999–2006. Lähde: Hämeen ympäristökeskus: [www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi).

Säkylän Pyhäjärvi muistuttaa Tammelan Pyhäjärveä, sillä se on matalahko ja sen valuma-alueella on harjumuodostumien lisäksi runsaasti peltomaita (Kirkkala & Ventelä 2002). Säkylän Pyhäjärvellä on toteutettu vähempiarvoisen kalan poistopyyntiä jo useiden vuosien ajan. Vuosina 2002–2006 saaliit olivat n.  $20\text{--}50\text{ kg/ha/v}$ . Myös ulkoista kuormitusta on voimakkaasti vähennetty. Säkylän Pyhäjärvi ei ole kuitenkaan rehevyytasoltaan Tammelan Pyhäjärven kaltainen, sillä sen klorofyllipitoisuus on yleensä alle  $10\text{ mg/m}^3$  ja kokonaisfosfori alle  $20\text{ mg/m}^3$ . Järven tehokas hoitokalastus ei ole vähentänyt järven sinilevämäärää ja siellä on esiintynyt useina vuosina koko järven kattavia sinileväkukintoja.

Lahden Vesijärvi on esimerkki ravintoverkkokunnostuksesta, missä tehokalastuksilla on ollut oma osuutensa 1980-luvulla runsaana esiintyneiden sinilevien vähenemiseen 2000-luvulle tultaessa. Vesijärvi toimi aina 1970-luvulle asti kunnan jätevesien purkupaikkana ja rehevöityi pahoin. Vuosina 1989-1993 järvestä troolattiin yli 1000 tn kalaa ja petokalakantoja vahvistettiin istutuksin. Samaan aikaan sinilevät vähenivät ja vesi kirkastui. Järveä hoitokalastetaan jatkuvasti ja viime vuosien saaliit ovat olleet noin 150 000- 200 000 kg vuodessa, mikä merkitsee noin 15-20 kg/ha saaliita. Järven kokonaisfosforipitoisuudet ovat 1980-luvun keskimääräisestä 70 mg/m<sup>3</sup> tasosta laskeneet keskimäärin 20 mg/m<sup>3</sup> tasolle. Myös klorofyllipitoisuudet ovat vähentyneet kolmasosaan ja ovat nykyisin noin 10 mg/m<sup>3</sup> tasolla. ([www.vesku.net](http://www.vesku.net))

Tuusulanjärvessä, joka on ollut myös asumajätevesien kuormittama järvi, veden laatua ja sinilevähaittoja on saatu vähennettyä pitkällisen kunnostuksen tuloksena (Pekkarinen 2002). Vuosina 1997-1999 järvestä pyydettiin yhteensä 248 tn kalaa (415 kg/ha). Tämä näkyi selvästi klorofyllipitoisuuksien ja kokonaisfosforin laskuna seuraavina vuosina.

Pienehköissä järvissä vaikutukset voivat olla nopeammin havaittavissa. Siilinjärvellä sijaitsevassa Pöljänjärvessä hapetuksella ja tehopyynnillä päästiin nopeasti hyviin tuloksiin ja leväkukinnat vähenivät selvästi ([www.siilinjarvi.fi](http://www.siilinjarvi.fi)).

Pyhäjärven laajuus tekee järven kunnostuksesta haasteellisen. Syys- ja kevätnuottaukset voisivat parhaiten vähentää särkivaltaista kalastoa, mutta myös tietyille alueille kohdistuva rysäpyynti voisi lisätä hoitokalastuksen tehoa. Pyhäjärvellä osakaskunnat tulisi saada yhdessä toimimaan kunnostustyössä. Tärkeää olisi huolehtia hoitokalastuksen rahallisista ja toiminnallisista edellytyksistä, jotta kalastusta voitaisiin toteuttaa tavoitteellisesti useita peräkkäisiä vuosia. Pitkäjänteisellä hoitotyöllä parannetaan huomattavasti ravintoverkkokunnostuksen onnistumismahdollisuuksia.

