

20.9.2012



**Arvio Vuohojärven hoitokalastus-  
ja hapetustarpeesta järven sisäisen  
kuormituksen alentamisessa  
Reisjärvi**

Arto Hautala, Virve Kupiainen ja Mika Mikkola

1. TAUSTA.....	2
2. MENETELMÄT .....	2
3. VUOHTOJÄRVI .....	2
4. AIEMMAT VEDEN LAADUN PARANTAMISEEN TÄHDÄNNEET	
HOITOTOIMET .....	3
4.1. Säännöstelykäytännön muuttaminen .....	3
4.2. Hapetus talviaikaan.....	5
4.3. Hoitokalastus .....	7
5. JÄRVEN KUORMITUS .....	9
5.1 Muuttajat, Friskin kuormitusmalli ja sietorajatarkastelu .....	9
5.2 Ulkoisen fosforikuormituksen arviointi ominaiskuormitusluvuilla.....	9
5.3 Sisäisen kuormituksen arviointi.....	13
6. SISÄISEN KUORMITUKSEN JA SEN LÄHTEIDEN MERKITYS.....	13
6.1 Kuormituspotentiaali ja kuormituksen esiintyminen .....	13
6.1. HAPEN PUUTE .....	14
6.1.1 Talviaikainen kuormitus .....	15
6.1.2 Kesäaikainen kuormitus.....	15
6.2. SÄRKIKALASTO.....	19
6.2.1 Kalastorakenne koekalastusten perusteella.....	20
6.2.2 Kalastorakenne veden laadun perusteella .....	22
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET .....	23
Kirjallisuus.....	25

# 1. TAUSTA

Reisjärven kunnassa sijaitsevat keskeiset järvet Kangaspään-, Kiljan-, Vuolto- ja Reisjärvi kärsivät liiallisesta ravinnekuormituksesta (Mikkola ja Pakkala 1997). Veden rehevyys aiheuttaa haitallisia leväkukintoja mikä vähentää järvien virkistysarvoa ja asumisviihtyvyyttä. Kangaspää ja Kiljanjärvi yhteiseltä valuma-alueeltaan ja Vuoltojärvi omaltaan laskevat vetensä Reisjärveen. Kolme ylempää järveä esikäsittelevät pääosan Reisjärveen tulevasta kokonaisvalunnasta ja Reisjärven veden laatu onkin järvinelikosta paras. Kiljan-, Vuolto- ja Reisjärven kunnostustarvetta arvioitaessa onkin pidetty tärkeimpänä parantaa latvajärvien ja etenkin näistä huonokuntoisimman eli Vuoltojärven tilaa (Lakso 2008).

Tämän työn tarkoituksena on arvioida Vuoltojärven kunnostusmahdollisuuksia erityisesti hoitokalastamalla ja hapettamalla. Työssä arvioidaan ulkoisen ja sisäisen kuormituksen merkitystä järven tilaan sekä sitä, miten sisäistä kuormitusta tai kokonaiskuormituksen haitallisia seurauksia voidaan mainituilla menetelmillä vähentää. Työn tilaaja on Reisjärven kunta ja arviointi liittyy järvien kunnostamista koskevaan EAKR -hankkeeseen.

# 2. MENETELMÄT

Arviointi tehtiin suurelta osin olemassa olevan tiedon pohjalta. Vedenlaadun historiaa ja suhdetta järvellä harjoitettuihin tai suunniteltuihin hoitotoimiin tutkittiin Vuoltojärven syvänpisteen tiedoista. Tältä pisteeltä on jatkuvaluonteista ympärivuotista seurantatietoa vuodesta 1964 lähtien ja aineisto käsittää yhteensä jo yli 230 erillistä näytettä. Järveltä on otettu vesinäytteitä vajaalta kymmeneltä muultakin pisteeltä, mutta näiden näytemäärät ovat vähäisiä ja näytteenotto on ollut satunnaista. Tiedot aiemmasta hapetus- ja hoitokalastushistoriasta kerättiin Lakson (2008) raportista sekä hoitokalastusta vuosien saatossa harjoittaneilta Esko Kirmaselta ja Erkki Leppälältä.

Selvityksen aikana oli tarkoitus tutkia tehostetulla kerrostuneisuuden seurannalla ja vesinäytteenotolla Vuoltojärven syvänteiden kesäaikaisen hapetuksen tehokkuutta eli vaikutuksen vahvuutta ja leviämistä syvänealueelle ja sen ulkopuolellekin. Kesästä muodostui kuitenkin sateinen ja tuulinen ja järvi pysyi koko avovesikauden käytännössä kerrostumattomana. Syvänteeseen asennetuilla kahdella hapetuslaitteella pyritään juuri kerrostumisen osittaiseen tai täydelliseen purkuun, joten niiden käyttäminen ei selvityskeskänsä ollut aiheellista eikä niiden vaikutusta voitu testata. Ylimääräisten vesinäytteiden tietoa voitiin kuitenkin käyttää hyödyksi arvioitaessa, seuraako kerrostuneisuuden täydellisestä purkamisesta kesäaikaan riskejä veden laadulle. Eli lähinnä sitä aiheuttaako syvänteiden pohjan lämpeneminen mahdollisesti metaanikuplinnan kautta järveen ravinnekuormitusta.

Järven kalastorakennetta selvitettiin Nordic -yleiskatsausverkoilla tehdyillä koekalastuksilla, jotka noudattivat standardia (SFS-EN 14757:2005) ja yleiseen vesienhoitosuunnitteluun liittyvää Vuoltojärven kalaston seurantakäytäntöä.

# 3. VUOLTOJÄRVI

Vuoltojärvi on ”matala runsashumuksinen järvi” (VHS-luokka, Hertta-ympäristötietokanta). Järvi on Kalajoen vesistöalueen suurin ja pinta-alaltaan 741

hehtaaria. Valuma-alue on pinta-alaltaan noin 20 -kertainen ja järven teoreettinen viipymä on lyhyehkö (taulukko 1).

Pohjan muoto on laakea ja kaksi kolmannesta pinta-alasta on matalaa alle 2 metrin vettä. Vastaavasti yli 6 metrin syvänealue on suhteellisen pienialainen (taulukko 2).

Veden kasvukauden aikainen fosfori ja kasviplanktonbiomassa ovat yleisten luokitteluperusteiden mukaan runsasravinteisen järven lukemissa (taulukko 3 ja Eloranta 2005). Kokonaistypen ja -fosforin kasvukaudenaikainen suhdeluku on 2000 -luvulla ollut keskimäärin 13,7 ja siten fosfori toimii ainakin pääosan kasvukaudesta levätuotantoa rajoittavana minimiravinteena (TN:TP>10, Pietiläinen 2008). Vesi on humuksen värjäämää ja näkösyvyys jää keskimäärin alle metriin.

**Taulukko 1.** Vuohojärven ja sen valuma-alueen hydrologiset tiedot.

Pinta-ala km <sup>2</sup>	Syvyys m		Tilavuus milj. m <sup>3</sup>	Valuma-alue km <sup>2</sup>	Järvisyys %	Teoreettinen viipymä	
	keski	maksimi				d	kk
7,4	2,2	11	10,1	144,7	<1	220	7,3

**Taulukko 2.** Vuohojärven pinta-alan jakautuminen eri syvyysvyöhykkeisiin.

Syvyysvyöhyke	Pinta-ala	
	ha	%
0-2 m	485	66
2-6 m	210	28
>6 m	46	6
	741	100

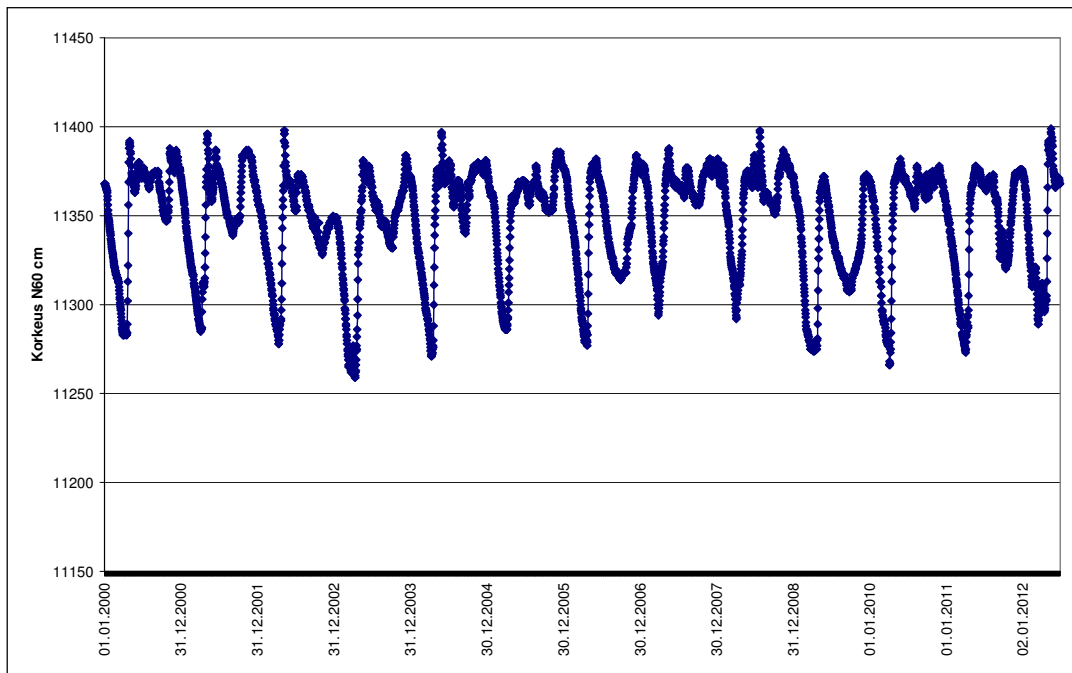
**Taulukko 3.** Vuohojärven veden keskimääräinen laatu kasvukauden aikana kesäsyyskuulla vuosina 2000–2007 (Järvikortti, Hertta ympäristötietokanta, n=22-23)

Kokonaisfosfori µg/l	Kokonaistyyppi µg/l	a-klorofylli µg/l	näkösyvyys m
57	780	22,5	0,8

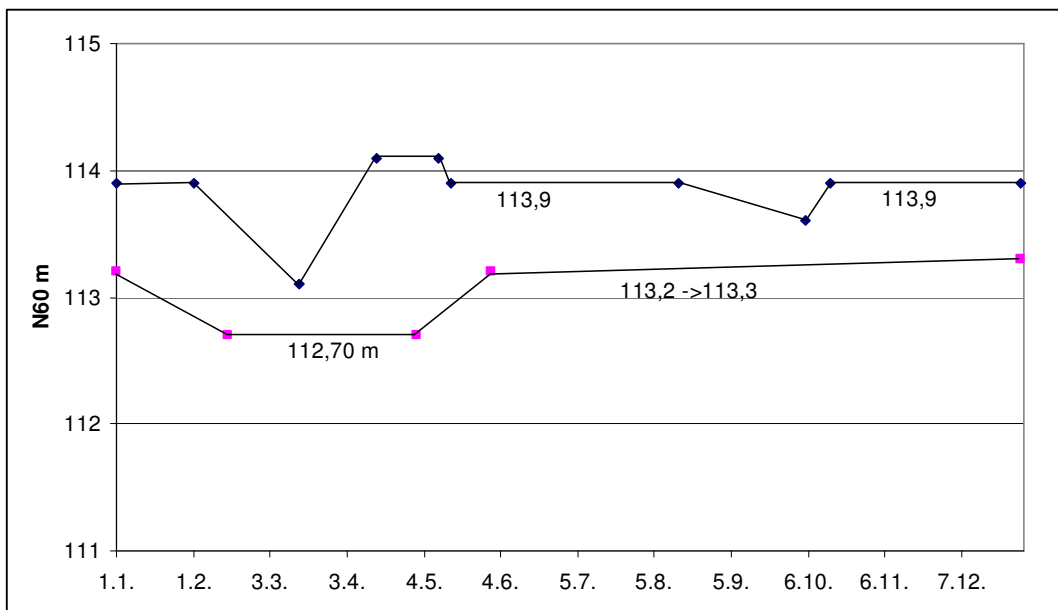
## 4. AIEMMAT VEDEN LAADUN PARANTAMISEEN TÄHDÄNNEET HOITOTOIMET

### 4.1. Säännöstelykäytännön muuttaminen

Vuohojärveä on säännöstelty vuodesta 1962 alkaen. 2000-luvulle saakka lupaehtojen sallima vedenkorkeuden vaihteluväli on ollut 2,25 metriä, mutta eri osapuolten sopimukseen perustuen käytännön säännöstelyväli on 2000 -luvulla ollut selvästi vähemmän eli noin 1.4 metriä (kuva 1). Viimeisimmän vuonna 2008 vahvistetun säännöstelypäätöksen mukaiset ala- ja ylärajat N60 +112. 70 - 113,10 m ovat paljolti jo noudatetun käytännön mukaiset (kuva 2).



