

## **Littoistenjärven ekologinen tila 2015 ja toimenpiteet hyvän tilan saavuttamiseksi**

**Lausunto 24.5.2016**

**Jouko Sarvala, emeritusprofessori**

**Biologian laitos, Turun yliopisto**

Kaarinan ja Liedon rajalla sijaitseva 150 hehtaarin suuruinen Littoistenjärvi on ympäristön asukkaille tärkeä luontokohde. Järvi toimi 1970-luvun alusta vuoden 1998 loppuun saakka Kaarinan ja Liedon vedenottovesistönä, ja vedenoton päätyttyä sen merkitys alueen asukkaiden tärkeänä virkistysalueena on vain korostunut. Littoistenjärven tilassa on viime vuosikymmeninä tapahtunut jyrkkiä muutoksia, jotka ovat haitanneet kesäistä virkistyskäyttöä ja aiheuttaneet huolta sekä lähiympäristön asukkaissa että kuntien hallinnossa.

### *Littoistenjärven tilan kehitys*

Kurouduttuaan merestä noin 5600 vuotta sitten Littoistenjärvi oli aluksi rehevä, mutta karuuntui vähitellen. Nykyaikaa lähestyttäessä järvi rehevöityi uudelleen, ja 1900-luvun alusta 1980-luvulle saakka Littoistenjärvi oli melko rehevä, mutta suhteellisen hyväkuntoinen vesistö. Talvisen jääpeitteen alla syntyi happivajausta, mutta laajaa hapettomuutta ei ilmeisesti esiintynyt. Veden fosforipitoisuus oli rehevien järvien tasolla, ja pieniä kalakuolemia havaittiin satunnaisesti. Kesän hellejaksoilla esiintyi 2–3 viikon mittaisia sinileväkukintoja, jotka näkyivät vesilaitoksen päivittäisissä pH-mittauksissa selvinä huippuina.

1980-luvulta lähtien Littoistenjärven veden laadussa on nähty poikkeuksellista heilahtelua. Muutosten syyt ovat vuosien varrella vaihtuneet. Littoistenjärven säännöstely-yhtiön ja Littoistenjärvityöryhmän, vuodesta 2006 alkaen Littoistenjärven neuvottelukunnan, toimeksiannosta toteutettu perusteellinen ekologinen seuranta antaa monipuolisen kuvan järven tilasta ja kehityksestä viime vuosikymmeninä.

Vedenoton vielä jatkuessa 1980- ja 1990-luvulla suurin ongelma oli uposkasvien, etenkin vesiruton (*Elodea canadensis*) ja karvalehden (*Ceratophyllum demersum*), liiallinen kasvu. Tästä seurannut veden pH:n nousu aiheutti kasvillisuuden huippuvuosina fosforin liukenemista pohjasta ja syanobakteerikukintoja, ja tiheät kasvustot sinällään haittasivat virkistyskäyttöä. Lisäksi uposkasvien kannanromahdusten yhteydessä 5–6 vuoden välein fosforitaso nousi ja syntyi kasviplanktonin massaesiintymiä, jotka samensivat veden. Vesiruton paljous aiheutti myös happivajetta jään alla talvella. Happikato vältettiin ilmastuksella, mutta tämä toisaalta helpotti vesiruton talvehtimistä ja kärjisti uposkasviongelmaa. Vesiruttokasvustojen romahtaessa 1987, 1992 ja 1999 veden fosforitaso oli yhden kesän ajan korkea ja veden laatu heikko. Välivuosina vesi oli kuitenkin kirkasta ja ravinteita vedessä vähän. 1990-luvulla vesiruttoa poistettiin useina vuosina mekaanisesti 306–700 tonnia. Tästä kokeilusta luovuttiin, kun selvisi että poisto kiihdytti jäljelle jäävien kasvien kasvua.

Uposkasviongelmaasta päästiin vedenoton päätyttyä vuoden 1998 lopulla. Talven 1998–1999 happikato romahdutti vesiruton, joka on siitä lähtien pysynyt niukkana, kun keskivedenkorkeus nousi ja vesi jäi sameaksi. Jääpeitteisenä kautena pohjan lähelle syntyi kuitenkin happivajetta, joka huononsi sedimentin kuntoa. Täydellinen happikato torjuttiin aluksi vanhalla Listeman ilmastinlaitteella, ja sen rikkouduttua yksinkertaisella virtauskehittimellä ja suihkuttamalla vettä ilmaan. Kokonaisuutena Littoistenjärven tilanne näytti uuden vuosituhannen alussa varsin lupaavalta: uposkasvit olivat vähissä ja veden laatu kohtuullisen hyvä, vaikka hellejaksoihin liittyvät sinileväkukinnat olivatkin erityisen voimakkaita kesinä 2001 ja 2002.

Vuosien 2003-2007 aikana veden laatu kuitenkin heikentyi jyrkästi. Fosforitaso ja levämäärät nousivat kesän aikana lämpötiloista riippumatta ylirehevien järvien tasolle saakka. Muutoksen aiheuttajaksi ajateltiin vahvistunutta kalakantaa, etenkin lahnoja. Kalakanta oli huipussaan juuri vuonna 2007, ja kun kalasto alkoi vähentyä, osaksi luonnollisista syistä, osaksi talvinuottauksen ansiosta, veden laatu parani lupaavasti vuonna 2009. Muutos jäi kuitenkin tilapäiseksi, ja vuosina 2010 - 2015 Littoistenjärven tila on ollut huonompi kuin kertaakaan seurantahistoriansa aikana.

### *Littoistenjärven ekologinen tila 2015*

Suomen vesiensuojelun suuntaviivat määrittelee EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY ja siihen liittyvät kansalliset lait ja asetukset. Suomen järvien direktiivin mukaisessa tyypittelyssä Littoistenjärvi kuuluu ”matalien, vähähumuksisten järvien (MVh)” pintavesityyppiin, jonka vertailuarvoja käytetään Littoistenjärven ekologisen tilan arviointiin. Ensimmäinen luokittelu tehtiin 2009 ja toinen luokittelu vuonna 2013. Mm. sääoloista johtuvan vuotuisen heilahtelun vuoksi järven kunnan luotettava arviointi on mahdollista vain usean vuoden seuranta-aineistoista. Vuoden 2013 viranomaisluokittelu perustui vuosien 2006-2012 havaintoaineistoihin, ja siinä Littoistenjärven ekologiseksi tilaksi arvioitiin välttävä. Biologinen tila oli välttävä. Fysikaalis-kemiallinen tila oli huono korkeiden ravinne- ja klorofyllipitoisuuksien takia. Lisäksi esiintyi ajoittaisia happiongelmia. Hydrologis-morfologinen luokitus oli tyydyttävä, joskin tässä heikon luokan perusteet ovat epäselvät. Tiedot ahventen elohopeapitoisuudesta puuttuvat, ja siksi kemiallinen tila on määritelty järvytyypin yleisen riskin perusteella hyvää huonommaksi. Littoistenjärven neuvottelukunnan toimeksiannosta toteutettu laajempi seuranta vahvistaa viranomaisarviot ekologisesta tilasta.

Littoistenjärven ekologinen tila vuonna 2015 oli siis kaukana vesipuitedirektiivin mukaisesta hyvästä tasosta, joka on tavoitteena viranomaisten toimenpideohjelmassa. Ohjelman mukaan tavoite edellyttäisi kokonaisfosforitason laskua alle  $25 \text{ mg/m}^3$ :n ja klorofyllin laskua alle  $8 \text{ mg/m}^3$ :n. Fosforikuormitus pitäisi siksi vähintään puolittaa ja typpikuormitusta vähentää 30-50 %. Littoistenjärven tapauksessa ulkoinen kuormitus ei kuitenkaan ole järven nykyisen huonon tilan syy, vaan ongelmat aiheutuvat voimakkaasta sisäisestä kuormituksesta. Sitä paitsi Littoistenjärven ulkoinen kuormitus on jo pienentynyt tuntuvasti, kun Järvelän kosteikon ylivuotovedet on johdettu pois järvestä. Lisävähennyksiin ei siten ole välitöntä tarvetta.

Matalille järville on tyypillistä heilahtelu kahden vaihtoehdoisen tasapainotilan välillä: ne ovat joko kirkasvetisiä, kun uposkasveja on runsaasti, tai sitten ne ovat kasviplanktonvaltaisia ja sameita, kun uposkasveja on vähän. Sameassa vaiheessa sisäinen ravinnekuormitus pitää ravintetason korkeana, ja sameus estää uposkasvien kasvua. Uposkasvivaltaisessa vaiheessa uposkasvit puolestaan hillitsevät tehokkaasti kasviplanktonin runsastumista silloinkin, kun vedessä on ravinteita runsaasti. Seurantatulosten perusteella on ilmeistä, että Littoistenjärvi on noin vuodesta 2006 alkaen asettunut kasviplanktonin vallitsemaan tasapainotilaan, jossa järven ekologinen tila on huono tai korkeintaan välttävä. Littoistenjärven tila heilahteli huonon ja erinomaisen välillä myös vuosina 1985-1999, mutta silloin tila määräytyi jaksoittain vesiruton kannanvaihtelurytmin mukaan, ja ääripäissäkään ei ollut kyse tasapainotilasta. Syytä viimeaikaiseen muutokseen ei tiedetä, mutta ilmaston lämpenemisellä voi olla osuutta, sillä sisäinen kuormitus vaihtelee vuodesta toiseen mm. lämpötilan mukaan. Sameasta tilasta palautuminen kirkasvetiseksi ei tapahdu itsestään, vaan vaatii voimakasta ulkopuolista sysäystä.

### *Mitä pitäisi tehdä Littoistenjärven hyvän ekologisen tilan saavuttamiseksi?*

Rehevöityneiden järvien kunnostusmenetelmiä voivat olla hapetus, ravintoketjukurkennostus, fosforin kemiallinen saostaminen vedestä, alusveden poistaminen, ruoppaus, vedenpinnan nostaminen, tilapäinen kuivatus sekä erilaiset sedimentin kemialliset tai muut käsittelyt. Olen aikaisemmin arvioinut vaihtoehdoisten menetelmien soveltuvuutta Littoistenjärveen pitkäaikaisen ja monipuolisen tutkimustiedon pohjalta, ja päädyin suosittamaan talvisen ilmastuksen tehostamista

ja poistokalastusta, ja jos näistä ei ole apua, fosforin kemiallista saostusta. Samat kolme menetelmää (hapetus, hoitokalastus, kemiallinen käsittely) mainitaan myös viranomaisten toimenpideohjelmassa, jossa Paimionjoen-Aurajoen osa-alueella ehdotetaan Littoistenjärven kunnostusta otsikolla ”Pienen rehevöityneen järven kunnostus”. Tarvittavan investoinnin suuruudeksi on ohjelmassa arvioitu 250000 € vuosille 2016-2021. Vuosikustannukseksi on arvioitu 20060 €. Rahoitustarpeen perusteista tai rahoituksen järjestämisestä ei kuitenkaan esitetä mitään selvää suunnitelmaa. Tavoitetila arvioidaan saavutettavaksi vuoteen 2027 mennessä.