### **5.2.3 Pohjasedimentin ravinnekuormituksen vähentäminen**

Pohjasedimentin kuormituksen vähentäminen liittyy läheisesti edellä esitettyihin kunnostustoimenpiteisiin, järven vedenpinnan nostoon ja särkikalojen vähentämiseen. Järven pohja-alueiden säännöllisestä sekoittumisesta tuulten ansiosta ja selkeän syvänteen puuttumisesta huolimatta järvessä tapahtuu jatkuvasti aineksen sedimentoitumista, mikä näkyy selvinä kerrostumisvyöhykkeinä sedimenttiprofiilissa (Haapasilta 1999). Aineksen sedimentoituminen on suurimmillaan todennäköisesti talvella jääpeitteen aikana. Rehevälle järvelle tyypilliseen tapaan sedimentoituvan aineksen määrä on suhteellisen suuri, n. 7.0 mm/v (Haapasilta 1999). Orgaanisen aineksen määrä sedimentissä on suhteellisen alhainen, mikä viittaa osaltaan sedimentin pinnassa olevien mikrobien pystyvän hajottamaan orgaanista ainesta tehokkaasti. Sedimentin pintakerrosten pysyminen hapellisena vähentää huomattavasti järven sisäistä kuormitusta. Pyhäjärven happitilanne onkin viime vuosina pääosin pysynyt hyvänä, joten tarvetta järven hapettamiseen ei ole ollut.

## 5.3 Muut toimenpiteet

### 5.3.1 Rantakasvillisuuteen kohdistuvat toimenpiteet

Rehevissä järvissä vesikasvillisuusvyöhykkeiden osuus järven pinta-alasta voi olla suuri. Matalissa järvissä vesikasvillisuuden lajistorakenteella voi olla merkitystä järven vedenlaadun kannalta (Sammalkorpi & Horppila 2005). Uposvesikasvillisuuden peittäessä suuren osan järven pohjaa, levien aiheuttama samennus on usein vähäistä. Toisaalta ulkoisen kuormituksen lisääntyessä veden samentuminen voi aiheuttaa uposvesikasvien voimakkaan vähenemisen. Pyhäjärvessä vesikasvillisuusvyöhykkeen osuus on vain 3.3% järven pinta-alasta. Uposvesikasvillisuusvyöhykkeen osuus on tästä vain murto-osa, mikä johtuu kuluttavasta aallokon vaikutuksesta sekä veden sameudesta. Vaikka rantakasvillisuuden määrällä ei Pyhäjärvessä ole välitöntä vaikutusta veden laatuun, voidaan rantakasvillisuuden monipuolistamisella saada suotuisia vaikutuksia järven ekologiseen tilaan. Umpeenkasvavien lahdelmien vesikasvillisuus koostuu lähes yksinomaan tiheistä ilmaversoisista kasvustoista. Kasvustoa voidaan muuttaa niitoin ja ruoppauksin mosaiikkimaiseksi, jolloin kasvustossa on avovesialueita ilmaversoisten alueiden keskellä. Muutos voi parantaa mm. eläinplanktereiden ja kalanpoikasten elinolosuhteita.

### 5.3.2 Kalojen istutus

Petokalakantojen vahvistaminen kalaistutuksilla on osa ravintoverkkokunnostusta. Oikein kohdistettuina yhdessä muiden kunnostustoimien kanssa istutuksilla voidaan vähentää särkikalojen määrää. Yksi vaihtoehto kalaistukkaiden joukossa on ankerias, joka saalistaa tehokkaasti särkikaloja rantavyöhykkeellä. Kuhan ja ankeriaan saalistusalueet eroavat toisistaan, joten lajit eivät kilpaile keskenään. Ankerias on varsin haluttu ja arvostettu saaliskala, jonka istukkaat kasvavat pyyntikokoisiksi 5-8 vuodessa. Useissa rehevissä kunnostusjärvissä, kuten Vesijärvessä ja Tuusulanjärvessä, ankeriasta on istutettu tavoitteena kalastorakenteen muuttaminen edullisempaan suuntaan. Myös Virossa rehevää ja matalaa Vörtsjärveä on pitkään hoidettu ankeriasistutuksin. Järven nykyinen ankeriassaaliin arvo on huomattava (Pihu & Mäemets 2004).