**Kuva 1.** Vuohojärven vedenpinnan vaihtelu vuodesta 2000 vuoden 2012 kesään saakka (Hertta ympäristötietokanta).



**Kuva 2.** Vuohojärven säännöstelyn ylä- ja alarajan vuodenaikaiskierto vuonna 2008 vahvistetussa säännöstelypäätöksessä.

Säännöstelyvälin muutos ja erityisesti alarajan nostaminen lähelle normaalia vedenkorkeuden vuosikiertoa edesauttaa veden happivarastojen riittävyttä kevättalvella, mikä vähentää talviaikaista sisäistä kuormitusta. Rantavyöhykkeen vesikasvillisuuden olosuhteet paranevat, mikä vähentää aallokon aiheuttamaa ravinnehuuhtoumaa rantasedimentistä ja valunnan sisältämien ravinteiden leviämistä avoveteen. Kasvillisuuden pinnoilla elävän levän ravintokilpailu heikentää haitallisia kukintoja aiheuttavan vapaan veden levän ravinteiden saantia. Hauen ja ahvenen lisääntymis- ja saalistusteho paranevat niin ikään vesikasvillisuuden kirjomassa ympäristössä, mikä ehkäisee särkikalaston aiheuttamaa veden laadun heikkenemistä (Jeppesen ja Sammalkorpi 2002).

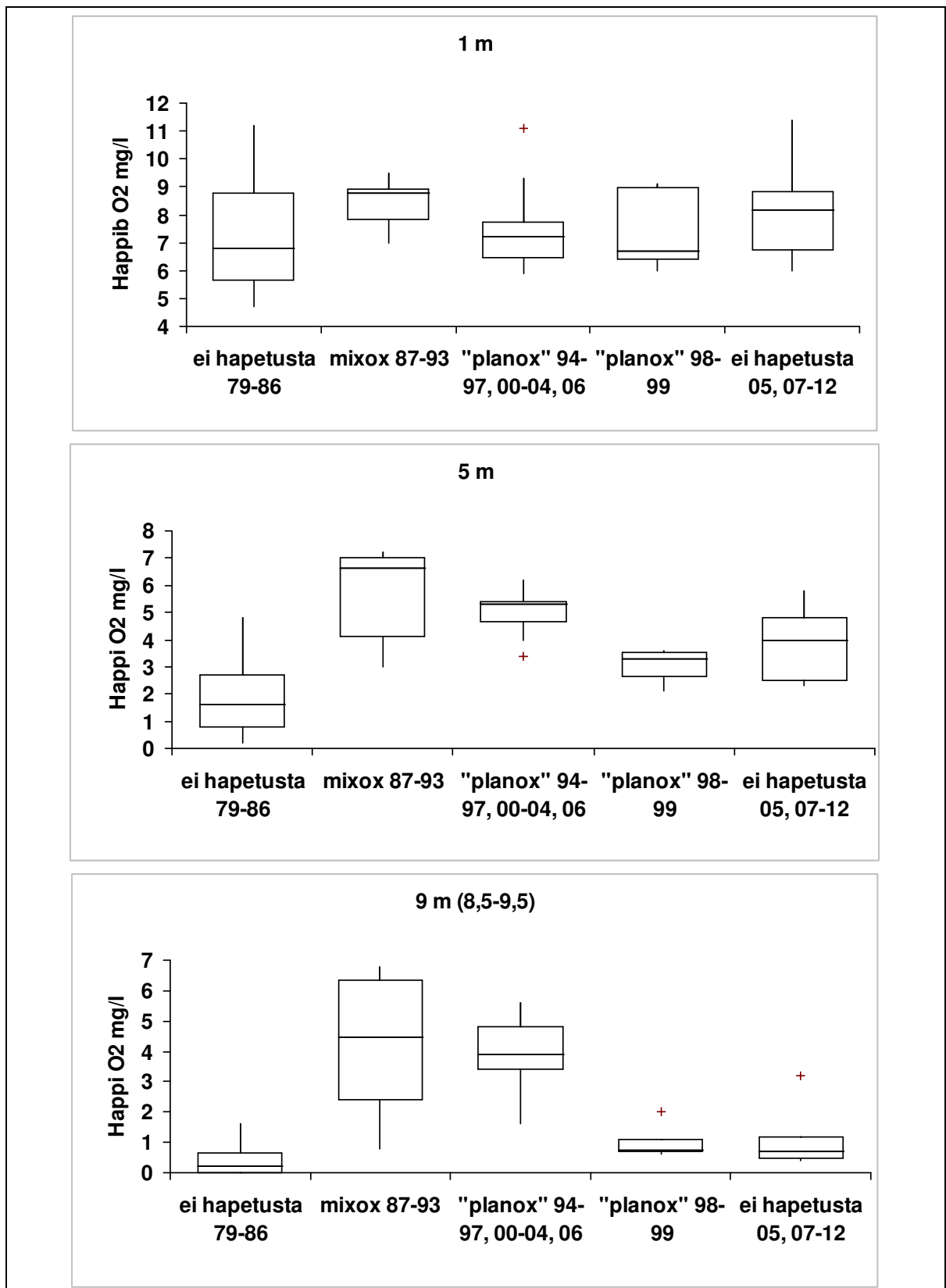
## **4.2. Hapetus talviaikaan**

Vuohojärven syvännettä on hapetettu kevättalvisin keskimäärin 3 kuukautta vuosina 1987–2004 ja 2006. Vuosina 1987–93 käytössä on ollut yksi Mixox hapetin ja vuosina 1994–2004 yksi tai kaksi Planox – tyyppistä hapetinta, joissa ei ole ollut ilman syöttöä veteen (Lakso 2008). Kaikki laitteet ovat siis kierrättäneet happirikasta pintavettä vähähappiseen pohjaan.

Pintaveden (1 m) happipitoisuus on säilynyt syvänteessä tyydyttävänä ennen ja jälkeen hapetuksen sekä sen aikana (kuva 3). Väliveden (5 m) ja pohjan (9 m) happipitoisuus on parantunut hapetuksella huomattavasti alkuperäisestä. Planox –vuodet 1998-99 ovat muihin ilmastusvuosiin nähden poikkeuksellisen heikkohappisia ja todennäköisesti laitteet eivät tuolloin ole jostain syystä toimineet.

Toimivan hapetuksen aikana syvänteen pohja on saatu elinkelpoiseksi kaloille ja pohjaeläimille ja sillä on vähennetty hapettomuudesta johtuvaa ravinteiden liukenemista pohjasedimentistä veteen. Kalakuolemien todennäköisyys koko järven mittakaavassa on vähäinen ilman hapetustakin, koska pintavedessä happea säilyy riittävästi kalojen talviaikaiseen tarpeeseen.

Järven luontainen kevättalven happitilanne on parantunut kolmen vuosikymmenen aikana. Vuosina 1979–86 pohja oli pääosalla havainnoista täysin tai lähes hapeton. Viiden metrin syvyydessäkin happipitoisuus laski tyypillisesti kalojen pitkäaikaisen siedon alapuolelle 1-3 mg/l lukemiin ja vesi saattoi käydä lähes hapettomana. 2000-luvulla vesi on pysynyt 5 metrin syvyydessä kalojen kannalta tyydyttävän hapekkaana, eikä pohjakaan ole mennyt täysin hapettomaksi. Paranemisen syynä saattaa osaltaan olla säännöstelykäytännön muuttuminen. Kevättalvella vettä ei ole laskettu niin vähiin kuin säännöstelylupa sallisi ja järveen on jäänyt runsaammin hapellista pintavettä. Toisaalta pääosa metsien ja soiden uudisojituksista ajoittui 1970 ja 80 -luville ja siten näistä aiheutuneen orgaanisen aineen ja ravinteiden huuhtouman väheneminen on saattanut vähentää hapen talviaikaista kulumista. Syvänteen pohjan kevättalvinen happitilanne on kuitenkin edelleen heikko.



**Kuva 3.** Veden happipitoisuus Vuotojärven syvännenäytepisteessä maaliskuusta huhtikuuhun 1, 5 ja 9 metrin syvyyksillä ennen hapetusvuosia, hapetusvuosina eri menetelmillä ja hapetusvuosien jälkeen. Jakaumissa pystyviiva esittää havaintojen vaihteluväliä, laatikon sisään mahtuu 50 % havainnoista ja laatikon keskiviiva kuvaa jakauman mediaania. Erityisen poikkeukselliset yksittäishavainnot on esitetty + merkeillä.

### 4.3. Hoitokalastus

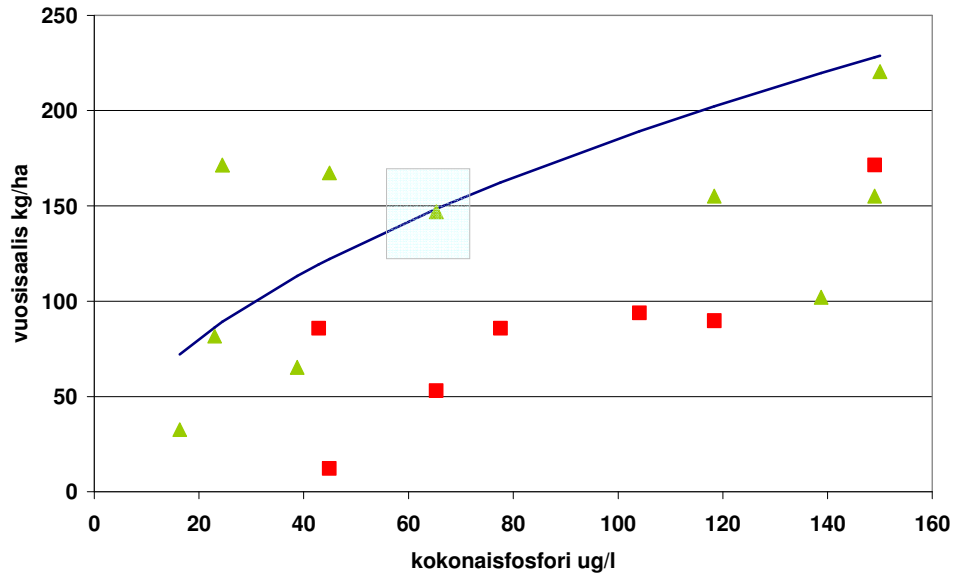
Vuohojärveä on hoitokalastettu särkikalastoa eli lähinnä särkeä ja lahnaa vähentämällä 1990 – luvulta lähtien. Keskimäärin saaliit ovat olleet noin 20 kg/ha ja vain yhtenä vuonna on päästy selvästi parempaan tulokseen 62 kg/ha (taulukko 4.). Hoitokalastussuunnitelman mukaisesti (Hautala 1999) tai kokonaisfosforipitoisuuteen perustuviin saalistavoitteisiin ei ole päästy (kuva 4). Paraskin vuosisaalis on jäänyt noin puoleen tavoitteesta. Kunnassa on kalastettu melko tasaisesti kaikissa kolmessa pääkohteessa eli Kiljan-, Vuolto- ja Reisjärvestä. Näiden suuri 1300 hehtaarin yhteispinta-ala ja käytettävissä olleet kalastusresurssit huomioiden saalistaso on kuitenkin ollut hyvä.

Harjoitetulla tehoisella kalastuksella ei näyttäisi olleen vaikutusta Vuohojärven kokonaisfosforipitoisuuteen (kuva 5). Levätuotanto suhteessa fosforin määrään näyttäisi jopa lisääntyneen kahden viimeisen vuosikymmenen aikana. Särkikalojen tuorepainosta 0.6–0.8 % on fosforia ja typpeä yli 2.5 %, joten särkikalasaaliin mukana järvestä on vuosikymmenen aikana poistunut noin 2000 kg fosforia ja 7000 kg typpeä.