Littoistenjärveä on hoidettu useita vuosia ehdotusten mukaisesti. Kalastoa on yritetty vähentää keväisellä paunettipyynnillä ja olosuhteiden salliessa talvisella nuottauksella. Paunettipyynti kohdistuu erityisesti kookkaisiin särkiin, mutta saalistasot ovat jääneet vaatimattomiksi järven koko kalastoon nähden, ja veden laadulle haitallista lahnaa pauneteilla ei saada. Talven 2009 nuottaus onnistui hyvin, ja vaikka silloinkin saaliit jäivät odotettua pienemmiksi, pyynnillä näytti olleen selvä, joskin vähäinen positiivinen vaikutus veden laatuun. Talvella 2016 nuottausta yritettiin uudelleen, mutta huonolla menestyksellä - kaloja ei löytynyt riittävästi. Kesän 2015 koekalastuksissakin saatiin selvästi vähemmän kalaa kuin aikaisemmin, ja etenkin veden laadun kannalta haitallisimmat pikkukalat olivat vähentyneet kahdesta edellisvuodesta. Vedenlaadun parantamiseksi kalabiomassaa pitäisi kuitenkin vähentää paljon enemmän, 70-85 %. Suomessakin on useista pikkujärvistä kokemuksia siitä, miten jokseenkin täydellinen kalakuolema kirkastaa veden usean vuoden ajaksi, siihen saakka kunnes kalasto on palautunut entiselleen. Littoistenjärven tapaisessa matalassa järvessä tehokas poistokalastus aktiivisilla pyydyksillä on kuitenkin teknisesti vaikeaa, ja järvi on sen verran suuri, että matalissa pikkujärvissä toimivat passiiviset paunetti- yms. pyydykset eivät ole riittävän tehokkaita. Tätä taustaa vasten ei ole yllätys, että kalastuksella ei ole kyetty merkittävästi parantamaan Littoistenjärven veden laatua.

Talvista ilmastusta tehostettiin ottamalla käyttöön kaksi uutta ilmastinta 6.11.2012 alkaen. Ilmastuksen vaikutusta veden laatuun on nyt seurattu kolmen vuoden ajan. Viimeisten kymmenen vuoden aikana (2006-2015) pääravinteiden fosforin ja typen pitoisuuksissa tai klorofyllin määrässä ei ole tapahtunut merkitseviä muutoksia, sen jälkeen kun niiden iso nousu korkeammalle tasapainotasolle oli tapahtunut noin vuoteen 2006 mennessä. Vuoden 2010 jälkeen ravinteet ja klorofylli ovat hiukan laskeneet, ja ilmastusjaksolla 2013-2015 molemmissa oli tilastollisesti merkitsevä, noin 20 %:n pudotus ilmastusta edeltävään seitsemän vuoden jaksoon verrattuna. Tämän parannuksen jälkeenkin järven veden laatu jäi ylirehevälle tasolle, vaikka havaittu muutos oli ilmastuksen aiheuttamaksi odottamattoman suuri. Suurella todennäköisyydellä pelkkä ilmastus ei siten riitä palauttamaan Littoistenjärveen hyvää veden laatua.

Keinovalikoimassa jää jäljelle fosforin kemiallinen saostus alumiinikloridilla, johon Littoistenjärven osakaskunnilla on nyt ympäristölupa. Käsittely kannattanee tehdä syksyllä, jolloin sakka ehtii talven aikana vakiintua pohjaan. Saostuksen jälkeen järven vesi kirkastuu nopeasti, ja koska Littoistenjärven ulkoinen kuormitus on pieni, kertakäsittely vaikuttanee monta vuotta. Veden kirkastuminen johtanee uposkasvien uuteen runsastumiseen, mutta kokemusten perusteella tämä on virkistyskäytön kannalta pienempi paha kuin nykyiset jokavuotiset planktonlevien massaesiintymät. Uposkasvien vähintään kohtuullinen runsaus puolestaan on veden kirkaana pysymisen edellytys.

Tarkempia tietoja sekä lähdeviittaukset liitteessä

Liite

## **Littoistenjärven ekologinen tila 2015 ja toimenpiteet hyvän tilan saavuttamiseksi: seuranta-aineistojen analyysi ja kirjallisuusviitteet**

**PM 24.5.2016**

**Jouko Sarvala, emeritusprofessori**

### **Johdanto**

Suomen vesiensuojelun suuntaviivat pitkäksi ajaksi tulevaisuuteen määrittelee EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY, joka tuli voimaan 22.12.2000. Direktiivin mukainen kansallinen vesienhoitolaki vahvistettiin presidentin esittelyssä 30.12.2004 ja astui voimaan 1.1.2005 (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004; täydennetty myöhemmin). Samalla tehtiin kolme muuta tarvittavaa lakimuutosta sekä annettiin lakiin liittyvä asetus vesienhoitoalueista (1303/2004), ja myöhemmin asetus vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006). Direktiivin tavoitteeksi oli asetettu vesiensuojelun kehittäminen niin, että kaikkien pinta- ja pohjavesimuodostumien hyvä ekologinen tila olisi saavutettu vuoteen 2015 mennessä. ”Vesienhoidon järjestämisen yleisenä tavoitteena on suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä niin, ettei pintavesien ja pohjavesien tila heikkene ja että niiden tila on vähintään hyvä” (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 2004). Tietyin edellytyksin voitiin asettaa myös lievempiä tavoitteita tai jaksottaa toimenpiteet niin, että tavoite saavutetaan viimeistään vuoteen 2027 mennessä. Direktiivin toimeenpanoa varten Manner-Suomi on jaettu seitsemään vesienhoitoalueeseen. Ahvenanmaa huolehtii itse vesipuitedirektiivin toimeenpanosta. Kuhunkin vesienhoitoalueeseen sisältyy siten lukuisia erillisiä vesistöalueita. Useat muut viime vuosina uudistetut lait ja asetukset vaikuttavat vesistöjen hoitoon, esimerkiksi uudistettu vesilaki (587/2011) (voimaan vuoden 2012 alusta) ja ympäristönsuojelulaki (527/2014) (voimaan 1.9.2014) sekä haja-asutuksen jätevesiasetus.

Säännösten mukaan ympäristöviranomaisten, nykyorganisaatioissa alueellisten ELY-keskusten, tulee tarkastella vesien ominaispiirteitä, laatia selvitykset ihmisen aiheuttamista vaikutuksista, laatia vedenkäytön taloudelliset selvitykset, kerätä tiedot yhteisön lainsäädännön mukaan suojeltavista alueista, kerätä tarpeelliset tiedot talousveden ottoon tarkoitetuista alueista, valmistella vesien tilan luokittelu, järjestää vesien seuranta ja laatia seurantaohjelma, sekä valmistella vesienhoitosuunnitelma ja toimenpideohjelma (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 2004). Vesien hoidon suunnittelu etenee kuuden vuoden jaksoissa.

Littoistenjärvi kuuluu vesienhoitoalueita koskevan asetuksen mukaan Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueeseen, jonka toinen vesienhoitosuunnitelma valmistui vuonna 2015 (Westberg 2015). Saaristomeren valuma-alueen suunnitteluyksikköä koskeva uusi toimenpideohjelma julkistettiin samana vuonna (Kipinä-Salokannel 2015). Tässä ohjelmassa Littoistenjärvi on erillisenä pikkuvesistönä osa ns. rannikon välialueita.

Direktiivin toimeenpanoa varten pintavedet on jaoteltu luonnontieteellisten ja maantieteellisten ominaisuuksien mukaan tyyppeihin. Kullekin tyypille osoitetaan häiriintymätön vertailualue. Vesistö luokitellaan ihmistoiminnan aiheuttaman muutoksen voimakkuuden perusteella. Pintavesien luokka perustuu ekologiseen tai kemialliseen tilaan sen mukaan kumpi on huonompi. Pintaveden ekologinen tila voi olla erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä tai huono. Luokitus tehdään suhteutettuna ao. vesistötyypin vertailualueen oloihin, ja siinä otetaan huomioon kalasto, pohjaeläimet, päällyslävyt sekä järvissä lisäksi vesikasvillisuus ja kasviplankton, mukaan lukien klorofylli (Aroviita ym. 2012). Direktiivin mukainen tavoite on vähintään hyvä ekologinen tila, ja siten käytännön kannalta merkittävin rajanveto käydään hyvän ja tyydyttävän tilan välillä. Hyvässä tilassa biologisten laatutekijöiden arvot osoittavat merkkejä ihmistoiminnasta aiheutuvista vähäisistä muutoksista. Tällöin

esimerkiksi leväkukintoja voi esiintyä entistä useammin ja luonnontilaista voimakkaampina, ja kalastossa voi olla merkkejä yksittäisen lajin lisääntymishäiriöistä, niin että jotkin ikäryhmät voivat puuttua kokonaan. Tyydyttävässä ekologisessa tilassa biologisten laatutekijöiden arvot osoittavat ihmistoiminnasta aiheutuvia kohtalaisia muutoksia, esimerkiksi leväkukinnat voivat kesäkuukausina kestää pitkään, ja melkoinen osa järvityypille ominaisia kalalajeja voi puuttua. Kalaston osalta luokituksessa tarkastellaan niitä muutoksia, jotka johtuvat ihmisen aiheuttamista haitallisista valumista tai päästöistä tai vesirakentamisesta. Kalastuksen tai kalaston hoidon aiheuttamat kalaston muutokset eivät vaikuta ekologisen tilan arvioon.

On myös mahdollista todeta vesistö keinotekoiseksi tai voimakkaasti muutetuksi. Tällöin tavoitteena voisi olla paras saavutettavissa oleva ekologinen tila, johon suhteutettuna tällaiset vesistöt luokiteltaisiin hyvään, tyydyttävään, välttävään tai huonoon tilaan.

## Littoistenjärven tilan kehitys seuranta-aineiston perusteella

Suomen järvien direktiivin mukaisessa tyypittelyssä Littoistenjärvi kuuluu ”matalien, vähähumuksisten järvien (MVh)” pintavesityyppiin, jonka vertailuarvoja käytetään Littoistenjärven ekologisen tilan arviointiin. Ympäristöviranomaiset tekivät ensimmäisen luokittelun 2009 ja toisen luokittelun vuonna 2013. Mm. sääoloista johtuvan vuotuisen heilahtelun vuoksi järven kunnan luotettava arviointi on mahdollista vain usean vuoden seuranta-aineistoista. Kaarinan kaupungin, Liedon kunnan ja Turun yliopiston hyvän yhteistyön ansiosta Littoistenjärvestä on käytettävissä poikkeuksellisen kattavat ekologisen seurannan tiedot jo kymmenien vuosien ajalta (Wahlberg 1913, Rautanen ym. 1985, Sarvala & Perttula 1994, Sarvala 2005, 2013 sekä julkaisemattomat tiedot), ja paleolimnologiset tutkimukset (Glückert ym. 1992) ovat pidentäneet aikaperspektiivin tuhansien vuosien taa. Näitä tuloksia ei kuitenkaan ole juurikaan käytetty viranomaisten tekemässä luokituksessa.