### 5.3.3 Sinileväpuomit

Sinilevälauttojen ajautuminen uimarannoille haittaa rantojen käyttöä uimiseen ja virkistykseen. Mm. Säskylän Pyhäjärvellä on kokeiltu uimarantojen ympärille rakennettavia puomia, jotka estävät sinilevälauttojen ajautumisen rannalle. Menetelmä voi hetkellisesti parantaa rannan virkistyskäyttöarvoa, mutta ei poista itse ongelmaa. Sinilevien veteen erittämien myrkyllisten yhdisteiden kulkeutuminen ei ole puomein estettävissä.

## 6. Yhteenveto

Pyhäjärven korkeiden kesäaikaisten ravinnepitoisuuksien perusteella järvi luokitellaan reheväksi. Erittäin rehevän järven tunnusmerkkinä voidaan pitää *Aphanizomenon flos-aquae* sinilevän yleisyyttä ja sinilevähaittojen jatkuvaa esiintymistä rantavyöhykkeillä. Myös järven matalat lahdet ovat monin paikoin kasvamassa umpeen, mikä vaikeuttaa rantojen virkistyskäyttöä.

Pyhäjärvässä vallitsevat monessa suhteessa hyvät edellytykset sinilevien esiintymiselle. Järven mataluudesta johtuva veden nopea lämpeneminen ja sameus edesauttavat sinilevien kasvua. Pyhäjärven pitkät selkääalueet mahdollistavat aallokon sekoittavan vaikutuksen, jolloin pohjasedimentin fosforia kulkeutuu säännöllisesti yläpuoliseen veteen levien käytettäväksi. Toisaalta kevättulvien tuoma ulkoinen kuormitus pitää yllä korkeaa levätuotantoa samalla kuluttaen vedestä liukoisia typpiyhdisteitä. Loppukesällä veden nitraattitypen ollessa pienimmillään, typpikaasua hyödyntävät sinilevät pystyvät runsastumaan muiden levien kustannuksella.

Sinileväkasvustot kehittyvät koko järven alueella ja loppukesän aikana sinileviä esiintyy avovedessä melko tasaisesti koko järven alueella ja kaikissa syvyyksissä. Riippuen tuulen suunnasta ja voimakkuudesta sinileväkasvustot ajautuvat tietyille ranta-alueille. Vähätuulisina ajanjaksoina sinilevät nousevat vedenpintaan ns. leväkukinnaksi. Äkillinen voimakas tuuli saattaa sekoittaa sinilevät kuitenkin nopeasti koko vesimassaan. Rantojen levähaitta-alueet voivat täten vaihdella viikoittain, jopa päivittäin. Kesällä 2006 sinilevähaittoja esiintyi rannoilla kesäkuusta aina lokakuulle asti. Pyhäjärvestä käytettävissä olevien valitettavan hajanaisten sinilevähavaintojen perusteella ei ole mahdollista arvioida, ovatko sinilevät runsastuneet järvässä viimeisten vuosien tai vuosikymmenien aikana.