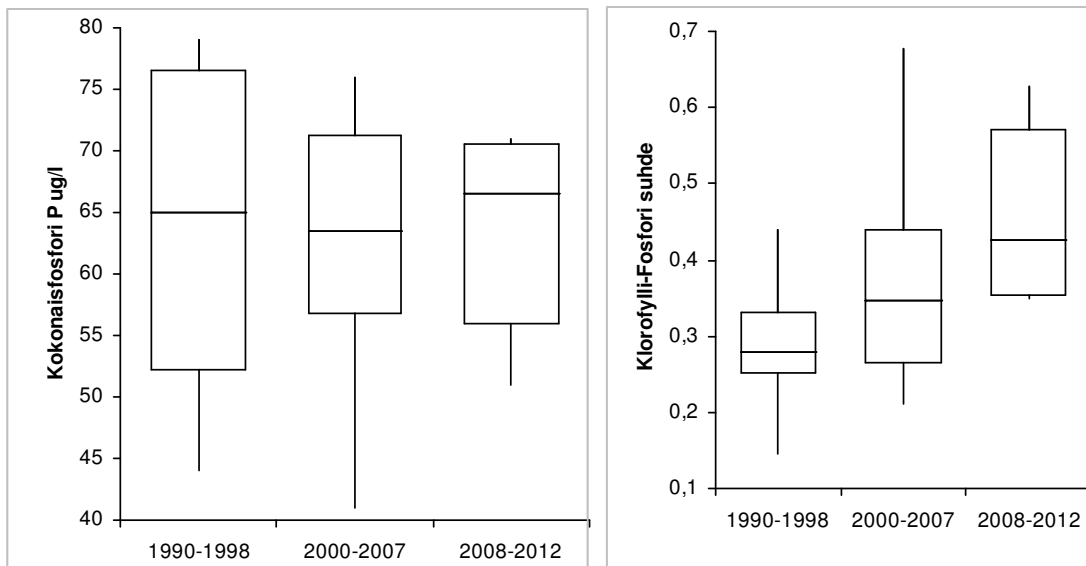
**Taulukko 4.** Särkikalojen yhteissaalis Vuolto- ja Reisjärvestä vuosina 1999–2011. Hoitokalastusaalis on Esko Kirmasen ja Erkki Leppälän kirjanpidon mukainen. Muun kalastuksen särkikalasaalis on Sarellin ja Nybergin (1998) perusteella tehty arvio.

vuosi	Hoitokalastus	Muu kalastus	Yhteensä		hoitokalastusvälineet
	kg	kg	kg	kg/ha	
1999	7300	5000	12300	11	rysät
2000	23000	5000	28000	25	rysät, nuotta
2001	35000	5000	40000	36	rysät, nuotta + ostokalat
2002	13300	5000	18300	17	rysät, nuotta
2003	17000	5000	22000	20	rysät, nuotta
2004	62700	5000	67700	62	rysät, nuotta
2005	22200	5000	27200	25	katiska
2006	0	5000	5000	5	
2007	7000	5000	12000	11	katiska
2008	9400	5000	14400	13	katiska
2009	0	5000	5000	5	
2010	25070	5000	30070	27	katiska
2011	0	5000	5000	5	
	221970	65000	286970	261	





**Kuva 4.** Saalistarpeen arviointi ravintoketjukurannostuksessa veden keskimääräisen fosforipitoisuuden perusteella Jeppesenin ja Sammalkorven (2002) mukaisesti. Onnistuneiden (vihreät kolmiot) ja epäonnistuneiden hoitokalastusten (punaiset neliöt) paras vuosisaalis on kuviossa suhteutettu kasvukauden aikaiseen kokonaisfosforipitoisuuteen. Laskennallinen saalistarve on esitetty käyrällä. Sininen suorakulmio kuvaa Vuohtojärven laskennallista saalistarvetta.



**Kuva 5.** Kokonaisfosforin pitoisuus (vasen kuva) sekä klorofylli-a:n ja kokonaisfosforin suhde (oikea kuva) Vuohtojärven syvänteen pintavedessä heinä elokuussa ”ennen hoitokalastusta” (1990–98), ”hoitokalastuksen aikana” (2000–07) sekä ”lievän hoitokalastuksen aikana” (2008–12).

## 5. JÄRVEN KUORMITUS

Järven kuormitusta tarkasteltiin ainoastaan fosforin osalta, sillä fosfori on järven minimiravinne. Järven kokonaiskuormitusta arvioitiin Friskin kuormitusmallilla. Ulkoista kuormitusta tarkasteltiin ominaiskuormituslukujen avulla, jolloin voitiin vertailla kokonaiskuormitusta ja ulkoista kuormitusta sekä esittää arvioita sisäisen kuormituksen suuruudesta.

### 5.1 Muuttujat, Friskin kuormitusmalli ja sietorajatarkastelu

Järven tilavuus laskettiin digitoimalla järven syvyyskartta AutoCAD 3D Civil -ohjelmistolla ja mallintamalla järven vesitilavuus, kun vedenpinnan korkeus vastaa keskivettä N60+ 113,60 m. Näin järven tilavuudeksi saatiin 16,0 milj. m<sup>3</sup>. Aikaisemmissa tutkimuksissa, kuten SYKE raportteja 11/2008, mm. VEPS -kuormitusmallin pohjalla on käytetty keskisyvyyden avulla laskettua tilavuutta (16,3 milj. m<sup>3</sup>). Vuohojärven pinta-ala on käytetty järvikortin mukaista 7,4 km<sup>2</sup>.

Vuohojärveen tulevan virtaaman laskemisessa käytettiin keskivaluntaa 10,8 l/s/km<sup>2</sup>, joka on Haapajärven Tujuojan 1961–90 havaintoihin perustuva Vuohojärven valuma-alueella hyvin vastaava arvo. Samaa arvoa on käytetty myös Reis-, Vuolto- ja Kiljanjärven kunnostusraportissa vuonna 2008. Vuohojärven valuma-alueen pinta-ala on 144,7 km<sup>2</sup> ympäristöhallinnon tietopalvelu Oivan mukaan (Lestipuro 53,4 km<sup>2</sup>, Eteläjoen 42,2 km<sup>2</sup> ja Vuohojärven 49,1 km<sup>2</sup>).

Kuormitusmalleista valittiin Friskin fosforitasemalli, jolloin kuormituslaskennan tiedot ovat vertailukelpoisia muiden tutkimusten kanssa (mm. Mikkola ja Pakkala 1997). Friskin kuormitusmallilla laskettu tyypillistä alkukesän fosforipitoisuutta 50µg/l vastaava kuormitus on noin 2460 kg/a ja loppukesän 60µg/l vastaava kuormitusarvo on noin 2960 kg/a. (Alemmilla pitoisuuksilla Friskin malli pysyy luotettavuusrajojen sisäpuolella, suurimmilla arvoilla yläraja ylittyy).

Vollenweider-Eloranta sietorajatarkastelulla sallittavan kuormituksen suuruus Vuohojärvessä olisi 1360 kg/a ja vaarallinen kuormitus 3130 kg/a. Näin ollen laskennalliset kokonaiskuormitusluvut olisivat ainakin loppukesän tilanteessa lähellä vaarallista kuormitusta.

### 5.2 Ulkoisen fosforikuormituksen arviointi ominaiskuormitusluvuilla

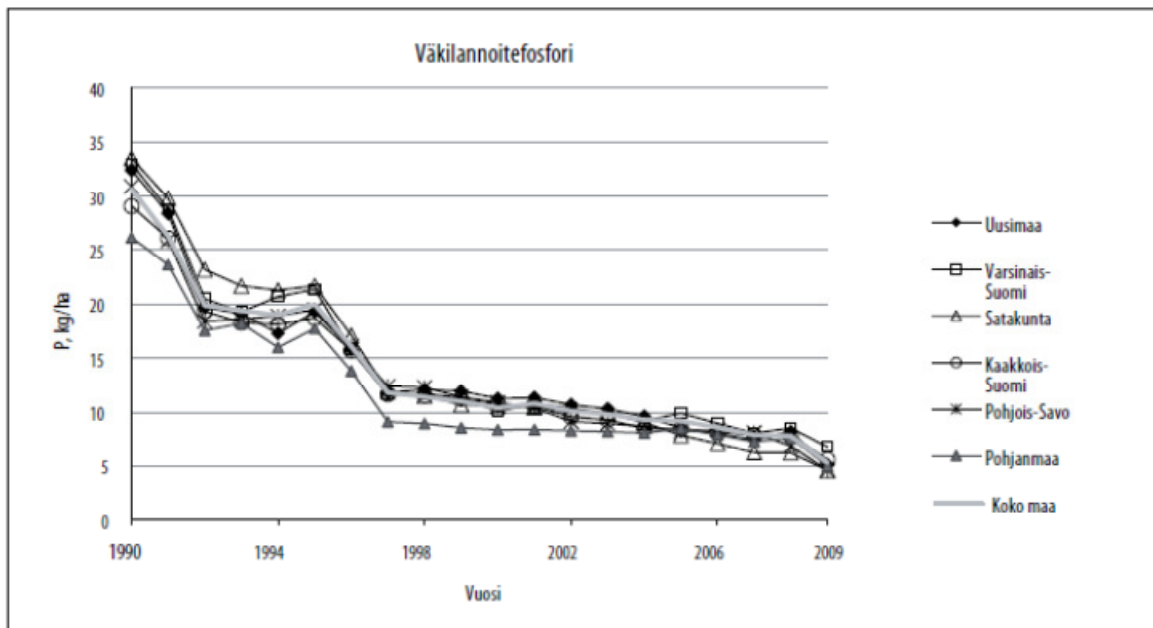
Turvetuotantoalueiden (Onkilamminneva ja Maaselkä) ja luonnontilaisten avosoiden kuormitusta arvioitaessa käytettiin ominaiskuormituslukuja valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelusta. Turvetuotantoalueiden fosforikuormitusta arvioitaessa on käytetty tuotantosuon ominaiskuormituslukua kohtalaisesti toimivalla pintavalutuskentällä tuotantokauden aikaan. Luonnontilaisen avosuon ominaiskuormitusluku on laskettu vähentämällä tuotantosuon tuotantokauden aikaisesta ominaiskuormitusluvusta tuotannon aiheuttama liukaisen fosforin huuhtouman lisäys luonnontilaiseen verrattuna. (Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, Maankäytön ominaiskuormituslukuja) Laskennassa käytetyt ominaiskuormitusluvut ovat esitettyinä taulukossa 5.

Vuodesta 1995 saakka maatalouden ympäristöpolitiikassa on vaikuttanut merkittävästi maatalouden ympäristötuki. Seurantatulokset osoittavat, että ympäristötuen toimenpiteillä

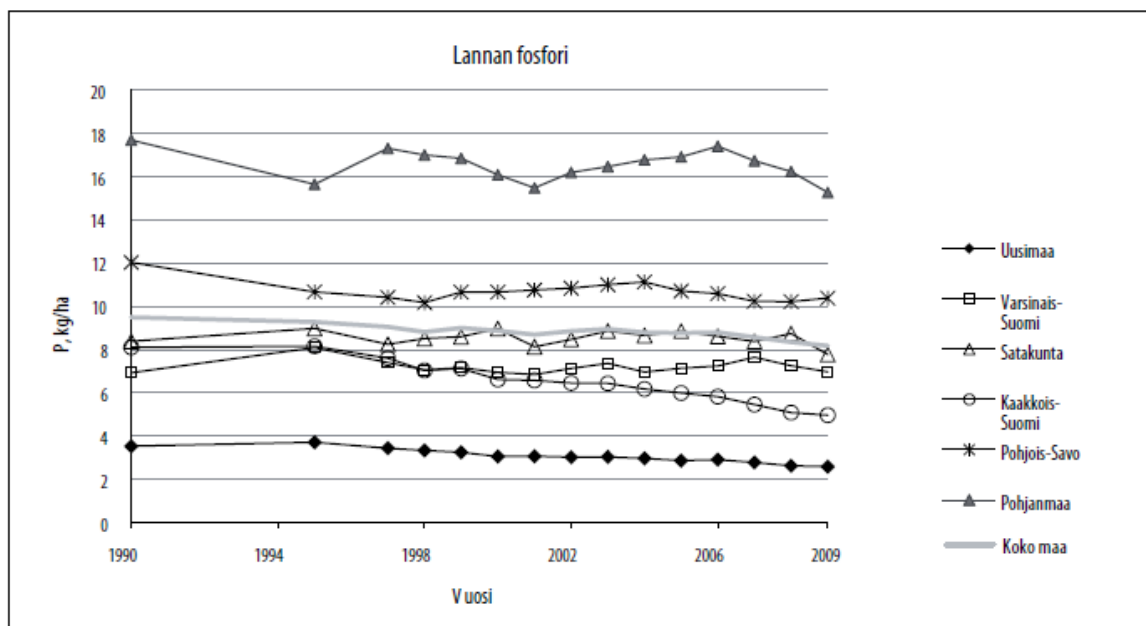
maatalouden ravinnekuormituspotentiaali ravinnetaseilla mitattuna on jatkuvasti vähentynyt etenkin fosforin osalta. Tämä johtuu etenkin keinolannoitteiden käytön vähentämisestä. Väkilannoitefosforin käyttö Pohjanmaan alueella on pienentynyt vuoden 1990 tasosta 26 kg/ha/a vuoden 2009 tasoon 5 kg/ha/a (Kuva 6). Pelloille levitettävän lannan fosforimäärä on vuosina 1990–2009 ollut loivassa laskussa ja se on vaihdellut välillä 15–18 kg/ha/a (Kuva 2). (Aakkula et al., 2010)