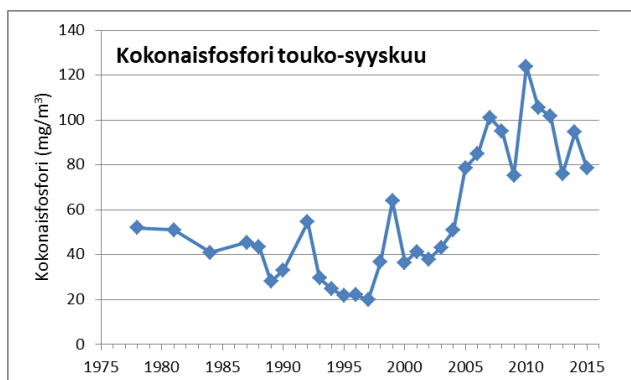
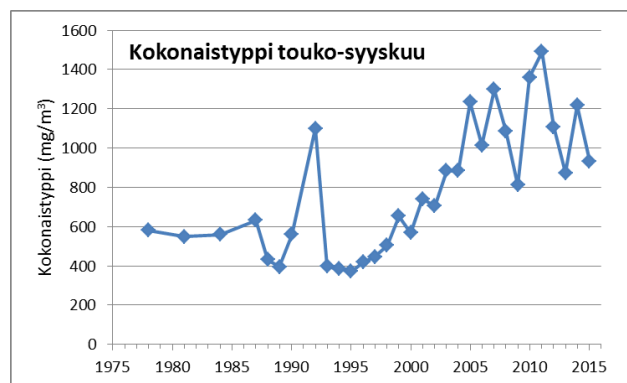
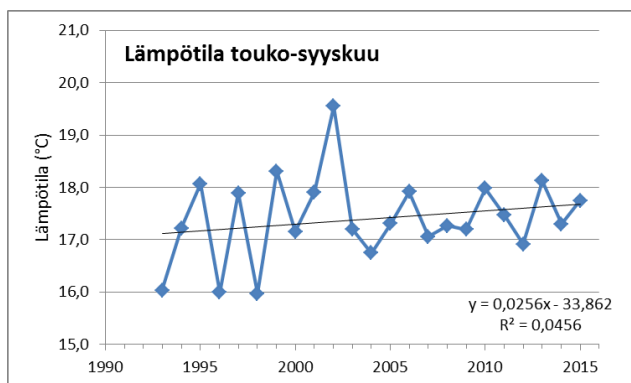
Monipuolisemman kuvan saamiseksi arvioin ja tulkitsen tässä lyhyesti Littoistenjärven tilan viimeaikaista kehitystä seuranta-aineiston perusteella. Kuvissa käytän vuosittaisia kesäkauden keskiarvoja ja taulukoissa viisivuotiskauskojen kesäkeskiarvoja siten, että ensimmäinen, seuraavan kanssa hiukan päällekkäinen jakso 1993-1997 edustaa 1990-luvun uposkasvivaltaista kirkasvetistä vaihetta, jolloin järven ekologinen tila oli useimpien muuttujien perusteella ”hyvä”.

Taulukko 1. Littoistenjärven vedenlaatuominaisuuksien viiden vuoden keskiarvot 1993-2015 kesäajaksolla 1.5.-15.9. Alimmilla riveillä ekologisen tilan vertailuarvo ja tilaluokkien raja-arvot matalan ja vähähumuksisen tyyppin vertailujärvissä, sekä viimeisen viisivuotiskauden mukainen tilaluokka.

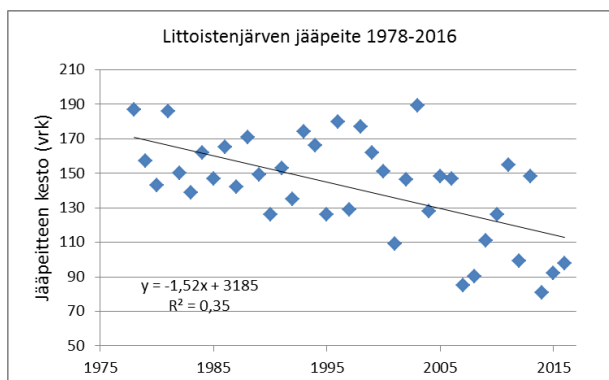
Vuosisjaksot	Kloro- fylli mg/m <sup>3</sup>	Kokonais- fosfori mg/m <sup>3</sup>	PO <sub>4</sub> - fosfori mg/m <sup>3</sup>	Kokonais- typpi mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> - typpi mg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> - typpi mg/m <sup>3</sup>	Typpi /fosfori- suhde ..	pH	Lämpö- tila °C	Näkö- syvyys m
1993-1997	5,0	23,6	3,1	403	5,5	4,5	18,2	7,0	17,0	2,1
1996-2000	9,4	35,8	4,2	518	7,1	6,9	16,9	7,4	17,1	1,9
2001-2005	24,3	50,4	2,1	889	6,0	26,3	18,1	8,0	17,7	1,1
2006-2010	40,1	96,1	2,3	1114	5,4	27,8	12,0	7,8	17,5	0,6
2011-2015	42,8	91,2	1,8	1125	7,4	19,4	12,5	7,8	17,5	0,6
Vertailuarvo	3,3	11,0	..	380	..	..	..	..	..	..
Erinomainen	<5,0	<15,0		<480						
Hyvä	<8,0	<25,0	..	<600	..	..	..	..	..	..
Tyydyttävä	<15,0	<45,0	..	<1000	..	..	..	..	..	..
Välttävä	<30,0	<80,0	..	<1500	..	..	..	..	..	..
Huono	>30,0	>80,0	..	>1500	..	..	..	..	..	..
Tilaluokka	Huono	Huono		Välttävä						

Littoistenjärven kesän keskimääräinen lämpötila on hitaasti noussut (Kuva 1), keskimäärin  $0,6^{\circ}\text{C}$  vuodesta 1993 vuoteen 2015, eli  $0,26^{\circ}\text{C}/10$  vuotta, mikä vastaa hyvin Säkylän Pyhäjärven havaintoaineistoa samalta jaksolta ( $0,28^{\circ}\text{C}/10$  vuotta). Tämä on hiukan vähemmän kuin maailman järvien keskimääräinen lämpenemisnopeus ( $0,34^{\circ}\text{C}/10$  vuotta; O'Reilly ym. 2015), mutta käytännössä sama kuin keskimääräinen ilman lämpeneminen ( $0,25^{\circ}\text{C}/10$  vuotta; Hartmann ym. 2013). Vuosien välillä mitattiin eniten vaihtelua 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa. Korkein keskiarvo oli vuonna 2002.

Merkittävin muutos lämpöoloissa on kuitenkin tapahtunut talvella. Tämä heijastuu jääpeitteisen kauden huomattavana lyhenemisenä (Kuva 2). Jäätalvi on vuodesta 1978 vuoteen 2015 lyhentynyt 58 päivällä. Jos sama suuntaus jatkuu, Littoistenjärvi ei enää jäädy lainkaan vuonna 2090.



Kuva 1. Littoistenjärven lämpötilan, ravinteisuuden ja kasviplanktonin klorofyllin kehitys 1978-2015 kesäjakson 1.5.-15.9. keskiarvoina.

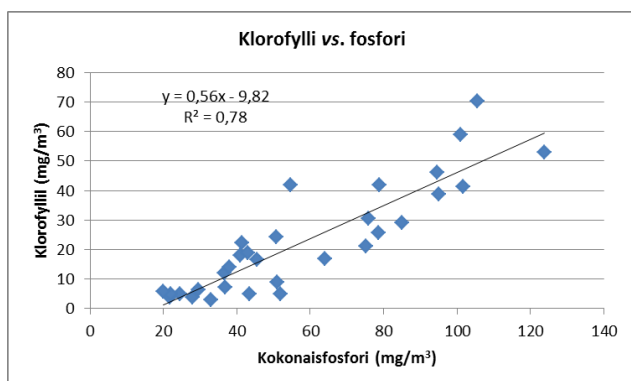


Kuva 2. Littoistenjärven jääpeitteen kesto vuosina 1978-2016.

Veden fosforipitoisuus laski 1970-luvun lopulta 1990-luvun puoliväliin (kuva 1;  $52 \rightarrow 20 \text{ mgP/m}^3$ ), poikkeuksena vesiruton romahdusvuosi 1992, jolloin taso nousi yhden kesän ajaksi. Fosforitaso lähti nousuun 1998 ja happikatotalven jälkeen kesällä 1999 keskiarvo oli yli  $60 \text{ mgP/m}^3$ . Vuosina 2000-2003 lukemat olivat jälleen alhaisempia, noin  $40 \text{ mgP/m}^3$ , mutta sitten fosforitaso nousi jyrkästi vuoteen 2007 saakka. Siitä lähtien fosforitaso näyttää vakiintuneen uudelle, korkeammalle tasolle, jossa lukemat heilahtelevat välillä  $80\text{-}120 \text{ mgP/m}^3$  (Kuva 1, Taulukko 1). Kahden viimeisimmän viisivuotiskauden keskiarvot edustavat tilaluokkaa ”huono”.

