

# Vesijärven Enonselän ulapan eläinplankton ja vedenlaatu vuonna 2024 sekä pitkällä aikavälillä



Kirsi Kuoppamäki

KVVY Yhdistys  
&  
Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta



## Vesijärven Enonselän ulapan eläinplankton ja vedenlaatu vuonna 2024 sekä pitkällä aikavälillä

KVVY Yhdistys ry, tutkimusraportti 2025

yhteistyössä: Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, Lahti

**Tekijä:** Kirsi Kuoppamäki, FT, Dos., ympäristöasiantuntija, tutkija

**Tilaaja:** Päijät-Hämeen Vesijärvisäätiö

**Kansikuva:** *Limnocalanus macrurus* –keijuhankajalkaiset (pituus 1,6 mm) 6.8.2024 Vesijärvestä otetussa planktonnäytteessä. (Tämän raportin muut valokuvat: K. Kuoppamäki ellei muutoin ole mainittu)

## SISÄLTÖ

1.	Johdanto	2
2.	Aineisto ja menetelmät	3
2.1	Näytteenotto	3
2.2	Eläinplanktonnäytteiden analysointi	4
2.3	Eläinplankton- ja vedenlaatuaineiston käsittely	4
3.	Tulokset ja tulosten tarkastelu	5
3.1	Happi- ja lämpötila 2024	5
3.2	Vuoden 2024 eläinplanktonyhteisö	5
3.2.1	Eläinplanktonin biomassa ja yksilömäärä	5
3.2.2	Vesikirppujen yksilökoko	7
3.2.3	Eläinplanktonin kyky säädellä kasviplanktonia	7
3.3	Pitkän aikavälin kehitys	9
4.	Loppupäätelmiä	14
5.	Kirjallisuus ja muut viitatu lähteet	15

## 1. Johdanto

Eläinplanktonilla on merkittävä strateginen asema järviekosysteemin ravintoverkossa perustuottajien ja petojen välissä, missä se siirtää energiaa alemmilla tasoilta kasvi- ja bakteeriplanktonista ylemmille tasoille, kuten kaloihin. Kasviplanktonia eli järven tärkeintä perustuottajaryhmää laiduntamalla ja ravinteita eri suhteissa sitomalla ja kierrättämällä planktiset eläimet säätelevät leväyhteisön määrää ja koostumusta. Ne ovat planktonia syövien kalojen ja poikasvaiheessa kaikkien kalalajien tärkeä ravinnonlähde. Kalat etsivät ravintoa näkönsä avulla ja valikoivat ensisijaisesti suurikokoisimpia planktonäyriäisiä ja siten säätelevät tehokkaasti eläinplanktonyhteisön rakennetta (Kerfoot & Sih 1987, Gliwicz 2003). Järven rehevöityessä planktonia syövät kalat, tyypillisesti särkikalat runsastuvat voimakkaasti. Ne saalistavat pois suuri- ja keskikokoiset vesikirput, jolloin ravintokilpailussa heikommat pienikokoiset vesikirput ja rataseläimet runsastuvat. Niiden kyky säädellä kasviplanktonia on vähäinen. Samansuuntainen vaikutus on myös ravinteisuuden lisääntymisellä (Hietala ym. 2004, Vakkilainen ym. 2004; Hulot ym. 2014). Ravintoverkon toiminnassa tapahtuvat ja sen tasolta toiselle heijastuvat vaikutukset kiihdyttävät muutoksia monimutkaisten suorien ja epäsuorien mekanismien kautta (Carpenter 2003).

*Daphnia*-suvun vesikirput ovat tehokkaina laiduntajina ns. avainlajeja järviekosysteemissä, koska ne suodattavat suhteellisen valikoimattomasti monen kokoisia leviä (Gliwicz 2003). Niiden runsastuminen onkin yksi rehevöityneiden järvien kunnostuksen keskeisistä tavoitteista, johon pyritään säatelemällä kalaston rakennetta mm. hoitokalastuksella. Kun kaloja on vähän ja suurikokoiset vesikirput vallitsevat eläinplanktonyhteisössä, kasviplanktonin biomassa on ravinnetasoon nähden pienempi kuin jos vallitsevina ovat pienikokoinen äyriäisplankton ja rataseläimet (Mazumder 1994). Lisäksi verrattuna hankajalkaisäyriäisiin *Daphnia*, kuten monet muutkin vesikirput, sitovat biomassansa huomattavan paljon fosforia suhteessa tyypeen (Hessen ym. 2013).