Aikaisemmin peltojen fosforikuormitusta laskettaessa on käytetty suurempia ominaiskuormitusluvun arvoja. Esimerkiksi vuonna 1992 (Rekolainen et al.) on arvioinut pelloilta tulevan fosforikuormituksen olevan luokkaa 0,9-1,8 kg/ha/a. Nykysuositusten mukainen fosforilannoitus johtaa esimerkiksi nurmen osalta maan fosforipitoisuuden alenemiseen sekä pinta- että kyntökerroksissa (Kauppila, 2010). Peltojen fosforikuormitusta arvioitaessa ominaiskuormituslukuna on käytetty 0,7 kg/ha/a. Samaa lukua on käytetty Siuruanjoen pelloille Siuruanjoen kuormitus selvityksessä vuonna 1997 (Halonen ja Heikkinen, 1997).

Vuohtojärven valuma-alueella karjan lukumäärä on arviolta 500 kpl. Nykyään lainasäädäntö vaatii yli vuoden kapasiteetin lannan varastointiin ja syyslevitykset pelloille tulee tehdä kuivan ja sulan maan aikaan. Lisäksi pellot mullataan tai kynnetään vuorokauden kuluessa levityksestä. Tämä ehkäisee suoria ravinnevalumia vesistöihin. Näin ollen kuormituslaskennassa on oletettu, että kaikki lanta levitetään pelloille ja tämä on huomioitu pellon kuormitusluvuissa. (Valtioneuvoston asetus 931/2000)



**Kuva 6.** Väkilannoitefosforin myyntimäärät (kg/ha) kuuden TE-keskuksen alueella ja koko maassa 1990–2009 (Aakkula et al., 2010)



**Kuva 7.** Lannan sisältämä fosfori (kg/ha) kuuden TE-keskuksen alueella ja koko maassa 1990–2009 (Aakkula et al., 2010)

Metsätalouden fosforikuormitusta arvioitiin soveltamalla KALLE-laskentamenetelmän antamia tuloksia. Vesistökuormitus laskettiin käyttämällä vesienhoitoalueen 4 tietoja. Vesienhoitoalueella 4 on metsää 5 245 786,8 ha, mikä vastaa 81 % alueen kokonaispinta-alasta. Metsien aiheuttama kokonaisfosforikuormitus vesienhoitoalueella 4 KALLE-laskentamenetelmällä vuoden 2006 tiedoilla on 360,265 tonnia vuodessa. (Finer et al., 2010) Metsien ominaiskuormituskertoimeksi saatiin 0,0687.

Loma-asutuksen fosforikuormitukseksi arvioitiin 0,02 kg/as/a (Rontu ja Santala, 1995). Loma-asutuksen kuormitusta laskettaessa on oletettu, että asunnossa on keskimäärin 2 henkilöä 60 vuorokautta vuodessa. Haja-asutuksen ominaiskuormituslukuna on käytetty haja-asutuksen jätevesiasetuksen (209/2011) mukaista kuormituslukua 2,2 g/as/d.

**Taulukko 5.** Kuormituksen arvioinnissa käytetyt ominaiskuormitusluvut.

Ominaiskuormitusluvut	Fosfori (kg/ha/a tai kg/as/a)	Alkuperäinen lähde
Pelto (sisältää lannan peltolevityksen, mutta ei lantaloista suoraan tulevaa kuormitusta)	0,70	Rekolainen ym., 1992
Metsätalous (sisältää ojitukset, hakkuut, lannoitukset)	0,0687	KALLE-laskentamenetelmän tiedot, 2010
Avosuo	0,2864	Liminganlahden... (1995), Metsä- ja turvetalouden... (1987)
Turvetuotantoalueet	0,5183	Lehtola (1999)

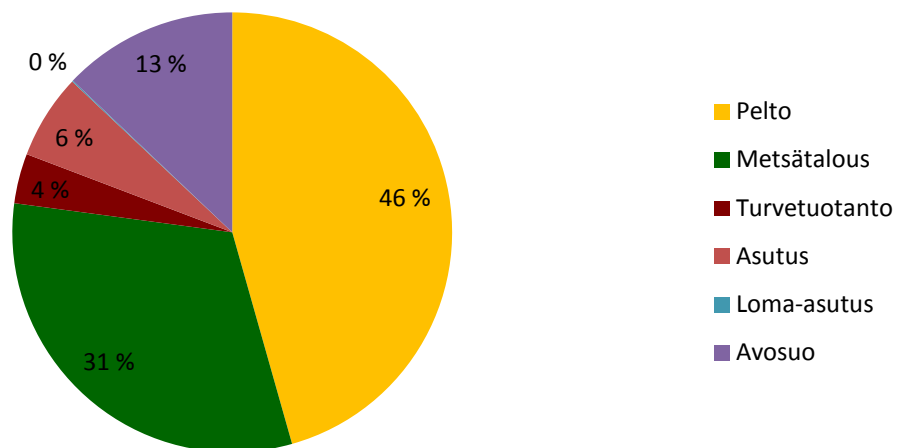
Haja-asutus	0,803	Haja-asutuksen jätevesiasetus (209/2011)
Loma-asutus	0,02	Rontu ja Santala, 1995

Maankäytön pinta-alat Vuohojärven valuma-alueella on arvioitu maanmittauslaitoksen avaamien maastotietokanta-aineistojen (peruskartan raja-aineistot digitaalisena) sekä Corine Land Cover 2006 -paikkatietoaineiston ja ilmakuvien perusteella. Kuormittavien alueiden pinta-alat ja niiltä tulevat fosforikuormitukset on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 6.** Arvioinnissa käytetyt pinta-alat ja saadut kuormitukset.

	<b>Pinta-alat (ha)</b>	<b>Kuormitus (kg/a)</b>
Pelto	1566,9	1097
Metsätalous	11025	757
Turvetuotanto	170,3	88
Asutus		150
Loma-asutus		2
Avosuo	1081,9	310
	<b>Kuormitus yhteensä:</b>	<b>2404</b>

## Ulkoinen fosforikuormitus



**Kuva 8.** Ulkoisen fosforikuormituksen lähteet

Yllä kuvatulla laskentamenetelmällä vuosittaiseksi Vuohojärven fosforikuormaksi saadaan 2 404 kg/a. Jos oletetaan vuosivalunnaksi 10,8 l/s/km<sup>2</sup> ja valuma-alueen pinta-alaksi 144,7 km<sup>2</sup>, saadaan Vuohojärven tulevan veden keskimääräiseksi fosforipitoisuudeksi 48,8 µg/l.

Vuoden 2007 VEPS-tietojärjestelmällä tehty arvio Vuohojärven fosforikuormituksesta oli 1 958 kg/a (Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2008). VEPS-tietojärjestelmällä saatu tulevan veden keskimääräinen fosforipitoisuus on 39,7 µg/l.

Vuonna 1997 saatiin Reis- ja Vuohojärven yhteiseksi kuormitukseksi 7 083 kg/a (Mikkola ja Pakkala, 1997). Valumalla 10,8 l/s/km<sup>2</sup> ja valuma-alueen pinta-alalla 364 km<sup>2</sup> Reis- ja Vuohojärven tulevan veden keskimääräiseksi fosforipitoisuudeksi saadaan 57,1 µg/l.

### **5.3 Sisäisen kuormituksen arviointi**

Ominaiskuormituslukumenetelmällä arvioitu ulkoisen kuormituksen määrä vastaa hyvin alkukesällä havaittuja Vuohojärven fosforipitoisuuksia 45–50 µg/l. Tällä menetelmällä arvoitu ulkoisen kuormituksen arvo 2404 kg/a vastaa hyvin Friskin kuormitusmallilla saatua alkukesän kuormitusarvoa 2460 kg/a.

Jos loppukesän korkeampia fosforipitoisuuksia 60–75 µg/l vastaavaa kokonaiskuormituslukua 2960 kg/a ja ulkoisen kuormituksen arvoa verrataan toisiinsa, saadaan käsitys sisäisen kuormituksen osuudesta.

Näin ollen loppukesän kuormituksesta 80 % johtuisi ulkoisesta kuormituksesta ja 20 % sisäisestä. Tämä selittää alkukesän ja loppukesän välisen fosforipitoisuuksien 1,5-kertaistumisen.

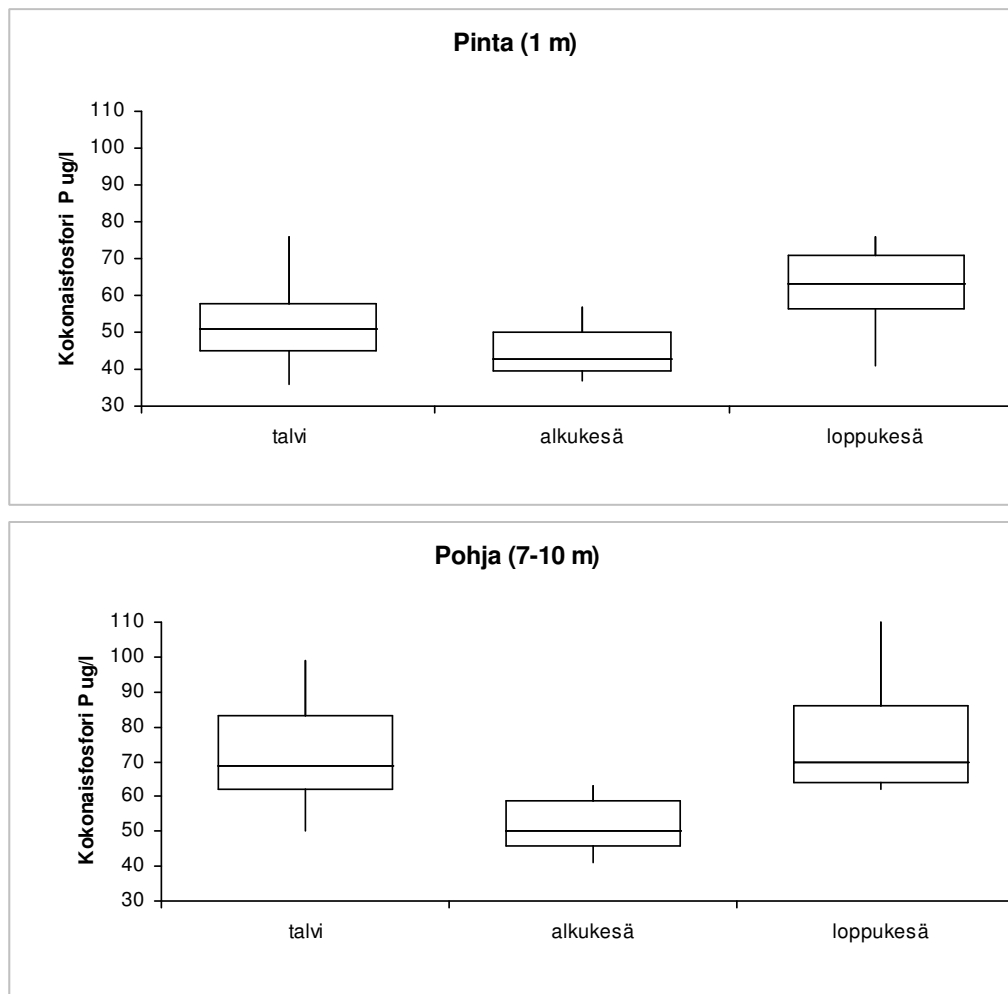
## **6. SISÄISEN KUORMITUKSEN JA SEN LÄHTEIDEN MERKITYS**

### **6.1 Kuormituspotentiaali ja kuormituksen esiintyminen**

Vuohojärven fosforipitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan ja kasvaa sekä veden lämpenemisen myötä loppukesällä että jääkannen alla talvella (kuva 9). Tämä kertoo sisäisen kuormituksen esiintymisestä järvestä molempina vuodenaikoina. Sekä pinta- että pohjakerroksessa talven ja loppukesän pitoisuudet ovat alkukesään verrattuna noin 20–50 % suurempia. Tätä prosenttilukua voidaan pitää myös sisäisen kuormituksen aiheuttamana lisänä järven kokonaiskuormitukseen kyseisinä vuodenaikoina. Laskennallisesti veden alkukesän fosforipitoisuus 40–50 µg/l vastaa tasoa, joka olisi seurausta pelkästä järven ulkoisesta kuormituksesta (katso myös Mikkola ja Pakkala 1997). Alkukesällä veden fosforipitoisuus on lähes sama pinnasta pohjaan mutta talvella ja loppukesällä valoton ja orgaanisen laskeuman kuormittama pohjakerros on pintavettä ravinteikkaampaa.