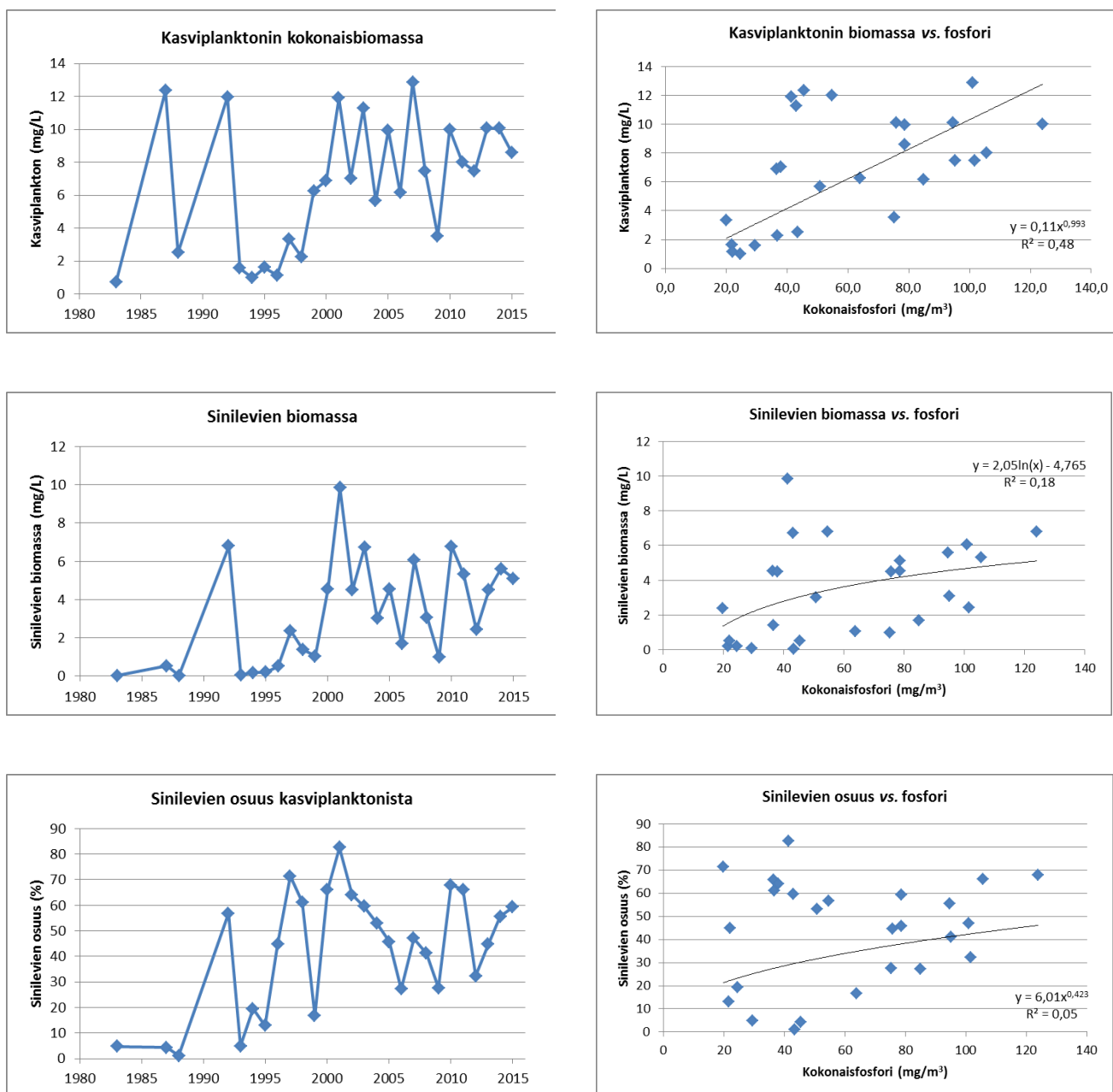
Typpitason kehitys on ollut hyvin samankaltainen kuin fosforin, sillä erotuksella, että vuoden 1999 typpiärvot eivät erotu erityisen korkeina (Kuva 1). Typpitaso nousi yhtäjaksoisesti vuodesta 1996 vuoteen 2005 ja vakiintui sen jälkeen heilahtelemaan välillä  $800\text{-}1500 \text{ mgN/m}^3$ . Kahden viimeisimmän viisivuotiskauden typpikeskiarvot edustavat tilaluokkaa ”välttävä”. Tällä jaksolla myös typpi/fosfori-suhde on ollut selvästi alempi kuin aikaisemmin, noin 12. Tämä kertoo siitä, että ravinnesuhteet ovat näinä vuosina suosineet sinileviä, jotka pystyvät hyödyntämään veteen liuenutta ilmakehän typpeä.

Kasviplanktonin klorofyllin kehitys on kuin toisinto fosforitasokäyrästä (Kuva 1). Tämä vahvistaa sen, että kasviplanktonin määrä Littoistenjärvessä riippuu ennen muuta fosforin saatavuudesta (Kuva 3). Muiden tekijöiden vaikutuksesta kertoo kuitenkin se, että klorofylliarvot heilahtelevat selvästi enemmän kuin fosforitaso. Kahden viimeisimmän viisivuotisjakson klorofyllikeskiarvot edustavat tilaluokkaa ”huono”.



Kuva 3. Kasviplanktonin klorofyllin suhde veden kokonaisfosforiin Littoistenjärvessä vuosina 1978-2015 (kesäkeskiarvot 1.5. - 15.9.).

Kasviplanktonin biomassa pysytteli 1980- ja 1990-luvuilla melko alhaisena,  $2\text{-}3 \text{ mg/L}$ , lukuun ottamatta vesiruton romahdusvuosia 1987 ja 1992, jolloin kesän keskiarvo ylitti  $12 \text{ mg/L}$  (Kuva 4). Viisivuotiskauden 1993-1997 keskiarvo oli  $1,7 \text{ mg/L}$ , joka sekin ilmensi vain ”tydyttävää” ekologista tilaluokkaa (Taulukko 2). Vedenoton päätyttyä Littoistenjärvessä oli lähes täydellinen happikato talvella 1998-1999, jota seurasi fosforitason nousu, ja samalla kasviplanktonilukemat hyppäsivät moninkertaisiksi,  $6\text{-}12 \text{ mg/L}$ :aan, joka on selvästi ”huonossa” tilaluokassa. Sinilevien osuus biomassasta vaihteli välillä  $30\text{-}60\%$ , ollen korkeimmillaan 2001-2005. Vaikka osuus on tämän jälkeen laskenut, viimeisimmän viisivuotiskauden arvo  $52\%$  asettuu ”välttävään” tilaluokkaan. Kasviplanktonin kokonaisbiomassan vuosien välinen vaihtelu oli merkittävästi sidoksissa fosforitasoon (Kuva 4), mutta sinilevien osuus oli yllättäen riippumaton fosforista (Kuva 4). Fosforitason ollessa alle  $50 \text{ mg/m}^3$  Littoistenjärvessä on ollut joskus vähän, joskus paljon sinileviä. Tämä vaihtelu korostaa ravintoverkon rakenteen ja vuorovaikutussuhteiden merkitystä vedenlaadun muotoutumisessa.



Kuva 4. Koko kasviplanktonin ja sinilevien biomassan sekä sinilevien biomassaosuuden kehitys Litoistenjärnessä (vasemmalla) 1983-2015, sekä näiden riippuvuus veden kokonaisfosforin tasosta (oikealla).



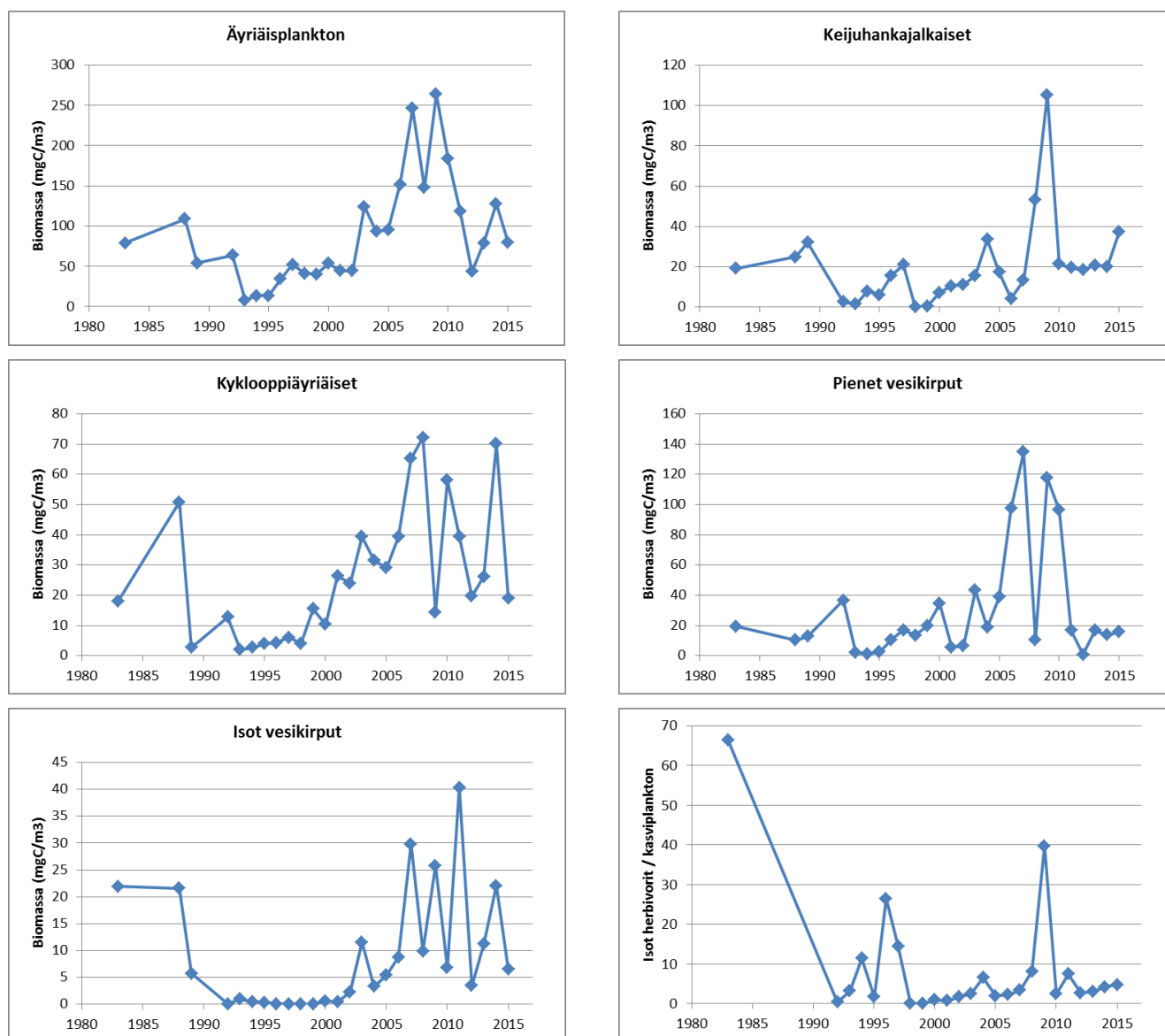
Taulukko 2. Koko kasviplanktonin ja sinilevien biomassa sekä sinilevien osuus kasviplankton-biomassasta Littoistenjärvessä viisivuotiskausittain 1993-2015. Alimmilla riveillä ekologisen tilan vertailuarvo ja tilaluokkien raja-arvot, sekä viimeistä viisivuotiskautta vastaava tilaluokka.