Lisäksi niiden fosfori:hiili-suhde on korkea ja sangen vakio vaikka suhde kasviplanktonravinnossa voi vaihdella paljonkin (Gliwicz 2003). Kun fosforia saadaan vesikirppubiomassaan ja siten pois levien käytöstä, esimerkiksi riski sinileväkukintoihin pienenee. Monet sinilevät kykenevät sitomaan ilmakehän typpeä, joka ei siten rajoita niiden kasvua ja tästä syystä avainasemassa leväkukintaongelmissa on fosfori, ei typpi (esim. Schindler ym. 2008).

Eläinplanktonyhteisöä tutkimalla voidaan arvioida järvien hoitotoimenpiteiden vaikuttavuutta. Sen perusteella pystytään kustannustehokkaasti tekemään päätelmiä järven kalastosta, ravinteikkuudesta ja ekologisesta tilasta. Huolimatta näin merkityksellisestä roolistaan järven "avainyhteisönä" eläinplankton ei kuulu vesipuidedirektiivin mukaisen ekologisen tilaluokittelun laatukriteereihin (Jeppesen ym. 2011), ainakaan toistaiseksi. Vesijärven Enonselällä eläinplanktonyhteisöä on kuitenkin vaihtelevasti seurattu jo vuodesta 1991 (Luokkanen 1995, Vakkilainen & Kairesalo 2005, Anttila ym. 2013, Ruuhijärvi ym. 2020). Lisäksi sitä edeltävien 6 vuoden ajalta on saatu tietoa tutkimalla vesikirppujen jäänteitä sedimentissä (Nykänen ym. 2010). Pitkät aikasarjat ovat korvaamattoman arvokkaita, jotta voidaan tutkia ekosysteemien vasteita paitsi kunnostustoimenpiteisiin myös erilaisiin häiriöihin kuten ravinnekuormitukseen ja ilmastonmuutokseen (Lindenmayer & Likens 2009).

Rehevöityneen Vesijärven Enonselän kunnostustoimien ansiosta sinileväkukinnat hävisivät 1990-luvulla ja vesi kirkastui, mitä ravinnepitoisuuksien vähenemisen ohella osaltaan edesauttoivat ravintoverkon rakenteessa ja ravinnedynamiikassa tapahtuneet monenlaiset muutokset. Yksi keskeisimmistä oli särkikalakantojen voimakas väheneminen. Sen ansiosta vesikirppujen yksilökoko kasvoi, jolloin niiden kyky säädellä kasviplanktonia koheni (Anttila ym. 2013). 2000-luvulla tilanne kuitenkin heikentyi uudelleen. 2010-luvulla kokeiltu vesikerrosten sekoittaminen ei auttanut asiaa. Se heikensi kasviplanktonia syövien vesikirppujen selviytymistä monin eri tavoin. Kohentuneen happitilanteen ansiosta vuodesta 2015 poikkeuksellisen suureksi kasvanut kuorekanta aiheutti vesikirppujen yksilökoon pienenemisen (Ruuhijärvi ym. 2020). Hellekesänä 2021 korkean lämpötilan ja heikon happitilanteen vuoksi kuorekanta romahti ja vesikirppujen yksilökoko alkoi jälleen kasvaa.

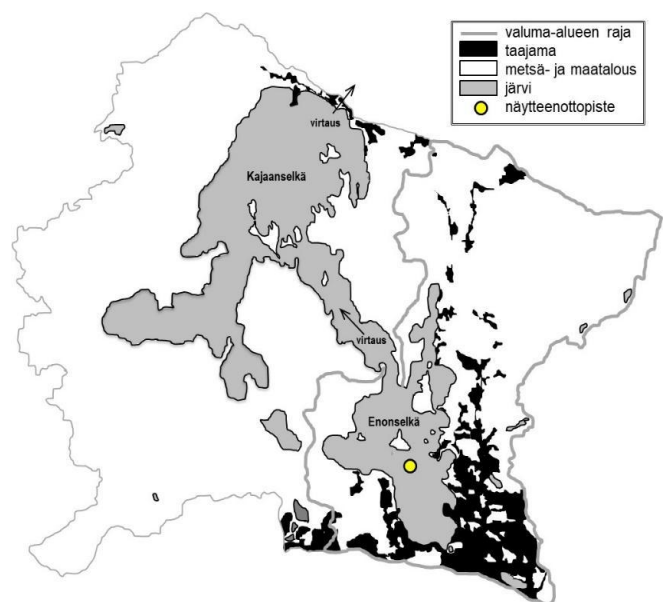
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on arvioida eläinplanktonin merkitystä osana Enonselän tilan kehitystä sekä sen ja muun käytettävissä olevan aineiston avulla arvioida koko ekosysteemin toimintaa suhteessa ympäristön muutoksiin ja tehtyihin kunnostustoimiin. Kalakantojen, etenkin kuoreen vuosien välinen vaihtelu Enonselällä voi olla huomattavaa, mikä heijastuu välittömästi eläinplanktonyhteisöön ja sitä kautta ravintoverkon alemmille tasoille ja siten vedenlaatuun. Tässä raportissa keskitytään erityisesti vuoden 2024 havaintoihin.