Sisäinen kuormitus on lähtöisin pohjasedimentistä. Vuohojärven sedimenttiä on tutkittu heinäkuun lopulla vuonna 2008 (Lakso 2008). Pintasedimentin leville käyttökelpoisen fosfaattifosforin pitoisuudet olivat kuudessa syvänteessä (7,7–10,1 m) näytteessä 110–370 µg/l ja kolmessa matalamman veden (2,9 m) näytteessä 51–100 µg/l. Ero järven veden fosfaattipitoisuuteen on noin 10 -kertainen ja sisäisen kuormituksen potentiaali on siis ilmeinen. Syvänteessä fosfaattipitoisuus on pienimmillään sedimentin pintakerroksessa, mikä kertoo fosforin poistumisesta veteen. Matalammalla alueella tilanne oli päinvastainen eli siellä fosforia rikastuu vedestä sedimenttiin. Sedimentin kokonaisfosforipitoisuus 1,1–1,3 g/kg kuiva-ainetta on kuitenkin melko matala rehevien järvien yleistasoon verrattuna

(Kansanen 1992). Orgaanisen aineen eli kokonaishiilen osuus sedimentissä on myös vähäinen, 26–38 g/kg kuiva-ainetta, mikä vähentää esimerkiksi metaanikuplinnan ja siitä aiheutuvan sisäkuormituksen riskiä. Kaikissa syvyysvyöhykkeissä ja sedimenttisyvyyksissä redox-potentiaali oli lisäksi selvästi yli -300, minkä arvon alapuolella metaanikuplintaa yleensä esiintyy (Särkkä 1996). Sedimentissä kokonaisfosforin suhde sen sidosmetalleihin alumiiniin ja rautaan on myös poikkeuksellisen pieni eli 1: 60. Hapellisissa olosuhteissa pohjan ja sen läheisen vesikerroksen vapaa fosfori sitoutuu siten tehokkaasti mineraaliseksi alumiini- tai rautafosfaatiksi. Mikäli raudan ja fosforin suhde sedimentissä on alle 15, fosforinpidätyskyky alkaa heikentyä hapellisissakin olosuhteissa (Jensen ym. 1992).



**Kuva 9.** Vuohojärven veden kokonaisfosforipitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu syvännäytetepisteen pinta- ja pohjakerroksessa vuosina 2000–2011. Talvi= 15.12.–28.4. Alkukesä= 15.5.–30.6., Loppukesä= 1.7.–10.9.

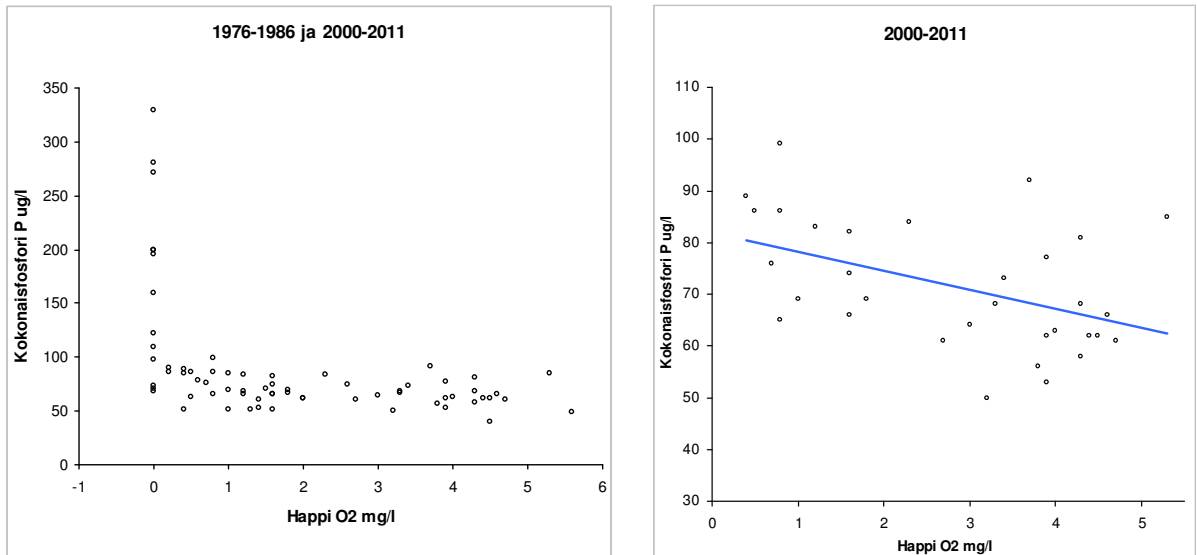
## 6.1. HAPEN PUUTE

Hapellisissa olosuhteissa fosfori sitoutuu järven pohjasedimenttiin happea sisältäviksi rauta- ja alumiinifosfaateiksi. Vapaan hapen mennessä vähiin tai loppuessa mineraalien happivarastot purkautuvat ja samalla vapautuu myös fosforia. Koska pohjasedimentissä on yleensä runsaasti fosforia järven veteen nähden, voi hapen puute aiheuttaa merkittävää sisäkuormitusta.

### 6.1.1 Talviaikainen kuormitus

Hapen talviaikainen puute aiheuttaa Vuohojärven syvänteessä fosforin vapautumista veteen (kuva 10). Selkeä kuormituksen hyppäys tapahtuu kuitenkin vasta hapen loppuessa kokonaan. Tällöin pohjan läheisen veden fosforipitoisuus voi nousta yli viisinkertaiseksi heikkohappiseen tilanteeseenkin verrattuna. Syvänteen täydellistä hapettomuutta ei ole 2000-luvulla enää havaittu. Pohjakerroksen fosforipitoisuus näyttäisi kuitenkin nousevan noin 20–30 %, kun happi laskee alle 3 mg/l pitoisuuteen.

Pohjan happipitoisuuden ja väli- (5 m) tai pintaveden (1 m) fosforipitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ole havaittavissa yhteyttä (korrelaatiokerroimet  $\approx 0$ ,  $p \approx 1$ ). Syvänteen ravinteet eivät siis näytä leviävän muihin vesikerroksiin tai syvänteen ulkopuolelle jääpeitteisen kauden aikana. Kevättäyskierron hapettaessa veden liuennut fosfori sedimentoituu tehokkaasti takaisin rauta- ja alumiinifosfaateiksi ja järven vesi on tuolloin kauttaaltaan vähäravinteisimmillaan (kuva 9). Talviaikaisella sisäkuormituksella ei siis ole suoraa yhteyttä kesän ravinne- ja levätilanteeseen.



**Kuva 10.** Syvänteen pohjakerroksen (8-10 m) talviaikaisen happi- ja fosforipitoisuuden suhde vuosien 1976–86 ja 2000–11 yhdistetyssä aineistossa (vasen kuva) sekä vuosien 2000–11 aineistossa (oikea kuva).

### 6.1.2 Kesäaikainen kuormitus

Järven lämpötilakerrostumisen seurauksena hapekkaan pintaveden kierto järven pohjaan voi kesäaikaankin estyä joko kokonaan tai vaihtelevan pituisiksi ajoiksi ja aiheuttaa hapettomuudesta johtuvaa sisäistä kuormitusta. Tuulet voivat purkaa kerrostuneisuuden sitä tehokkaammin, mitä laakeampi ja avoimempi järvi on. Loppukesän pintavesikerroksen paksuus voidaan ennustaa Patalaksen (1961) kaavalla

$$E=4,4x\sqrt{(D)}, \text{ missä}$$

E=sekoittuvan päällysveden paksuus m, ja

D= tehoisan järvenselän pituus km =(maksimi esteetön pituus + maksimi esteetön leveys)/2

Kaavan mukaan Vuohojärvi sekoittuu tehokkaasti noin 6 metrin syvyyteen saakka ( $D \approx (3 \times 1) / 2 = 1.5$ ). Vuosien 1970–2011 syväneaineistossa Vuohojärven kesäaikainen touko-

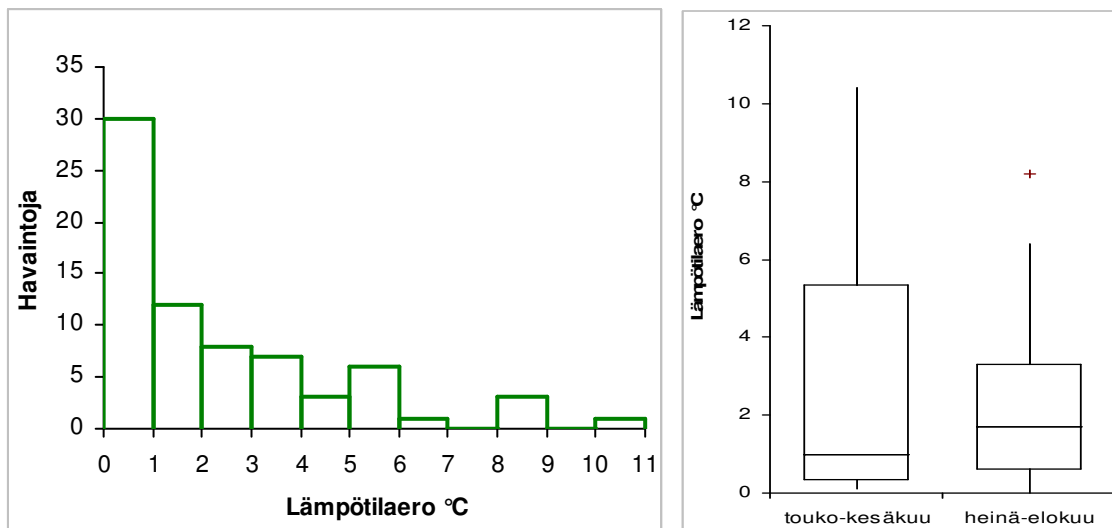


elokuun lämpötilaero 1 ja 5 metrin syvyydessä on ollut 98 prosentissa havainnoista alle yhden asteen (mediaani 0.4 °C, n=29). Kaavalla laskettu ennuste pitänee siten hyvin paikkansa ja kerrostunutta viileämpää vettä esiintyy vain pienialaisten syvänteiden pohjilla. Vuotojärven pohjakerros lämpenee kesäisin ja koko vesipatsaan kerrostuneisuus on pääosin heikko. Lämpötilaero pintaan jää tyypillisesti muutama asteeseen ja loppukesällä vahvan lämpötilakerrostuneisuuden esiintyminen on epätodennäköisempää kuin alkukesällä (kuva 11). Syvänteen happitilanne onkin loppukesällä selvästi talviaikaista parempi ja pääosan ajasta (noin 75 % havainnoista) happipitoisuus on hyvä tai tyydyttävä eli yli 3 mg/l (kuva 12). Loppukesän 2012 viikkoseurannassa järven kahdesta syvänteestä pienempi ja matalampi Kirkkosyvä pysyi pääosin kerrostumattomana ja hyvähappisena (kuva 13). Pääsyvänteen kerrostui niin ikään hyvin heikosti, mutta tästä huolimatta elokuun kolmella ensimmäisellä viikolla pohjan lähellä hapen kyllästys kävi 40–50 prosentissa ja pitoisuus 3.6–5.3 mg/l:ssa.