Vuosijakso	Koko kasviplankton	Sinilevät	Sinilevien osuus
	mg/L	mg/L	%
1993-1997	1,73	0,67	31
1996-2000	3,98	1,97	52
2001-2005	9,18	5,73	61
2006-2010	8,01	3,71	42
2011-2015	8,86	4,59	52
Vertailuarvo	0,90	..	3,5
Erinomainen	<1,1	..	<5
Hyvä	<1,6	..	<20
Tyydyttävä	<3,2	..	<40
Välttävä	<6,4	..	<70
Huono	>6,4	..	>70
Tilaluokka	Huono	..	Välttävä

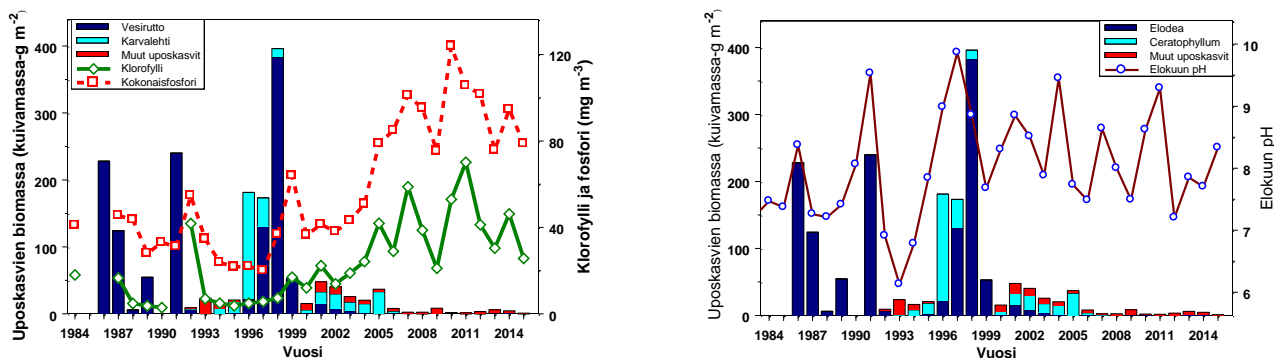
Suuresta toiminnallisesta merkityksestään huolimatta eläinplankton ei sisälly vesiputedirektiivin ekologisiin muuttujiin, mutta sitä on seurattu Littoistenjärvessä ja muissa Turun yliopiston lounaissuomalaisissa tutkimusjärvisissä. Äyriäisplanktonin kokonaismäärä on sekin noussut 2000-luvulla aikaisempiin vuosikymmeniin verrattuna (Kuva 5, Taulukko 3). Korkeimmillaan se oli 2006-2010, josta tasosta on tultu yli puolta alemmas viimeisimmällä viisivuotiskaudella. Heilahtelut eläinplanktonin toiminnallisissa ryhmissä ovat olleet laajoja, ja kokonaisbiomassan kasvu on heijastellut etenkin pienten vesikirppujen ja kyklooppihankajalkaisten, vuonna 2009 myös keijuhankajalkaisten määrää. Myös ns. isojen vesikirppujen määrä on noussut viimeisten kymmenen vuoden aikana, mutta silti tehokkaita levänsyöjiä on ollut vähän suhteessa kasviplanktoniin, vuotta 2009 lukuun ottamatta (Kuva 5). Lajikoostumus ei myöskään ole ollut veden laadun kannalta suotuisa, sillä tärkein ”iso” vesikirppu on ollut *Daphnia cucullata*, joka suosii reheviä vesiä eikä yleensä estä sinilevien massaesiintymiä vaan elää rinnan niiden kanssa. Vuonna 1983, jolloin Littoistenjärven vedenlaatu oli erinomainen, levänsyöjien suhteellinen määrä oli yli kymmenkertainen viime vuosiin verrattuna, ja silloin järvessä oli runsaasti kolmea *Daphnia*-lajia, myös *D. galeata*, joka on keskikokoisista *Daphnia*-lajeista tehokkain veden kirkastaja. Nykytilanteessa Littoistenjärven eläinplankton ei pysty pitämään kasviplanktonia kurissa.

Taulukko 3. Äyriäisplanktonin keskimääräinen biomassa (mgC/m<sup>3</sup>) Littoistenjärvessä viisivuotiskausittain 1993-2015.

Vuosijakso			Pienet vesikirput	Isot vesikirput	Keijuhankajalkaiset	Planktonkykloopit	Koko äyriäisplankton
	<i>Bosmina</i>	<i>Daphnia</i>					
1993-1997	1,48	0,01	6,66	0,39	10,46	3,80	24,20
1996-2000	11,30	0,04	19,06	0,16	8,85	8,05	44,21
2001-2005	11,47	2,95	22,63	4,61	17,63	30,06	80,30
2006-2010	53,01	15,98	91,36	16,21	39,51	49,84	198,54
2011-2015	5,89	8,72	12,74	16,70	23,30	34,88	89,59



Kuva 5. Koko äyriäisplanktonin, keijuhankajalkaisten (*Eudiaptomus graciloides*), kyklooppiäyriäisten (lähinnä *Mesocyclops*) sekä ”pienien” (pääasiassa *Bosmina*) ja ”isojen” vesikirppujen (pääasiassa *Daphnia*) biomassakehitys Littoistenjärvessä 1983-2015 kesän keskiarvoina. Alinna oikealla ”isojen” levänsyöjien biomassan suhde kasvipiiktonin kokonaisbiomassaan.

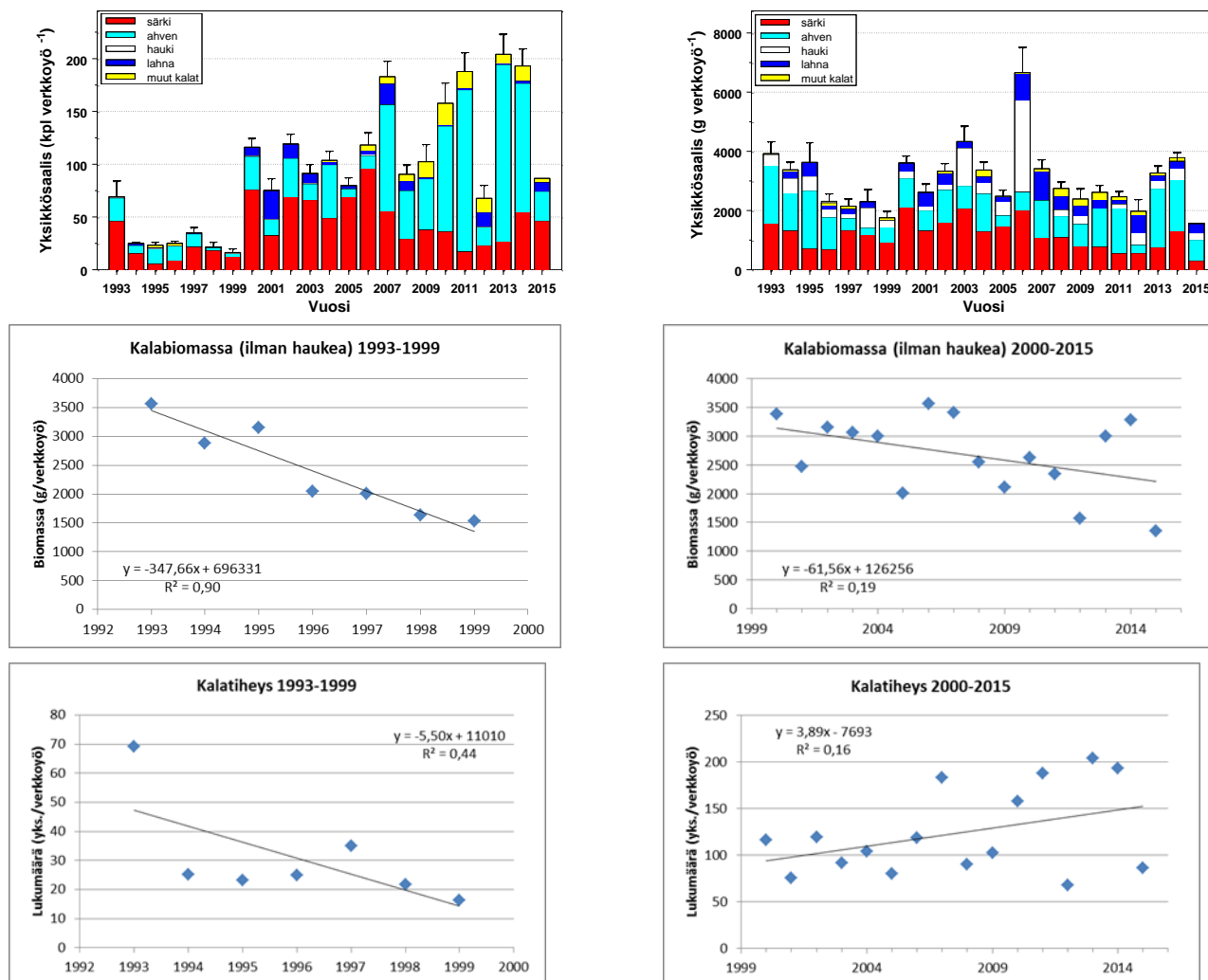


Kuva 6. Uposkasvibiomassan kehitys Littoistenjärvessä 1986-2015 suhteessa kokonaisfosforin ja kasviplanktonin klorofylliin (vasemmalla) sekä elokuun pH:n (oikealla) arvoihin. Vuodelta 1990 tieto uposkasvien tarkasta määrästä puuttuu, mutta se oli nousussa. Vedenotto järvestä päättyi vuoden 1998 lopulla.

Uposkasvillisuuden määrä on pysynyt vähäisenä vedenoton päättymisestä lähtien (Kuva 6). Silti vesiruttoa ja ruskoärviää voi edelleen olla runsaastikin paikka paikoin. Veden pH on myös ajoittain noussut korkeaksi (>8) kasviplanktonin vilkkaan yhteyttämisen takia, joskin huippuarvot ovat olleet hiukan maltillisempia kuin joinakin vesiruton massaesiintymisvuosina (1991 ja 1997). Näyttää siltä, että Järvelän lähistölle ilmaantunut tulokaslaji kelluslehtinen lammikki onnistuttiin hävittämään ennen kuin se ehti levitä laajemmalle. Kasvillisuuden puolesta järven nykytilaa voisi pitää hyvänä. Uposkasvien vähäisen määrän käänköpuoli on kuitenkin se, että kasviplankton on päässyt valta-asemaan, joka näkyy veden sameutena ja sinileväkukintoina. Littoistenjärvessä muutos tapahtui vuoden 2006 tienoilla, jolloin uposkasvien määrä putosi lähes nolnaan, mutta samaan aikaan fosfori- ja klorofyllitasot nousivat lähes kaksinkertaisiksi jaksoon 2000-2005 verrattuna, ja 4-8-kertaisiksi 1990-lukuun verrattuna (Kuvat 1 ja 6, Taulukko 1). Kasviplanktonin biomassa tosin viisinkertaistui nykytasolleen heti vedenoton päättymisen jälkeen (Kuva 4, Taulukko 2).

Taulukko 4. Kalojen kokonaisbiomassa ja -yksilömäärä sekä särkikalojen osuus biomassasta ja lukumäärästä Nordic-koeverkkojalastuksissa Littoistenjärvessä viisivuotisjaksoilla 1993-2015. Alimmilla riveillä ekologisen tilan vertailuarvo ja tilaluokkien raja-arvot, sekä viimeistä viisivuotiskautta vastaava tilaluokka.

Vuosi	Kokonaisbiomassa g/verkkoyö	Särkikalojen osuus massasta %	Kokonais- yksilömäärä /verkkoyö	Särkikalojen osuus yksilöistä %
1993-1997	3078	46,7	35,4	53,1
1996-2000	2427	59,5	42,7	68,4
2001-2005	3225	59,9	93,9	74,3
2006-2010	3566	53,3	130,3	46,2
2011-2015	2592	39,8	147,8	34,4
Vertailuarvo	988	38,9	53,4	..
	suureneva		suureneva	
Erinomainen	<1895	<46,9	<61,5	
Hyvä	<2105	<52,7	<69,9	..
Tyydyttävä	<2367	<60,2	<81,0	..
Välttävä	<2704	<70,1	<96,3	..
Huono	>2704	>70,1	>96,3	..
Tilaluokka	Välttävä	Erinomainen	Huono	..