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Näytteenotto

Eläinplanktonaineisto on kerätty Enonselältä, joka on suurelta osin Lahden kaupungin taajama-alueiden ympäröimä. Näytepiste sijaitsee Lankiluodon syvänteen kohdalla (Kuva 1). Vettä on nostettu metrin pituisella Limnos-noutimella (tilavuus 6,94 litraa) syvyyksiltä 0-5 m, 5-10 m, 10-20 m ja 20-30 m. 0-5 m ja 5-10 m näytteistä on otettu 1000 ml osanäytteet klorofylli a –pitoisuuden (chl *a*) määrittämistä varten. Sen jälkeen loppu vesi on suodatettu 50 µm planktonhaavin läpi. Haaville kertynyt eläinplankton (ja muu seston) on huuhdottu 250-500 ml purkkeihin ja säilötty etanoliin (lopullinen konsentraatio 70 %). Eläinplanktonnäytteenoton yhteydessä on aina mitattu myös näkösyvyys secchi-levyllä sekä veden lämpötila, happipitoisuus ja hapen kyllästysaste metrin välein pinnasta pohjaan YSI Pro ODO -sondilla.

**Kuva 1.** Vesijärvi ja sitä ympäröivä valuma-alue, jonka maankäyttö on karkeasti esitetty jaettuna taajama-alueisiin sekä metsä- ja maatalousalueisiin. Keltainen piste osoittaa näytteenottopisteen Enonselällä.



Helsingin yliopiston Lahden toimipiste aloitti vuosittaiset näytteenotot vuonna 1991 ja työtä jatkettiin katkeamatta vuoteen 2014, jolloin ei ollut näytteenottoa. Vuodesta 2015 toimintaa Helsingin yliopistolla saatiin jatkettua Vesijärvisäätiön tuella. Käytännön näytteenotto organisoitiin vuonna 2017 toteutettavaksi yhteistyössä Lahden kaupungin kanssa. Näytteenoton järjestelyistä ja tarvittavista materiaaleista vastasi yhä Helsingin yliopisto, kunnes vuodesta 2021 siitä on vastannut KVVY Yhdistys yhdessä Helsingin yliopiston kanssa. Vuonna 2024 näytteitä haettiin 28.5.-8.10. kahden viikon välein yhteensä kymmenen kertaa.

## 2.2 Eläinplanktonnäytteiden analysointi

Laboratoriossa näytteet aluksi puolitettiin. Toinen puolikas arkistoitiin talteen mahdollisia jatkotutkimuksia ajatellen (esimerkiksi rasvahappo-analysit), toinen puolikas analysoitiin ja heitettiin sen jälkeen pois. *Leptodora kindtii*- ja *Bythotrepes longimanus* –petovesikirput laskettiin ja mitattiin preparointimikroskoopilla (Leica S4E) koko puolikkaasta näytteestä. Sen jälkeen näytteitä laimennettiin tarvittaessa osittamalla ne 1/4-, 1/8-, 1/16- ja/tai 1/32-osanäytteiksi. Useimmiten leväkukinnat tai roskat olivat syynä ajoittain suureen ositusten tarpeeseen. Laimentaminen oli välttämätöntä, jotta näytteet pystyttiin analysoimaan käänteismikroskoopilla (Olympus IX50). Runsaimpina esiintyviä vesikirppuja pyrittiin laskemaan vähintään 100 yksilöä/laji, mikä käytännössä tarkoittaa useiden osanäytteiden käsittelyä. Eläimet laskeutettiin planktonkyvetteihin ja laskettiin koko kyvetin alalta. Hankajalkaisia mitattiin 3 yksilöä/kopepodittisvaihe, (erikseen *Mesocyclops/Thermocyclops* ja suuret Cyclopoida-toukat, *Eudiaptomus gracilis*, *Limnocalanus macrurus* ja *Heterocope appendiculata*) ja aikuisista lajikohtaisesti 3 koirasta ja 3 naarasta. Runsaimpina esiintyvien vesikirppulajien pituudet mitattiin 30 yksilöstä ja muita, vähälukuisempia lajeja niin monta kuin niitä oli kaikissa laskeutetuissa osanäytteissä. Alkueläimet (selvästi yli 50 µm pituiset/leveät) on laskettu näkökentittäin, yleensä 30 näkökenttää 1/8- tai 1/16-osanäytteestä, riippuen niiden runsaudesta.