Seuraavat toimenpiteet voivat ehkäistä sinilevien runsastumista Pyhäjärvässä:

1. Ulkoisen typpi- ja fosforikuormituksen voimakas vähentäminen. Tällä hetkellä kuormitus on tasolla, joka selvästi rehevöittää järveä.
2. Ravintoverkkokunnostuksen toteuttaminen sisäisen kuormituksen vähentämiseksi. Ravintoverkkokunnostuksella voidaan nopeuttaa ja voimistaa muiden toimenpiteiden vedenlaatua parantavaa vaikutusta.
3. Vedenpinnan korkeuden nostaminen kesällä noin 10-20 cm viime vuosina vallinneesta tasosta parantaa vedenlaatua, vähentää sisäistä kuormitusta ja hidastaa veden lämpenemistä.
4. Umpeenkasvavien ranta-alueiden rakenteen monipuolistaminen parantaa kalojen ja monien muiden ranta-alueilla elävien eliöiden elinolosuhteita.

Sinilevien esiintymistä Pyhäjärvässä voidaan seurata vuosittain uimarannoilla tehtävien levähavaintojen avulla. Havaintopisteet tulisi ulottaa useammalle rannalle ympäri järveä ja havainnointiaika tulisi kattaa ajanjakson kesäkuusta lokakuuhun. Levähavaintojen perusteella rantojen turvallista käyttöä uimiseen ja muuhun virkistyskäyttöön voidaan valvoa aikaisempaa luotettavammin. Pitkällä aikavälillä havaintojen perusteella voidaan arvioida järven kunnostustoimenpiteiden vaikutuksia sinilevien esiintymiseen ja järven tilan kehitykseen.

**Taulukko 5.** Sinilevien määrän vähentäminen Pyhäjärvellä.

TAVOITE	VAIKUTUKSET	TOIMENPITEET	MENETTELYTAVAT
Ulkoisen kuormituksen vähentäminen	Vähentää ravinteiden määrää ja leväkasvua.	Kosteikkojen ja laskeutusaltaiden rakentaminen. Suojavyöhykkeiden jättäminen. Asumajätevesien puhdistaminen. Viemäriverkoston laajentaminen. Valumavesien käsittely.	Ympäristötukijärjestelmän kehittäminen. Vesiensuojelun huomioiminen kaavoituksessa ja kunnan kehityssuunnittelussa. Tiedotus ja ohjeistaminen. Vesiensuojelumenetelmien kehittäminen.
Sisäisen kuormituksen vähentäminen	Vähentää ravinteiden määrää ja leväkasvua. Korjaa ravintoverkoston rakennetta.	Vähäarvoisen kalan pyynti. Petokalojen määrän lisääminen. Vedenpinnan nosto.	Osakaskuntien, kyläyhdistysten ja suojeluyhdistysten aktiivinen toiminta. Tiedotus.
Vedenpinnan nosto kesällä.	Lisää vesitilavuutta. Vähentää pohjan sekoittumista ja ravinteiden määrää. Vähentää rantojen umpeenkasvua.	Keväisten juoksutusten vähentäminen. Patokorkeuden nosto.	Juoksutussäännöstelyn tarkistaminen. Luvan hakeminen vedenpinnan nostoon.
Rantakasvillisuuden monipuolistaminen	Lisää eläinplanktereiden ja kalanpoikasten määrää. Lisääntynyt saalistus vähentää levien määrää.	Tiheiden kasvustojen ruoppaus ja niitot. Rantojen laidunnuksen lisääminen.	Ranta-asukkaiden, osakaskuntien, kyläyhdistysten ja suojeluyhdistysten aktiivinen toiminta.