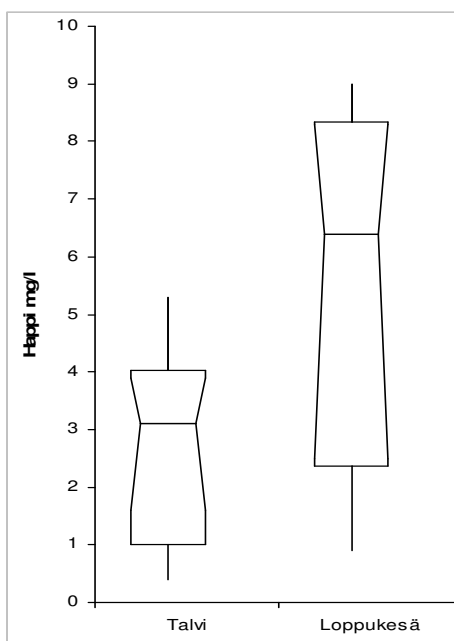
Heinäkuun 2008 lopulla tehtyjen sedimenttianalyyseiden perusteella Vuotojärven pohja sitoi fosforia myös syvänteen alueella, vaikka sedimentin pinnan hapenkulutus olikin runsasta (Lakso 2008). Kyseisen kesän vesianalyyseistä päätellen syvänteen oli tutkimuksen aikana hyvähappinen tason ollessa ehkä 5-7 mg/l (Hertta ympäristötietokanta). Vähähappisimpina hetkinä, samaan tapaan kuin talvellakin, pohjakerroksen fosforipitoisuus näyttäisi nousevan noin 20–30 %, kun happi laskee alle 3 mg/l pitoisuuksiin (kuva 14).

Kesälläkin pohjan happipitoisuuden ja pinta- tai väliveden fosforipitoisuuksien välillä ei ole havaittavissa korrelaatiota. Toisin kuin talvella, kesäaikainen korreloimattomuus ei kuitenkaan osoita, että syvänteen fosforin leviämistä pintaveden ei tapahtuisi. Vuotojärvi on epämääräisesti ja heikosti kerrostuva järvi, jossa kesäkerrostuneisuus voi syntyä ja purkautua useaan otteeseen (katso Lappalainen ja Lakso 2005). Tällaisissa järvissä hapettomuuden aiheuttama sisäkuormitus näkyy fosforin pulssimaisina nousuina ja laskuina avovesikaudella ja pitoisuus voi olla suurimmillaan syystäyskierron aikana (Saarijärvi ja Sammalkorpi 2005). Tyyntinä ja kerrostuneina jaksoina ylimääräistä fosforia kertyy pohjalle, mistä se leviää tuottamaan pintakerrokseen tuulten rikkoessa kerrostuneisuuden. Näin siis sekä pohjan happipitoisuus että pintaveden fosforipitoisuus voivat satunnaisina näytepäivinä olla suuria, vaikka pohjan hapettomuus olisikin ravinnepitoisuuden syynä. Sään taas tyyntyessä ja lämmitessä tämä lyhytaikainen fosforilähde poistuu ja pintaveden fosfori alkaa laskea. Vuotojärven pintaveden fosfori osoittaa kuitenkin varsin säännönmukaista nousua veden lämpötilan mukaan toukokuusta elokuulle ja syystäyskierron aikaan syyskuussa pitoisuus alkaa laskea (kuva 15). Lisäksi, koska lämpötilakerrostuneisuus on järven todennäköisempää alku- kuin loppukesästä (kuva 11), hapettomuuden jälkeisten ravinnepulssien tulisi ehkä ennemminkin tasoittaa alku- ja loppukesän ravinteisuuseroja. Vähähappisuudesta kärsivän yli 6 m syvän veden tilavuus on Vuotojärven pintavedestä vain noin 5,6 % koko järven tilavuudesta. Syvänteestä tuleva fosforipulssi ei siten voine teoriassakaan merkittävästi nostaa pintaveden fosforia. Mikäli syvänteen fosforipitoisuus olisi sekoittumishetkellä 90 µg/l (kuva 14) ja pintaveden 55 µg/l, voisi pintaveden pitoisuus nousta täydellisessä sekoittumisessa vain kaksi mikrogrammaa eli 3,6 %. Syvänteen alueella, joka on pinta-alaltaan 6 % koko järvestä, hetkellinen ravinnenousu pintavedessä olisi todellisuudessa toki suurempaa luokkaa.

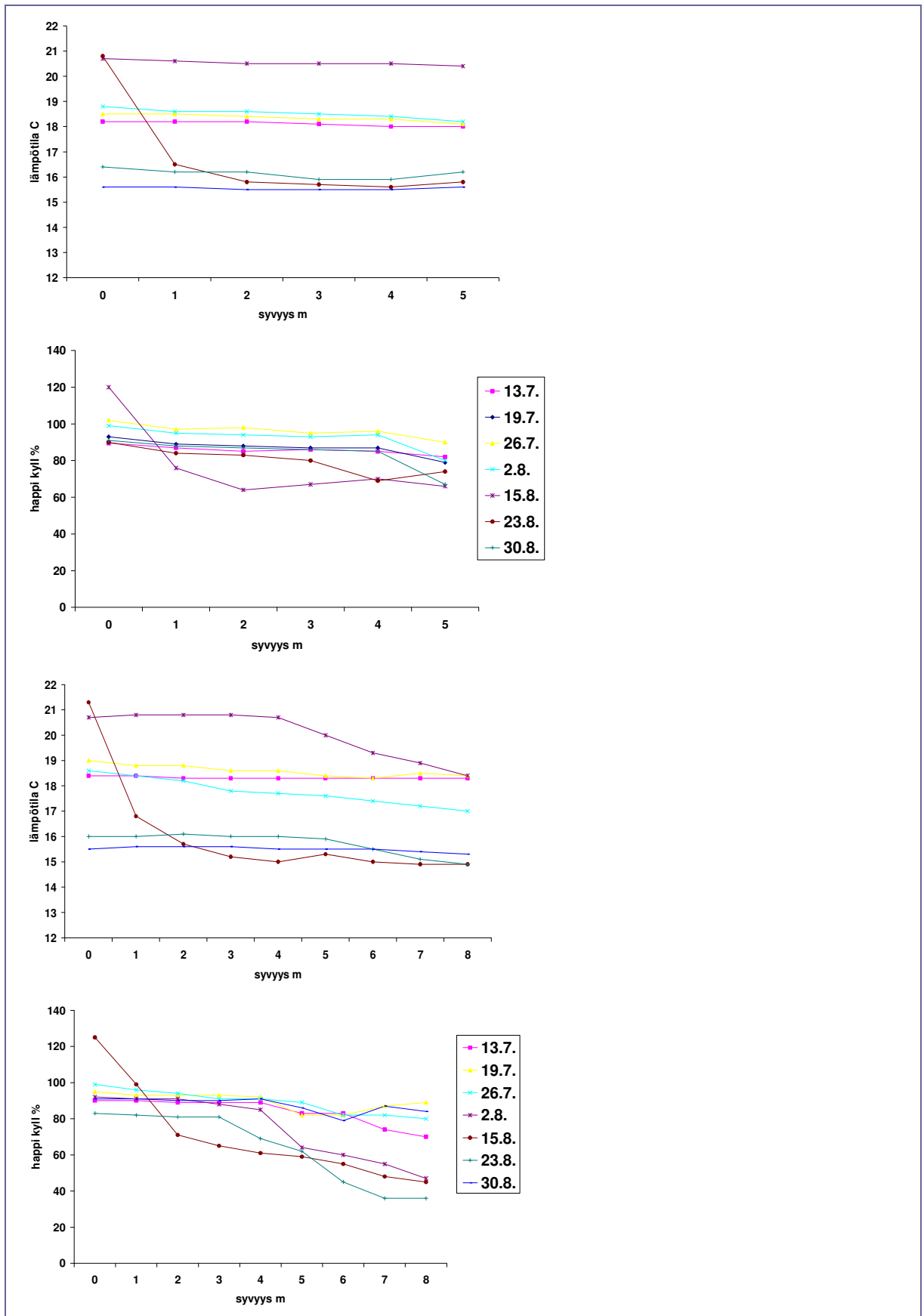
Yllä mainitun perusteella on epätodennäköistä, että Vuotojärven kasvukaudenaikainen sisäkuormitus olisi merkittävässä määrin hapettomuuden aiheuttamaa.



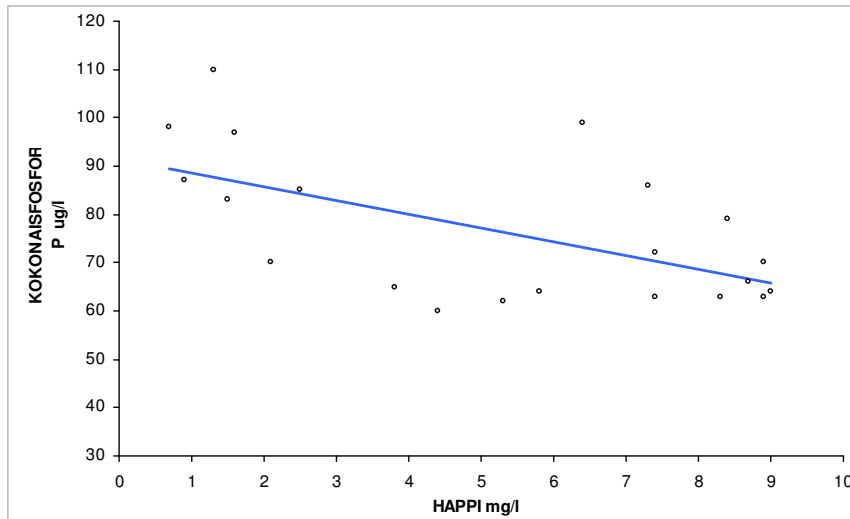
**Kuva 11.** Vuotojärven syvänteen pinta- ja pohjakerroksen lämpötilaerojen (1m vs 9-11m) jakauma yhdistetyssä touko-elokuun aineistossa (vasen kuva) sekä erikseen alku- ja loppukesällä (oikea kuva) vuosina 1970–2011.



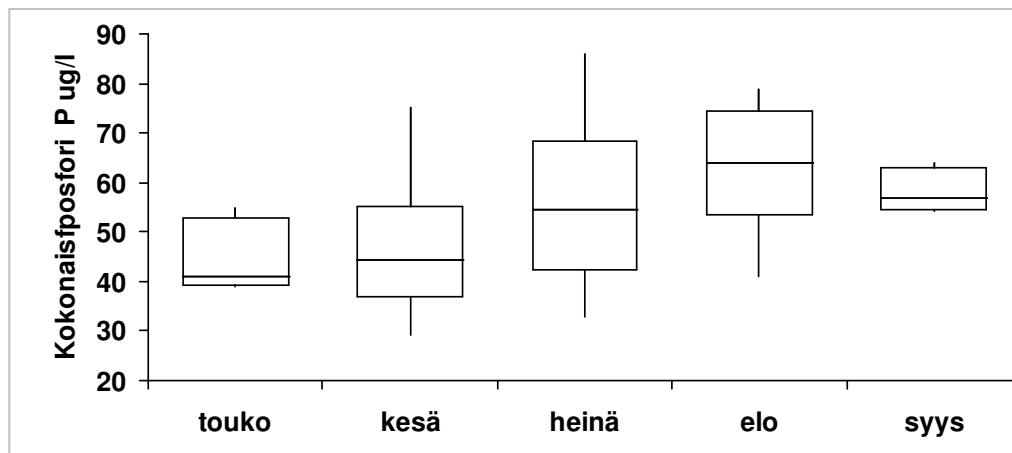
**Kuva 12.** Vuotojärven syvänteen pohjakerroksen (9-11 m) happipitoisuus talvella ja loppukesällä vuosina 2000–2011. Talvi= 15.12.–28.4. Loppukesä= 1.7.–10.9.



**Kuva 13.** Vuohojärven Kirkkosyväen (ylemmät kuvat) ja syvänteen (alemmat kuvat) lämpötila- ja happikerrostuneisuus 13.7.–30.8.2012.