Kuva 7. Littoistenjärven kalasto. Ylhäällä: Eri kalalajien yksilömäärä (vasemmalla) ja biomassa (oikealla) verkkoyötä kohti koekalastuksissa Nordic-verkoilla 1993-2015. Keskellä: Kalabiomassan (ilman haukea) muutokset 1990- ja 2000-luvuilla. Alhaalla: Kalatiheyden muutokset 1990- ja 2000-luvulla. Vuosina 1994-1999 kalatiheydessä ei käytännössä tapahtunut mitään muutosta.

Kalaston antama kuva Littoistenjärven ekologisesta tilasta on ristiriitainen. Kalaston kokonaisbiomassa on vaihdellut vuodesta 1993 alkaen melko maltillisesti, ja mitään koko seurantajakson kattavaa yhtenäistä muutossuuntaa ei ole näkyvissä (Kuva 7, Taulukko 4). Kuitenkin biomassa laski noin puoleen vuodesta 1993 vuoteen 1999 (Kuva 7). Vuonna 2000 biomassa hyppäyksellisesti kaksinkertaistui, mutta näyttää olleen hienoisesti laskussa koko 2000-luvun, poikkeuksena vuosi 2006, jolloin saatiin hyvin paljon isoja haukia, ja vuodet 2013-2014, jolloin järvessä oli erityisen paljon nuoria ahvenia (Kuva 7). Biomassatilastoja kannattaakin tarkastella ilman haukien osuutta. Viisivuotiskeskiarvojen mukaan korkeimmat biomassan yksikkösaaliit saatiin 2006-2010, ja 2011-2015 saaliit olivat selvästi pienempiä. Tosin silloinkin biomassataso oli niin korkea, että se vastasi ekologista tilaluokkaa ”välttävä”. Sen sijaan särkikalajien biomassaosuus on pysynyt melko pienenä, ja se on alentunut viime vuosina peräti erinomaisen tilaluokan tasolle (Taulukko 4).

Yksilömäärien kehitys on hiukan toisennäköinen (Kuva 7, Taulukko 4). Suuren osan 1990-lukua yksilömäärät olivat pieniä (noin 25 kalaa/verkkoyö) täyttäen erinomaisen tilaluokan vaatimukset. Vedenoton päättymiseen liittyneen happikadon jälkeen kalojen lukumäärä hypähti nelinkertaiseksi ja lähestyi useina vuosina (2007, 2010, 2011, 2013 ja 2014) kahtasataa kalaa/verkkoyö, joka ylittää kirkkaasti huonon tilaluokan alarajan. Kalatiheys on kymmenen viime vuoden aikana heilahdellut voimakkaasti vuodesta toiseen särjen ja ahvenen vuosiluokkavaihtelun mukaan. Pienet särjet olivat runsaita 2000-2006, mutta myöhempien vuosien huipputiheydet johtuvat pienten ahventen suuresta määrästä. Nämä vahvojen vuosiluokkien ahvenet eivät kuitenkaan koskaan kasvaneet suuriksi, niin kuin vielä 1990-luvulla. Kalatiheyden perusteella Littoistenjärven ekologinen tila on ollut ”huono” viimeisten kymmenen vuoden ajan. Myös veden laadun säätelyn kannalta kalaston tila on ollut huono. Juuri pikkukalat ovat tehokkaimpia eläinplanktonin kuluttajia, vähentäen etenkin isoja vesikirppuja ja keijuhankajalkaisia, jotka runsaina säilyessään pystyisivät kirkastamaan veden.

### **Saavutettiin Littoistenjärven hyvä ekologinen tila vuoteen 2015 mennessä?**

Vuoden 2013 viranomaisluokittelu perustui vuosien 2006-2012 havaintoaineistoihin, ja siinä Littoistenjärven ekologiseksi tilaksi arvioitiin välttävä. Biologinen tila oli välttävä. Fysikaalis-kemiallinen tila oli huono (perusteina kokonaisfosforin pitoisuus  $125 \text{ mg/m}^3$ , kokonaistypen  $1350 \text{ mg/m}^3$ , ja klorofyllin  $77 \text{ mg/m}^3$ , sekä ajoittaiset happiongelmat). Hydrologis-morfologinen luokitus oli tyydyttävä, joskin tässä syy heikkoon arvioon on epäselvä. Tiedot ahventen elohopeapitoisuudesta puuttuvat, ja siksi kemiallinen tila on määritelty järvityypin yleisen riskin perusteella hyvää huonommaksi. Kuten edellä kävi selväksi, Littoistenjärven neuvottelukunnan toimeksiannosta toteutettu laajempi seuranta vahvisti viranomaisarviot järven ekologisesta tilasta.

Littoistenjärven ekologinen tila vuonna 2015 oli siis kaukana vesipuitedirektiivin mukaisesta hyvästä tasosta, joka on tavoitteena toimenpideohjelmassa (Kipinä-Salokannel 2015). Ohjelman mukaan tavoite edellyttäisi kokonaisfosforitason laskua alle  $25 \text{ mg/m}^3$ :n ja klorofyllin laskua alle  $8 \text{ mg/m}^3$ :n. Fosforikuormitus pitäisi siksi vähintään puolittaa ja typpikuormitusta vähentää 30-50 % (Kipinä-Salokannel 2015). Littoistenjärven tapauksessa ulkoinen kuormitus ei kuitenkaan ole järven nykyisen huonon tilan syy (Sarvala 2005, 2013), vaan monien muiden matalien järvien tapaan ongelmat aiheutuvat voimakkaasta sisäisestä kuormituksesta: veden fosforitaso nousee kesän aikana 2-4-kertaiseksi varhaiskevään tasoon verrattuna (mm. Søndergaard ym. 2003). Tämä lisäys on peräisin järven pohjasta, jossa on viidentuhannen vuoden aikana kertynyt suuri fosforivarasto. Järven tila paranee vain, jos fosforin ”vuoto” pohjasta veteen kyetään katkaisemaan. Sitä paitsi Littoistenjärven ulkoinen kuormitus on jo pienentynyt tuntuvasti, kun Järvelän kosteikon ylivuotovedet on johdettu pois järvestä. Välitöntä tarvetta lisävähennyksille ei näyttäisi olevan.

Matalille järville on tyypillistä heilahtelu kahden vaihtoehdoisen tasapainotilan välillä: ne ovat joko kirkasvetisiä, kun uposkasveja on runsaasti, tai sitten ne ovat kasviplanktonvaltaisia ja sameita, kun uposkasveja on vähän (Scheffer ym. 1993, 1997, Ibelings ym. 2007). Sameassa vaiheessa sisäinen ravinnekuormitus pitää ravinnetason korkeana, ja sameus hillitsee uposkasvien kasvua.

Uposkasvivaltaisessa vaiheessa uposkasvit estävät tehokkaasti kasviplanktonin runsastumista silloinkin kun vedessä on ravinteita runsaasti (esim. Mjelde & Faafeng 1997) Seurantatulosten perusteella on ilmeistä, että Littoistenjärvi on vuodesta 2005 alkaen asettunut kasviplanktonin vallitsemaan tasapainotilaan, jossa järven ekologinen tila on huono tai korkeintaan välttävä.

Littoistenjärven tila heilahteli huonon ja erinomaisen välillä myös vuosina 1985-1999, mutta silloin tila määräytyi jaksottain vesiruton kannanvaihtelurytmin mukaan, ja ääripäissäkään ei ollut kyse tasapainotilasta. Syytä viimeaikaiseen muutokseen ei tiedetä, mutta ilmaston lämpenemisellä voi olla osuutta, sillä sisäinen kuormitus vaihtelee vuodesta toiseen mm. lämpötilan mukaaan (esim. Nürnberg ym. 2012). Sameasta tilasta palautuminen kirkasvetiseksi ei tapahdu itsestään, vaan vaatii voimakasta ulkopuolista sysäystä.

## Mitä pitäisi tehdä Littoistenjärven hyvän ekologisen tilan saavuttamiseksi?

Rehevöityneiden järvien kunnostusmenetelmiä voivat olla hapetus, ravintoketjukurkennostus, fosforin kemiallinen saostaminen vedestä, alusveden poistaminen, ruoppaus, vedenpinnan nostaminen, tilapäinen kuivatus sekä erilaiset sedimentin kemialliset tai muut käsittelyt (Ulvi & Lakso 2005, Sarvilinna & Sammalkorpi 2010). Olen aikaisemmin arvioinut vaihtoehtoisten menetelmien soveltuvuutta Littoistenjärveen pitkäaikaisen ja monipuolisen tutkimustiedon pohjalta (Sarvala 2005, 2013), ja päädyin suositteluun talvisen ilmastuksen tehostamista ja poistokalastusta, ja jos näistä ei ole apua, fosforin kemiallista saostusta. Samat kolme menetelmää (hapetus, hoitokalastus, kemiallinen käsittely) mainitaan myös viranomaisten toimenpideohjelmassa, jossa Paimionjoen-Aurajoen osa-alueella ehdotetaan Littoistenjärven kunnostusta otsikolla ”Pienen rehevöityneen järven kunnostus” (Kipinä-Salokannel 2015). Tarvittavan investoinnin suuruudeksi on arvioitu 250000 € vuosille 2016-2021. Vuosikustannukseksi on arvioitu 20060 € (Kipinä-Salokannel 2015). Rahoitustarpeen perusteista tai rahoituksen järjestämisestä ei kuitenkaan esitetä mitään selvää suunnitelmaa. Tavoittila arvioidaan saavutettavaksi vuoteen 2027 mennessä.

Littoistenjärven hoidossa on edetty ehdotusteni mukaisessa järjestyksessä. Kalastoa on yritetty vähentää keväisellä paunettipyynnillä ja olosuhteiden salliessa talvisella nuottauksella. Paunettipyynti kohdistuu erityisesti kookkaisiin särkiin, mutta saalistasot ovat jääneet vaatimattomiksi järven koko kalastoon nähden, ja veden laadulle haitallista lahnaa pauneteilla ei saada. Talven 2009 nuottaus onnistui hyvin, ja vaikka silloinkin saaliit jäivät odotettua pienemmiksi, pyynnillä näytti olleen selvä, joskin vähäinen positiivinen vaikutus veden laatuun. Talvella 2016 nuottausta yritettiin uudelleen, mutta huonolla menestyksellä - kaloja ei löytynyt riittävästi. Kesän 2015 koekalastuksissakin saatiin selvästi vähemmän kalaa kuin aikaisemmin, etenkin veden laadun kannalta haitallisimmat pikkukalat olivat vähentyneet kahdesta edellisvuodesta. Kansainvälisten kokemusten mukaan vedenlaadun parantamiseksi kalabiomassaa pitäisi kuitenkin vähentää paljon enemmän, 70-85 % (Meijer ym. 1990, Perrow ym. 1997, Hansson ym. 1998, Sarvala ym. 2000b). Poistotarve myös kasvaa ravintotason noustessa, koska kalojen tuotantokyky silloin kasvaa (Jeppesen & Sammalkorpi 2002). Suomessakin on useista pikkujärvistä kokemuksia siitä, miten jokseenkin täydellinen kalakuolema kirkastaa veden usean vuoden ajaksi, siihen saakka kunnes kalasto on palautunut entiselleen (Sarvala ym. 2000a, Ruuhijärvi ym. 2010). Littoistenjärven tapaisessa matalassa järvessä tehokas poistokalastus aktiivisilla pyydyksillä on kuitenkin teknisesti vaikeaa, ja järvi on sen verran suuri, että matalissa pikkujärvissä toimivat passiiviset paunetti- yms. pyydykset eivät ole riittävän tehokkaita. Tätä taustaa vasten ei ole yllätys, että kalastuksella ei ole kyetty merkittävästi parantamaan Littoistenjärven veden laatua.