## 7. Kirjallisuus:

- Eloranta, P. 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E., Järvien kunnostus. Edita Prima Oy. Helsinki. S. 13-28.
- Haapasilta, S. 1999. Tammelan Pyhäjärven, kaukjärven, Kuivajärven ja Suujärven pohjasedimentit, järvien rehevöityminen ja kunnostusmahdollisuudet. Pro gradu – tutkielma. Turun yliopisto. Geologian laitos. 99s.
- Jeppesen, E., Jensen, J.P., Kristensen, P., Sondergaard, M., Mortensen, E., Sortkjaer, O. & Olrik, K. 1990. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic, temperate lakes 2: Threshold levels, long-term stability and conclusions. *Hydrobiologia* 200/2001:219-227.
- Jutila, H. & Kesäniemi, O. 2006. Katumajärven hulevesikuormitus ja sen vähentäminen. Hämeenlinnan seudullisen ympäristötoimen julkaisuja 4.
- Kaipainen, H., Bilaletdin, Ä., Perttula, H., Heino, H., Mäkelä, J.J. & Viitaniemi, S. 2002. Hauhon reitin kuormitusselvitys. Pirkanmaan ympäristökeskuksen monistesarja 21. 91 s.
- Keto, A. 2005. Järven säännöstelyn kehittäminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E., Järvien kunnostus. Edita Prima Oy. Helsinki. s. 241-248.
- Kirkkala, T. & Ventelä, A.-M. 2002. Pyhäjärven suojeluprojekti – valuma-alueen toimenpiteet. *Vesitalous* 6:26-31.
- Koskiahon & Puustinen 1998. Viljelyalueiden valumavesien käsittely kosteikoissa. *Vesitalous* 2:21-26.
- Lakso, E. 2005. Järven vedenpinnan nosto. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E., Järvien kunnostus. Edita Prima Oy. Helsinki. s.227-239.
- Lepistö, L. 1999. Phytoplankton assemblages reflecting the ecological status of lakes in Finland. Helsingin yliopisto. Väitöskirja. 42 s.
- Nyholm, A.-M., Jansson, J., Puronummi, N., Nyholm, R., Ala-Opas, P., Hakala, I., Huitu, E., Mäkelä, S., Tulonen, T. & Arvola, L. 2003. Valuma-alueen ja vesistön välisen vuorovaikutuksen arviointi. – *Maa- ja elintarviketalous* 38. 75 s.
- Nöges, T., Nöges, P. & Laugaste, R. 2003. Water level as the mediator between climate change and phytoplankton composition in a large shallow temperate lake. *Hydrobiologia* 506-509:257-263.
- Mattila, H. 2005. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E., Järvien kunnostus. Edita Prima Oy. Helsinki. s. 137-149.

Mäkelä, S. 2004. Tammelan Kaukjärven, Mustialanlammen, Kuivajärven ja Pyhäjärven tila ja veden laatu. Kaukjärven, Kuivajärven ja Pyhäjärven kunnostustoimenpide-ehdotuksia. Lammin biologinen asema. Helsingin yliopisto. 65 s.

Mäkelä, S., Huitu, E., Tulonen, T. & Ojala, A. 2005. Control mechanisms of cyanobacterial blooms in lakes of varying trophic status and morphometry. Verh. Internat Verein. Limnol. 29:953-955.

Pekkarinen, M. 2002. Pitkäjärven työ tuo tulosta – Tuusulanjärvi voi jo aika hyvin. Vesitalous 2: 23-37.

Olin, M., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Saarijärvi, E. & Keskitalo J. 2005. Effects of mass removal of fish on the nutrient status of a eutrophic lake in southern Finland. Verh. Internat. Verein. Limnol. 29:704-710.

Pihu, E. & Mäemets, A. 2004. The management of fisheries in Lake Vörtsjärv. Hydrobiologia 86:207-210.

Ruuhijärvi J. & Olin M. 2002. Onnistuuko ja vaikuttaako hoitokalastus?- Vesitalous 2: 38-41.

Sammalkorpi, I & Horppila, J. 2005. Ravintoketjukunnostus. Teoksessa: Ulvi, T. & Lakso, E., Järvien kunnostus. Edita Prima Oy. Helsinki. s.169-189.

Simola, A. & Jutila, H. 2006. Valuma-vesien käsittelymenetelmät Kanta-Hämeen järvet kestävään kehitykseen –hankkeessa. Hämeenlinnan seudullisen ympäristötoimen julkaisuja 9.

Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33:53-83.