**Kuva 14.** Syvänteen pohjakerroksen (9-10 m) happi- ja fosforipitoisuuden suhde loppukesällä (1.7.–10.9) vuosina 2000–11.



**Kuva 15.** Vuohojärven syvänteen pintaveden (1m) kokonaisfosforipitoisuuden kuukausivaihtelu toukokuusta syyskuuhun vuosina 1970–2009 (Herta ympäristötietokanta)

## 6.2. SÄRKIKALASTO

Särkikalat käyttävät ravinnokseen järvien pohjaeläimiä ja eläinplanktonia ja voivat aiheuttaa sisäkuormitusta usealla eri mekanismilla.

Pohjaeläimiä etsiessään ja syödessään kalat pölyttävät pohjamutua aiheuttaen suoraa sedimentin ravinteiden sekoittumista veteen. Kasvun kannalta on lisäksi edullista hakeutua sulattamaan ruokaa lämpimään pinta- tai väliveteen, jolloin ravinteet kiertävät pohjalta pintaan myös ulosteiden kautta. Tämä kalojen **bioturbaation** aiheuttama sisäkuormitus näkyy fosforipitoisuuden nousuna loppukesää kohden, koska vaihtolämpöisten särkikalojen aktiivisuus ja ravinnonkulutus seuraa veden lämpötilaa.

Särkikalojen poikasikäluokat ja osin vanhemmatkin yksilöt syövät eläinplanktonia, joka puolestaan kuluttaa ravinnokseen kasviplanktonia. Suuri kalamäärä voi kuluttaa etenkin suurikokoisen eläinplanktonin vähiin ja edesauttaa näin kasviplanktonin eli levien runsastumista. Kesän aikana tämä **ravintoketjun vinoutuminen** näkyy esimerkiksi veden

suurena a-klorofylli pitoisuutena suhteessa kokonaisfosforiin. Suhteeton levämassa voi edelleen aiheuttaa valottomassa pohjakerroksessa hajotessaan hapen vähyyttä ja sedimentin ravinteiden kiertoa veteen. Särkikalojen ohella eläinplanktonkannan voi romahduttaa myös runsas kuhan tai ahvenen poikasmäärä.

Kalasto-ongelmista kärsivissä järvissä lämpimän loppukesän fosforipitoisuus on usein kaksin-kolminkertainen alkukesän lukemiin nähden ja klorofylli-fosfori suhde yli 0,4. (Sammalkorpi ja Horppila 2005).

### **6.2.1 Kalastorakenne koekalastusten perusteella**

Vuohtojärvi koekalastettiin Nordic-yleiskatsausverkoilla viikoilla 32–34 elokuussa 2012. Kalastus suoritettiin samalla menetelmällä ja pyyntiponnistuksella kuin järven vesienhoitosuunnitteluun joka viides vuosi sisällytetty koekalastus (järvikortti, Herta ympäristötietokanta). Ensimmäinen vastaava koekalastus oli tehty vuonna 2009 viikoilla 28 ja 31 (Aronsuu 2009).

Pyyntiponnistus oli 29 verkkoyötä. Järvi jaettiin 200x200 m ruutuihin, joista pinta-alojen suhteessa arvottiin 19 pyyntiruutua 0-3 metrin syvyysvyöhykkeelle ja 5 ruutua yli 3 metriä syvälle alueelle. Matalamman alueen ruuduissa pyydettiin vain yhdellä pohjaverkolla ja syvemmissä ruuduissa sekä pinta- että pohjaverkolla. Verkkojen laskun ja noston kokemisväli oli noin 12 tuntia. Saaliskalojen lukumäärä laskettiin ja ne punnittiin solmuvälikohtaisesti lajeittain. Joka neljänestä verkosta mitattiin myös särjen ja ahvenen kokojakaumat pituusluokittain.

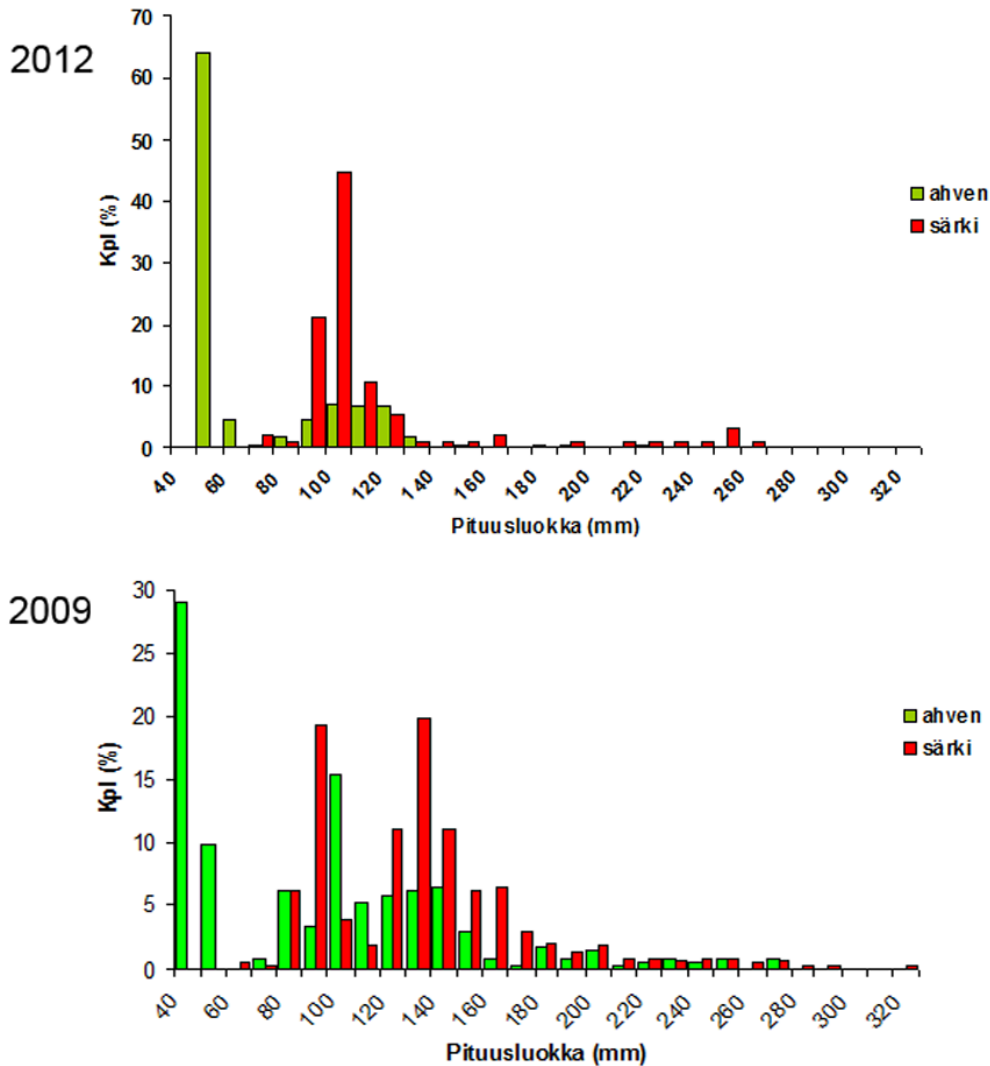
Koekalastuksen yksikkösaalis oli vuonna 2009 2838g/verkkovuorokausi ja nyt 1743 g/vvrk. (taulukko 5). Särkikalat muodostavat saaliin painosta 56–88 %. Särki on yleisin saalis, seuraavaksi yleisimmät lajit ovat järjestyksessä ahven, kuha ja lahna.

Kalasto-ongelmista kärsivissä järvissä Nordic -verkkojen yksikkösaalis on tyypillisesti yli 100 kpl ja 2 kg/verkko ja saaliista yli 60 % on särkikalaja (Sammalkorpi ja Horppila 2005). Vuohtojärven lukemat ovat näiden raja-arvojen tuntumassa tai yli. Koekalastusaineistojen perusteella laskettu Vuohtojärven tyyppisten humusjärvien keskimääräinen vertailu-arvo yksikkösaaliille olisi 35 kpl ja 995 g/vvrk ja särkikalojen osuus 50 % (järvikortti, Herta ympäristötietokanta). Järvessä siis on kalasto-ongelmaa, mutta ei kovin vakavaa. Esimerkiksi tunnetuissa ongelmajärvissä Tuusulanjärvessä ja Lahden Vesijärvessä koekalastusten yksikkösaaliit ovat tyypillisesti noin 3000–6000 g/vvrk (Horppila ym. 1995, Olin ja Ruuhijärvi 2004). Vetelin Räueringinjärvessä saalistaso nousi 1990 -luvulla jopa 10 kiloon/vvrk särkikalaaosuuden ollessa 85 % (Hautala 1999). Räueringinjärvessä kalat kuolivat 2000- luvun alussa hapen puutteeseen, minkä seurauksena vesi kirkastui ja ravinteisuusongelmat hävisivät pitkäksi aikaa. Räueringinjärven koekalastuksissa lahna muodosti 70 % särkikalojen painosta, vaikka lahnan (ja hauen) tiedetään yleisesti näkyvän huonosti koeverkoissa.

Sekä särjen että ahvenen keskikoko on järvessä nyt pienempi kuin vuonna 2009 (kuva 16). Kesällä 2012 järveen on syntynyt erityisen vahva ahvenikäluokka, joka muodosti oletettavasti vuotta tai kahta vanhempien särkien ja ahvenen kanssa (kokoluokat 90..130) pääosan koekalastussaaliista. Vuoden 2009 saaliissa havaittiin tasaisemmin myös vanhempia särki- ja ahvenikäluokkia sekä jo petokaloiksi luokiteltavia yli 15 cm kokoisia ahvenia.

**Taulukko 7.** Koeverkkokalastusten kokonais- ja yksikkösaaliit lajeittain vuosina 2009 ja 2012.

2012	Määrä		Massa		Yksikkösaalis		
	Laji	kpl	%	g	%	kpl/vvrk	g/vvrk
Ahven	1606	50,6	11269	22,3	55	389	
Kuha	26	0,8	7890	15,6	1	272	
Kiiski	139	4,4	548	1,1	5	19	
Hauki	5	0,2	2163	4,3	0	75	
Kuore	18	0,6	71	0,1	1	2	
Siika	1	0,0	253	0,5	0	9	
Särki	1249	39,4	23935	47,4	43	825	
Salakka	20	0,6	352	0,7	1	12	
Lahna	107	3,4	4059	8,0	4	140	
Yhteensä	3171		50540		109	1743	
	Särkikalat	43,4	Särkikalat	56,1	Särkikalat	977	
2009	Laji	kpl	%	g	%	kpl/vvrk	g/vvrk
Ahven	891	28,1	17867	35,4	31	616	
Kuha	42	1,3	11830	23,4	1	408	
Kiiski	133	4,2	730	1,4	5	25	
Hauki	3	0,1	3990	7,9	0	138	
Kuore	696	21,9	2054	4,1	24	71	
Siika	8	0,3	1563	3,1	0	54	
Särki	1450	45,7	32355	64,0	50	1116	
Salakka	580	18,3	3502	6,9	20	121	
Lahna	94	3,0	8417	16,7	3	290	
Yhteensä	3897		82308		134	2838	
	Särkikalat	67,0	Särkikalat	87,6	Särkikalat	1527	

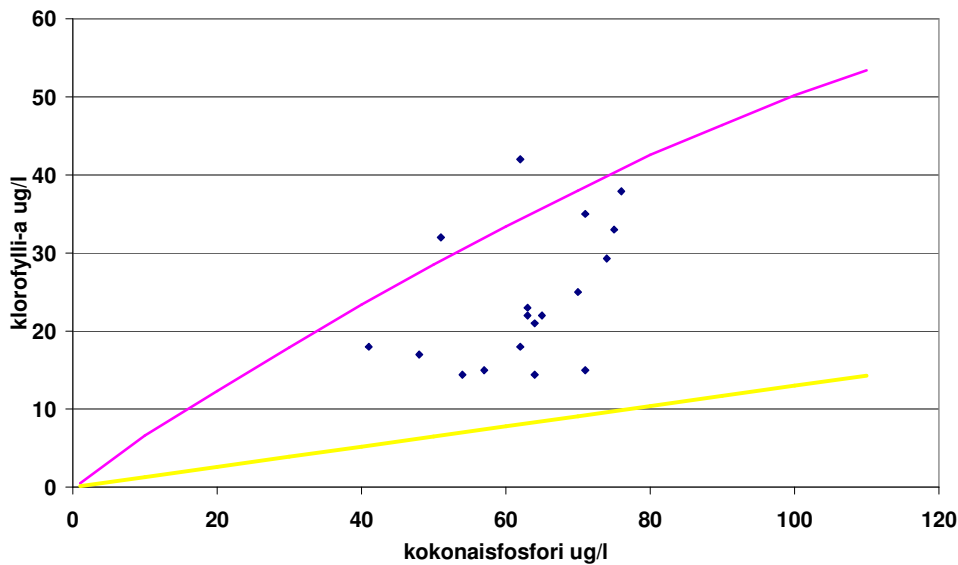


**Kuva 16.** Ahvenen ja särjen pituusluokkajakaumat (%) Vuohojärvellä vuosien 2009 ja 2012 koeverkkokalastuksissa.

### 6.2.2 Kalastorakenne veden laadun perusteella

Vuohojärven veden fosforipitoisuus nousee tasaisesti veden lämpötilan mukana, pitoisuus on suurimmillaan elokuussa ja tämän jälkeen pitoisuus taas alenee veden viiletessä (kuva 15). Tämän kaltainen tasainen vuodenaikaiskehitys on tyypillistä kalaston aiheuttamalle sisäkuormitukselle (Saarijärvi ja Sammalkorpi 2005). Fosforipitoisuuden nousu alkukesästä on kuitenkin vain 20–50 % eli selvästi vähemmän kuin merkittävästä kalasto-ongelmasta kärsiville järville tyypillinen nousu 2-3 kertaiseksi.