Talvista ilmastusta tehostettiin ottamalla käyttöön kaksi uutta ilmastinta 6.11.2012 alkaen. Ilmastuksen tarkoitus on ylläpitää vedessä pohjaan saakka hapekkaat olot, jolloin veteen liuennut fosfori pääsee perinteisen käsityksen mukaan saostumaan raudan kanssa pohjaan (esim. Hupfer & Lewandowski 2008, Smith ym. 2011). Mutta myös rikin määrällä on tässä merkitystä (Caraco ym. 1993, Søndergaard ym. 2002). Jotta fosforin sitoutuminen rautaan olisi tehokasta, raudan ja fosforin moolisuhteen pitäisi olla vähintään 8-10 (Hansen ym. 2003, Kleeberg ym. 2013, Bakker ym. 2015), tai massasuhteen yli 15 (Jensen ym. 1992). Jos taas rikkiä on paljon, se sitoo raudan pelkistävässä oloissa rautasulfidiksi, jolloin fosfori jää vapaaksi veteen (esim. Rozan ym. 2002). Näin käy, jos rikin ja raudan moolisuhteet ylittävät 1:1 - 1,4:1 (Rothe ym. 2015). Littoistenjärvessä on hyvät edellytykset fosforin saostumiselle, koska pohjaliejussa on rautaa runsaasti sekä suhteessa fosforin että rikin määrään (Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus 2015; Taulukko 5). Todellisuudessa fosforin liukeneminen pohjasta on mutkikkaampi ja vaikeammin ennakoitava ilmiö, jossa mikrobitoiminnalla on ratkaiseva osuus.

Taulukko 5. Fosforin, rikin ja raudan pitoisuudet (g/kg kuiva-ainetta) Littoistenjärven pohjaliejun pintakerroksessa (0-6 cm) kuudella näytepisteellä (A-F) 9.10.2015 (Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus 2015), sekä raudan ja fosforin mooli- ja massasuhteet ja rikin ja raudan moolisuhteet. Fosforin pitoisuus oli alempi kuin samoilla pisteillä 21.3.2012 (2,2 g/kg; Varjo 2012)

	Syvyys m	Fosfori P g/kg	Rikki S g/kg	Rauta Fe g/kg	Kuiva- aine %	Hehkutus- jäännös %	Mooli- suhde Fe:P	Mooli- suhde S:Fe	Massa- suhde Fe:P
A	2,7	1,6	2,6	40	9,0	75	13,9	0,11	25,0
B	2,6	1,4	2,5	37	8,9	75	14,7	0,12	26,4
C	1,7	1,3	3,3	34	10,3	76	14,5	0,17	26,2
D	2,4	1,6	2,2	37	8,8	77	12,8	0,10	23,1
E	1,6	1,6	3,0	36	8,0	76	12,5	0,15	22,5
F	2,5	1,5	2,4	35	9,1	77	12,9	0,12	23,3
Keskiarvot		1,5	2,7	37	9,0	76	13,5	0,13	24,4

Ilmastuksen vaikutusta veden laatuun on nyt seurattu kolmen vuoden ajan. Viimeisten kymmenen vuoden aikasarjassa 2006-2015 ei näy merkitsevää muutossuuntaa pöytäravinteiden fosforin ja typen eikä klorofyllin pitoisuuksissa (Kuva 1), sen jälkeen kun niiden iso nousu uudelle, korkeammalle tasapainotasolle oli tapahtunut noin vuoteen 2006 mennessä. Vuoden 2010 jälkeen ravinteet ja klorofylli ovat hiukan laskeneet, ja ilmastusjaksolla 2013-2015 molemmissa muuttujissa oli tilastollisesti merkitsevä, noin 20 %:n pudotus ilmastusta edeltävään seitsemän vuoden jaksoon verrattuna (Taulukko 6). Tämän parannuksen jälkeenkin järven veden laatu jäi ylirehvälle tasolle, vaikka havaittu muutos oli ilmastuksen aiheuttamaksi suuri (Gertrud Nürnberg, sähköposti 17.02.2016). Viimeaikaisissa tutkimuksissa onkin todettu, että vaikka ilmastus parantaa vesistön happitilannetta, se vaikuttaa vain vähän ravinnetasoihin (mm. Salmi ym. 2014, Bormans ym. 2015, Visser ym. 2015, Kuha ym. 2016). Ei siis ole odotettavissa, että pelkkä ilmastus riittäisi palauttamaan Littoistenjärveen hyvää veden laatua.

Taulukko 6. Kokonaisfosforin (TP) ja klorofyllin pitoisuuksien vertailu Littoistenjärvessä vuosijaksojen 2006-2012 (ei varsinaista ilmastusta, vain virtauskehittämiä) ja 2013-2015 (ilmastuslaitteet käytössä) välillä. Ylemmässä laatikossa mukana kaikki havainnot, alalaatikossa vain touko-lokakuun havainnot.

2006-2012	Keskiarvo	Keskihajonta	
TP	92,0	36,4	
Klorofylli	41,1	28,5	
2013-2015	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo % edellisen jakson keskiarvosta
TP	74,4	31,8	80,9
Klorofylli	32,8	26,4	79,8

2006-2012, vain touko-lokakuu	Keskiarvo	Keskihajonta	
TP	92,7	36,0	
Klorofylli	41,1	28,5	
2013-2015, vain touko-lokakuu	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo % edellisen jakson keskiarvosta
TP	76,8	31,6	82,9
Klorofylli	32,8	26,4	79,8

Keinovalikoimassa jää jäljelle fosforin kemiallinen saostus, johon voitaisiin käyttää useita vaihtoehtoisia kemikaaleja (mm. Søndergaard ym. 2002, Oravainen 2005). Yksi parhaista menetelmistä on saostus alumiinikloridilla, johon Littoistenjärven osakaskunnilla on nyt ympäristölupa. Tästä menetelmästä on runsaasti tuoretta kirjallisuutta ja positiivisia kokemuksia (mm. Reitzel ym. 2005, Mehner ym. 2008, Huser & Pilgrim 2014, Araújo ym. 2015, Hupfer ym. 2015, Lüring ym. 2016), vaikka se onkin yhä jossakin määrin kokeiluvaiheessa (Zamparas & Zacharias 2014, Mackay ym. 2015). Saostuksen jälkeen järven vesi kirkastuu nopeasti, ja koska Littoistenjärven ulkoinen kuormitus on pieni (Sarvala 2005, 2013), kertakäsittely vaikuttanee monta vuotta. Saostus kannattaisi ilmeisesti tehdä syksyllä, kuten joissakin Suomessa toteutetuissa alumiinikloridikäsittelyissä (Reijo Oravainen, sähköposti 1.2.2012), jolloin sakka ehtii talven aikana vakiintua pohjaan. Suunnitelmallinen kaksinkertainen käsittely voisi olla varmempi vaihtoehto kuin ylivahva kertasaostus (Hupfer ym. 2015). Veden kirkastuminen johtanee uposkasvien uuteen runsastumiseen, mutta kokemusten perusteella tämä on virkistyskäytön kannalta pienempi paha kuin nykyiset jokavuotiset planktonlevien massaesiintymät. Vähintään kohtuullinen uposkasvien runsaus puolestaan on veden kirkkaana pysymisen edellytys.

## Kiitokset

Littoistenjärven perusteellisen seurannan on tehnyt mahdolliseksi Littoistenjärven säännöstely-yhtiön, Kaarinan kaupungin ja Liedon kunnan pitkäjänteinen rahoitus, vuodesta 2006 alkaen Littoistenjärven neuvottelukunnan kautta. Työskentely neuvottelukunnassa ja sitä edeltäneessä työryhmässä ympäristöviranomaisten, kuntien edustajien ja paikallisten asukkaiden kanssa on ollut antoisaa. Biologisen seurannan suunnitteli ja toteutti vuoteen 2012 saakka johtamani Turun yliopiston tutkimusryhmä, jonka kautta Littoistenjärvitutkimukseen on ohjautunut jonkin verran myös muuta, mm. Suomen Akatemian tutkimusrahoitusta. Työhön osallistuivat vuosien varrella lukuisat henkilöt, joista mainittakoon erityisesti Anita Mäkinen, joka oli tärkeä organisaattori seurannan alkuvuosina (erityisvastuualue uposkasvit), sekä myöhemmiltä vuosilta Rami Laaksonen (kasvillisuus), Perttu Louhesto (kalat), Vesa Saarikari (eläinplankton, pohjaeläimet), Asko Sydänoja (kalat) ja Kristiina Vuorio (kasviplankton). Vedenlaatuanalytiikasta huolehti aluksi Turun vesi- ja ympäristöpiiri / Lounais-Suomen ympäristökeskus, myöhemmin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Jälkimmäinen on vuodesta 2013 lähtien vastannut muustakin seurannasta kalatutkimuksia lukuun ottamatta, jotka on toteuttanut Lounais-Suomen kalatalouskeskus ry (aiemmin Lounais-Suomen kalastusalue), vastuuhenkilönään Olli Ylönen. Kotimainen ja kansainvälinen yhteistyö matalien järvien ympäristöongelmien ratkaisemiseksi on merkittävästi auttanut ymmärtämään Littoistenjärvenkin tapahtumia.