Loppukesän klorofylli-fosfori -suhde on Vuohojärven viimeisen vuosikymmenen näytteissä ollut vaihtelevasti joko keskimääräinen tai korkea (kuva 17). Suhde ei siis kerro pysyväisluonteisesta ravintoketjuongelmasta. Kalojen vaikutus eläinplanktonkantaan voi joinakin vuosina nousta normaalia korkeammaksi esimerkiksi kyseisenä kesänä syntyneen voimakkaan ahvenen, särjen tai kuhan poikasikaluokan seurauksena. Kesällä 2012 Vuohojärven näyttäisi syntyneen erityisen vahva ahvenikaluuokka (kuva 16) ja samanaikaisesti syvänteen pintaveden klorofylli-fosfori suhde on ollut heinäkuun lopun näytteessä vuosikymmenen korkeimpia eli 0.63 (32:51)



**Kuva 17.** Kokonaisfosforin ja levätuotannon (a-klorofyllin) suhde Vuoltojärven syvännenäytepisteen pintavedessä vuosina 2000–2011 (n=32). Viivoilla on osoitettu suhdeluvun keskihajonnan väli Pohjoismaisessa järviaineistossa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

- Talviaikaisen hapetuksen kustannus-hyötysuhde on nykytilanteessa heikko.
- Myös kesäaikaisen hapetuksen hyödyt jäävät vähäisiksi ja rajoittuvat laitteiden läheisyyteen.
- Loppukesällä sisäisen kuormituksen osuus kokonaiskuormituksesta on 20–50 %.
- Ravinnepitoisuuden kehitysrytmin perusteella sisäinen kuormitus on särkikalaston aiheuttamaa.
- Aiempaa selvästi tehokkaammalla poistokalastuksella voitaneen laskea loppukesän fosforipitoisuutta vähintään 20 %. Leväbiomassaan vaikutus on epävarmempi.
- Kalastuksenkin kustannus-hyötysuhde on heikohko.
- Vuoltojärven tilan parantamiseksi on ensisijaisesti vähennettävä ulkoista kuormitusta.

Vuoltojärven veden laadun sanelee ensisijaisesti sen valuma-alue. Ulkoinen kuormitus on lähellä kriittistä tasoa. Merkittävä osuus ulkoisesta kuormituksesta tulee maatalouden kuormituksesta. Toisaalta peltojen kuormitus on vähentynyt viimeisen vuosikymmen aikana merkittävästi lannoitteiden ja viljelykäytäntöjen muuttuessa. Kuitenkin esimerkiksi maatalouden valumavesikosteikkoja alueella on vähän. Sisäisen kuormituksen osuus järven loppukesän ravinnepitoisuudesta vaihtelee välillä 20–50 %. Mikäli järven tilaa halutaan parantaa, on ensisijaisesti puututtava ulkoiseen kuormitukseen. Tämän jälkeen myös järven sisäisen hoidon vaikuttavuus ja taloudellisuus paranisivat nykyisestä.

Vuoltojärven talviaikainen happitilanne on parantunut kolmen viimeisen vuosikymmenen aikana. Syynä lienee ensisijaisesti säännöstelykäytännön muuttuminen ja mahdollisesti myös orgaanisen kuormituksen vähentyminen. Talviaikainen syvänteen vähähappisuus ei uhkaa kalaston säilymistä, eikä sillä ole suoraa yhteyttä kesän ravinne- ja levätilanteeseen. Talviaikaisen hapetuksen kustannus-hyötysuhde olisi Vuoltojärven nykytilanteessa heikko.



Kesäaikaan Vuohtojärvi on pääosin kerrostumaton ja väliaikaista kerrostumista tapahtuu lähinnä vain syvänteellä 6 -10 metrin syvyydellä. Tämä syvyysvyöhyke kattaa vain 6 % järven pinta-alasta. Kerrostumattominakin aikoina ravinteisuuden synnyttämä planktonbiomassa ja pohjan orgaaninen aines kuluttavat korkeassa lämpötilassa hajotessaan nopeasti syvänteen pohjan happivarastoja. Pitoisuus vähenee ajoittain alle 3 mg/l, jolloin pohjakerroksen ravinnepitoisuus nousee 20–30 %. Pohjan ajoittainen vähähappisuus ei kuitenkaan näytä oleellisesti vaikuttavan pintaveden fosforipitoisuuteen. Koska tehokkaimmilla hapetusmenetelmillä pyritään juuri lämpötilakerrostuneisuuden rikkomiseen ja luontaisen tuulille alttiin kiertoherkkyyden lisäämiseen vesipatsaassa, ei näillä menetelmillä voida oleellisesti parantaa Vuohtojärven kesäaikaista nykytilaa. Hapetus kierrättäisi vettä ja lisäisi happea laitteen läheisyydessä, mutta laajempi vaikutus jäisi todennäköisesti vähäiseksi. Toisaalta Vuohtojärvessä kesäaikaisella hapetuksella voidaan huoletta rikkoa kerrostuneisuus ilman pelkoa pohjan lämpenemisestä aiheutuvista riskeistä kuten metaanikuplunnasta.

Pintaveden fosforipitoisuuden tasainen ja lämpötilan mukana tapahtuva nousu ja lasku avovesikaudella on ominaista kalaston aiheuttamalle sisäkuormitukselle. Vuohtojärven särkikalasto on suhteelliselta ja absoluuttiselta biomassaltaan jonkin verran yli tason, jonka jälkeen kalaston aiheuttama sisäkuormitus yleensä alkaa nousta merkitykselliseksi. Tehokkaalla särkikalaston poistolla on pienissä järvissä saatu fosforipitoisuus laskemaan esimerkiksi puoleen ja tasolle, jonka laskennallisesti pitäisi olla seurausta ulkoisesta kuormituksesta (esim. Halmeenpää ym. 2005). Vuohtojärvi ja Reisjärvi ovat kalastoltaan käytännössä samaa allasta. Vuohtojärveen kalaa nousee keväällä kutemaan ja Reisjärveen kalaa laskeutuu talvehtimaan. Kokonaisuuden pinta-ala on 1100 hehtaaria ja tehokas kalastus vaatisi 130 000 särkikalakilon poistoa vuoden ja noin 200 000 kilon poistoa kahden vuoden aikana. Näin voimakkaan kalastuksen vuosikustannus olisi noin 100 000 euroa. Lisäksi saaliskalan jatkokäsittely aiheuttaisi noin 30 000 euron kustannukset. Kalastuksella voitaisiin leikata loppukesän fosforipitoisuutta enintään sisäkuormituslisän verran eli todennäköisimmin 20–30 % ja enimmillään 50 %. Järvessä havaitun suuren a-klorofylli – fosforisuhteen vaihtelun vuoksi vaikutus leväbiomassaan olisi epävarmempi.

## **Kirjallisuus**

- Aakkula, J., Manninen, T. ja Nurro, M. 2010. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3) – Väliraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja. Helsinki. 145 s.
- Aronsuu K 2012. Reis- Vuolto- ja Kiljanjärven koekalastus 2009 – perustulokset. Kirjallinen tiedonanto.
- Eloranta P 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. - Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus.
- Finer, L., Mattson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Lauren, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiahho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S. ja Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2006.
- Halonen, A. ja Heikkinen, K. 1997. Siuruanjoki kuntoon yhteistyöhanke. Kuormitusselvitys ja toimintaohjelma. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. 47 s.
- Hautala A 1999. Reisjärven järvien ravintoketjukurkunnostus hoitokalastamalla; perusteet ja hankesuunnitelma. Raportti 32 s, Tmi Arto Hautala.
- Horppila J ym. 1995. Kalastotutkimukset. -Julkaisussa I Sammalkorpi ym. (toim.) 1995: Vesijärvi- ja järvi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja A 218
- Jensen HS, Kristensen P, Jeppesen E & Skytthe A 1992. Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphorus release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235-236: 731-743.
- Jeppesen E ja Sammalkorpi I 2002. Lakes. Julkaisussa: AJ Davy & MR Perrow (toim.). Handbook of ecological restoration. Vol. II. Restoration in practice. Cambridge University Press: 297-324.
- Kansanen, P. 1992. Tuusulanjärven sedimentin kunto ja kunnostusmahdollisuudet. Raportti 87 s. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto.
- Kauppila, R. 2010. Nurmen fosforilannoitukseen tarvitaan uusia menetelmiä. Yara Suomen lehti maatalouden ammattilaisille. 3/10.
- Lakso E 2008. Reis- Vuolto- ja Kiljanjärven kunnostus. Raportti 17 s, Lakson Vesi Oy.
- Lappalainen KM ja Lakso E 2005. Järven hapetus. Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus.
- Lehtola, S. 1999. Satelliittikuvat Siuruanjoen hajakuormituksen arvioinnissa. Pro gradu-tutkielma. Maantieteen laitos. Oulun Yliopisto. 88 s.

Liminganlahden vesistöalueen vesiensuojelusuunnitelma. 1995. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A, 211. Vesi- ja ympäristöhallitus. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri. Helsinki. 128 s.

Mikkola M ja Pakkala J (toim) 1997. Keski-Pohjanmaan vesistöjen tila ja vesiensuojelun kehittämissuunnitelma. –Alueelliset ympäristöjulkaisut 27. Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus.

Metsä- ja turvetalouden vesiensuojelutoimikunnan mietintö. 1988. Maa- ja metsätalousministeriö, komiteamietintö 1987:62.

Olin M ja Ruuhijärvi J (toim) 2004. Tuusulanjärven ja Rusutjärven ravintoketjukurannostuksen kalatutkimuksia vuosina 2000 – 2003. Kala- ja riistaraportteja 324. RKTL.

Patalas K 1961. Wind- und morphologiebedingte Wasserbewegungstypen als bestimmender Faktor für die Intensität des Stoffkreislaufes in nordpolnischen Seen. Verh. Int. Verein. Limnol. 14: 59–83.

Pietiläinen O-P (toim.) 2008. Yhdyskuntien typpikuormitus ja pintavesien tila. Suomen ympäristö 46. Suomen ympäristökeskus.

Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. Maankäytön ominaisluoja. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12529&lan=fi>. Päivitetty 20.6.2011.

Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E. (toim.) 1992: Maatalous ja vesien tila. MAVERON loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö, Luonnonvarainneuvosto. Luonnonvarajulkaisuja 15. Helsinki. 61 s.

Rontu, M. & Santala, E. (toim.) 1995: Haja-asutuksen jätevesien käsittely. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 584.

Saarijärvi E ja Sammalkorpi I 2005. Kunnostustarpeen määrittäminen. Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus.

Sammalkorpi I ja Horppila J 2005. Ravintoketjukurannostus. Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus.

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2008; Ekologisen tilan ja virkistyskäytön parantamismahdollisuudet Pohjois-Pohjanamaan ympäristökeskuksen säännöstelemissä järvissä