## Kirjallisuus

Araújo F, Becker V & Attayde JL (2015) Shallow lake restoration and water quality management by the combined effects of polyaluminium chloride addition and benthivorous fish removal: a field mesocosm experiment. *Hydrobiologia*. DOI: 10.11007/s10750-015-2606-5

Aroviita J, Hellsten S, Jyväsjärvi J, Järvenpää L, Järvinen M, Karjalainen SM, Kauppila P, Keto A, Kuoppala M, Manni K, Mannio J, Mitikka S, Olin M, Perus J, Pilke A, Rask M, Riihimäki J, Ruuskanen A, Siimes K, Sutela T, Vehanen T & Vuori K-M (2012) Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012-2013 - päivitetty arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 7/2012. 144 s. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. ISBN 978-952-11-4114-0 (pdf), ISSN 1796-1653 (verkkajulkaisu; [www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut))



- Bakker ES, van Donk E & Immers AK (2015) Lake restoration by in-lake iron addition: a synopsis of iron impact on aquatic organisms and shallow lake ecosystems. *Aquatic Ecology*. DOI: 10.1007/s10452-015-9552-1
- Bormans M, Maršálek B & Jančula D (2015) Controlling internal phosphorus loading in lakes by physical methods to reduce cyanobacterial blooms: a review. *Aquatic Ecology*. DOI: 10.1007/s10452-015-9564-x
- Caraco NF, Cole JJ & Likens GE (1993) Sulfate control of phosphorus availability in lakes – a test and reevaluation of Hasler and Einsele model. *Hydrobiologia* 253, 275–280.
- Glückert G, Illmer K, Kankainen T, Rantala P & Räsänen M (1992) Littoistenjärven ympäristön kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen ja järven luonnollinen happamoituminen. *Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja* 75: 1-27.
- Hansen J, Reitzel K, Jensen HS & Andersen FØ (2003) Effects of aluminum, iron, nitrate, and oxygen on phosphorus release from sediment of a soft-water Danish lake. *Hydrobiologia* 492, 139-149.
- Hansson L, Annadotter H, Bergman E, Hamrin SF, Jeppesen E, Kairesalo T, Luokkanen E, Nilsson P-A, Søndergaard M & Strand J (1998) Biomanipulation as an application of food-chain theory: constraints, synthesis, and recommendations for temperate lakes. *Ecosystems* 1, 558-574.
- Hartmann DL, ym. (2013) Teoksessa Stocker TF (toim.) IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Hupfer M & Lewandowski J (2008) Oxygen controls phosphorus release from lake sediments – a long lasting paradigm in limnology. *Int. Rev. Hydrobiol.* 93(4-5), 415-432.
- Hupfer M, Reitzel K, Kleeberg A & Lewandowski J (2015) Long-term efficiency of lake restoration by chemical phosphorus precipitation: scenario analysis with a phosphorus balance model. *Water Research*. Available online 6 July 2015. DOI: 10.1016/waters.2015.06.052
- Huser BJ & Pilgrim KM (2014) A simple model for predicting aluminum bound phosphorus formation and internal loading reduction in lakes after aluminum addition to lake sediment. *Water Research* 53, 378–385.
- Ibelings BW, Portielje R, Lammens EH, Noordhuis R, van den Berg MS, Joosse W & Meijer ML (2007) Resilience of alternative stable states during the recovery of shallow lakes from eutrophication: Lake Veluwe as a case study. *Ecosystems* 10, 4-16.
- Jensen HS, Kristensen P, Jeppesen E & Skytthe A (1992) Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235/236: 731-743.
- Jeppesen E & Sammalkorpi I (2002) Lakes. Teoksessa Perrow M & Davy T (toim.) Handbook of ecological restoration, Volume 2: Restoration practice, s. 297-324. Cambridge University Press.
- Kipinä-Salokannel S (toim.) (2015) Saaristomeren valuma-alueen pintavesien toimenpideohjelma vuosille 2016-2021. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 151 s.
- Kleeberg A, Herzog C & Hupfer M (2013) Redox sensitivity of iron in phosphorus binding does not impede lake restoration. *Water Research* 47, 1491-1502.
- Kuha JK, Palomäki AH, Keskinen JT & Karjalainen JS (2016). Negligible effect of hypolimnetic oxygenation on the trophic state of Lake Jyväsjärvi, Finland. *Limnologica* . DOI: 10.1016/j.limno.2016.02.001
- Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004.

- Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus (2015) Littoistenjärven sedimenttitutkimus lokakuussa 2015. Tulosraportti nro 276-15-8087.
- Lürling M, Mackay E, Reitzel K & Spears BM (2016) Editorial . a critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes. *Water Research*, painossa. DOI 10.1016/j.watres.2016.03.035
- Mackay EB, Maberly SC, Pan G, Reitzel K ja 14 muuta kirjoittajaa (2015) Geoengineering in lakes: welcome attraction or fatal distraction? *Inland Waters* 4, 349-356.
- Mehner T, Diekmann M, Gonsiorczyk T, Kasprzak P, Koschel R, Krienitz L, Rumpf M, Schulz M & Wauer G (2008) Rapid recovery from eutrophication of a stratified lake by disruption of internal nutrient load. *Ecosystems* 11: 1142–1156. DOI: 10.1007/s10021-008-9185-5
- Meijer M-L, de Haan MW, Breukelaar AW & Buiteveld H (1990) Is reduction of the benthivorous fish an important cause of high transparency following biomanipulation in shallow lakes? *Hydrobiologia* 200-201, 303-315.
- Mjelde M & Faafeng B A (1997) *Ceratophyllum demersum* hampers phytoplankton development in some small Norwegian lakes over a wide range of phosphorus concentrations and geographical latitude. *Freshwater Biology* 37: 355-365.
- Nürnberg GK, Tarvainen M, Ventelä A.M & Sarvala J (2012) Internal phosphorus load estimation during biomanipulation in a large polymictic and mesotrophic lake. *Inland Waters* 2, 147-162. DOI: 10.5268/IW-2.3.469
- Oravainen R (2005) Fosforin kemiallinen saostus. Teoksessa Ulvi T & Lakso E (toim.) Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, 191-202. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. ISBN 952-11-1847-4 (pdf), ISSN 1238-8602 ([www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut))
- O'Reilly, CM ja 63 muuta tekijää (2015) Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters*. DOI: 10.1002/2015GL066235
- Perrow MR, Meijer M, Dawidowicz P & Coops H (1997) Biomanipulation in shallow lakes: state of the art. *Hydrobiologia* 342-343, 355-365.
- Rautanen H, Sarvala J, Gustafsson E, Isotalo I, Laine U & Sainio J (1985) Littoistenjärven luonto ja käyttö. Kaarinan-Piikkiön luonnonsuojeluyhdistys. 64 s. ISBN 951-99609-9-6.
- Reitzel K, Hansen J, Andersen FO, Hansen KS & Jensen HS (2005) Lake restoration by dosing aluminum relative to mobile phosphorus in the sediment. *Environmental Science & Technology* 39: 4134–4140.
- Rothe M, Kleeberg A, Grüneberg B, Friese K, Pérez-Mayo M & Hupfer M (2015) Sedimentary sulphur:iron ratio indicates vivianite occurrence: a study from two contrasting freshwater systems. *PLoS ONE* 10(11): e0143737. DOI: 10.1371/journal.pone.0143737
- Rozan TF, Taillefert M, Trouwborst RE, Glazer BT, Ma S, Herszage J, Valdes LM, Price KS & Luther GW III (2002) Iron-sulfur-phosphorus cycling in the sediments of a shallow coastal bay: implications for sediment nutrient release and benthic macroalgal blooms. *Limnology and Oceanography* 47, 1346-1354.
- Ruuhijärvi J, Rask M, Vesala S, Westermark A, Olin M, Keskitalo J & Lehtovaara A (2010) Recovery of the fish community and changes in the lower trophic levels in a eutrophic lake after a winter kill of fish. *Hydrobiologia* 646, 145-158. DOI: 10.1007/s10750-010-0186-y
- Salmi P, Malin I & Salonen K (2014) Pumping of epilimnetic water into hypolimnion improves oxygen but not necessarily nutrient conditions in a lake recovering from eutrophication. *Inland waters* 4. DOI: 10.5268/IW-4.4.631

- Sarvala J (2005) Littoistenjärven ekologisen tilan kehitys ja hoitovaihtoehdot. Turun yliopiston Biologian laitoksen Julkaisuja 24: 1–56. ISSN 0357-5373.
- Sarvala J (2013) Littoistenjärven tila ja kunnostusvaihtoehdot 2012. Julkaisematon raportti. Turun yliopisto, Biologian laitos, Ekologian osasto. Turku. 44 s.
- Sarvala J & Perttula H (1994) Littoistenjärvi. Littoistenjärvityöryhmä, Kaarinan kaupunki, Liedon kunta. Kaarina 1994. ISBN 951-97062-0-8. 78 s. 2 liites.
- Sarvala J, Helminen H & Karjalainen J.(2000a). Restoration of Finnish lakes using fish removal: changes in the chlorophyll-phosphorus relationship indicate multiple controlling mechanisms. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 27: 1473–1479.
- Sarvala, J., Ventelä, A.-M., Helminen, H., Hirvonen, A., Saarikari, V., Salonen, S., Sydänoja, A. & Vuorio, K. (2000b). Restoration of the eutrophicated Köyliönjärvi (SW Finland) through fish removal: whole-lake vs. mesocosm experiences. – *Boreal Env. Res.* 5: 39–52.
- Sarvilinna A & Sammalkorpi I (2010) Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. Ympäristöopas 2010. 64 s. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. ISBN 978-952-11-3723-5 (pdf). ISSN 1796-167X (verkkojulkaisu; [www.edita.fi/netmarket](http://www.edita.fi/netmarket)).
- Scheffer M, Hosper H, Meijer M-L & Moss B (1993) Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275-279.
- Scheffer M, Rinaldi S, Gagnani A, Mur LR & van Ness EH (1997) On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes. *Ecology* 78, 272-282.
- Smith L, Watzin MC & Druschel G (2011) Relating sediment phosphorus mobility to seasonal and diel redox fluctuations at the sediment-water interface in a eutrophic freshwater lake. *Limnology and Oceanography* 56, 2251-2264. DOI: 10.4319/lo.2011.56.6.2251
- Søndergaard M, Jensen JP & Jeppesen E (2003) Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509, 135-145.
- Søndergaard M, Wolter K-D & Ripl W (2002) Chemical treatment of water and sediments, with special reference to lakes. Teoksessa Perrow M & Davy T (toim.) *Handbook of ecological restoration, Volume 1: Principles of restoration*, s. 184-205. Cambridge University Press.
- Ulvi T & Lakso E (toim.) (2005) Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. ISBN 952-11-1847-4 (pdf), ISSN 1238-8602 ([www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut))
- Varjo E (2012) Littoistenjärven sedimenttitutkimus. Turun yliopisto, Maantieteen ja Geologian laitos – Geologian osasto - maaperägeologia. Tutkimusraportti 15.8.2012.
- Visser PM, Ibelings BW, Bormans M & Huisman J (2015) Artificial mixing to control cyanobacterial blooms: a review. *Aquatic Ecology*. DOI: 10.1007/s10452-015-9537-0
- Wahlberg A (1913) Bidrag till kännedomen om Littois-träsk med särskild hänsyn till dess plankton. *Acta Soc. Fauna Flora Fennica* 38: 1-201.
- Westberg V (toim.) (2015) Vesien tila hyväksi yhdessä. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuosiksi 2016-2021. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Raportteja 101/2015. 247 s.
- Zamparas M & Zacharias I (2014) Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads. A review. *Science of the Total Environment* 496, 551-562. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.076