## 2.3 Eläinplankton- ja vedenlaatuaineiston käsittely

Äyriäiseläinplanktonin lajikohtaiset biomassat laskettiin lajikohtaisilla pituus:hiili-regressioyhtälöillä huomioiden mahdolliset munat ja embryot (Vasama & Kankaala 1990, Luokkanen 1995, Anja Lehtovaaran julkaisematon aineisto). Rataseläinten hiilisisältö otettiin kirjallisuudesta (Latja & Salonen 1978, Telesh ym. 1998) ja alkueläinten biomassa arvioitiin tilavuuden perusteella. Tulokset laskettiin erikseen 0-10 m ja 10-30 m syvyyksiltä sekä lisäksi koko vesipatsaasta kahden vesikerroksen tilavuuksilla painottaen. Vesikirppujen yksilökoko laskettiin koko yhteisön keskiarvona painottaen pituustuloksia kunkin lajin tiheydellä. Samalla tavoin laskettiin erikseen *Daphnia*-suvun vesikirppujen koko. Lisäksi laskettiin erikseen aikuisten vesikirppu-yksilöiden koko, minkä avulla aineistosta saatiin eroteltua pois pienikokoiset nuoruusvaiheen yksilöt. Vesikirppujen laidunnusteho laskettiin yhtälöllä  $F = 11.695 * L^{2.48}$ , jossa  $F$  = suodatusteho ml/eläin/päivä ja  $L$  = eläimen pituus, mm (Knoechel & Holtby 1986).

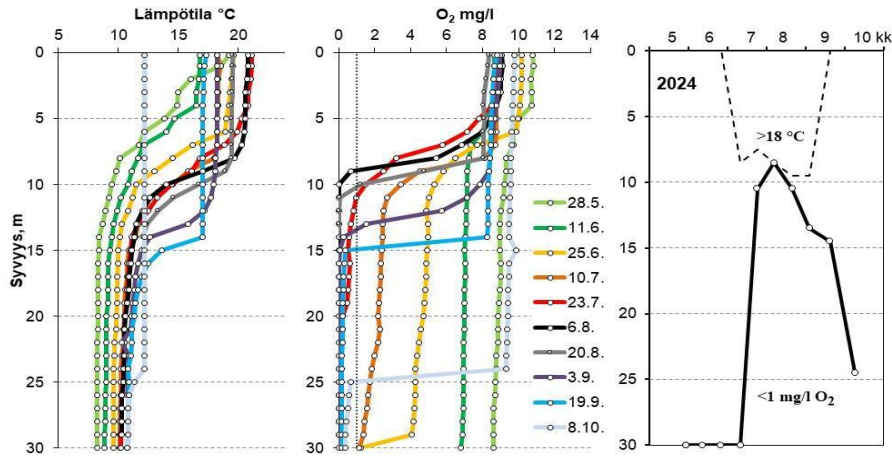
Eläinplanktonnäytteitä on analysoitu vuosilta 1991, 1993, 1994, 1997, 1999, 2001-2006, 2009, 2011, 2013 ja 2015-2024 eli kolmen vuosikymmenen aikana 10 vuoden näytteet ovat jääneet käsittelemättä lähinnä resurssipulan vuoksi. Ne ovat yhä tallella ja etanoliin säilötyinä yhä analysointikelpoisia. Tähän raporttiin otettiin mukaan myös sedimenttinäytteistä mitattujen *Daphnia*-vesikirppujen lepomunien eli ehippioiden pituuden (Nykänen ym. 2010) perusteella muuntoyhtälön avulla (Jeppesen ym. 2002) laskettu aikuisten yksilöiden koko vuodesta 1985 (eli kuusi vuotta ennen kuin eläinplanktonnäytteenotto aloitettiin) vuoteen 2002.

Vuosina 2022-2024 eläinplanktonnäytteenoton yhteydessä otetut klorofylli  $a$  –näytteet on analysoinut Eurofins Scientific. Sitä ennen ne käsiteltiin Helsingin yliopiston laboratoriossa, missä vettä suodatettiin 300-1000 ml GF/C-lasikuitusuodattimen läpi. Suodattimet säilöttiin pakastimeen ja 2 kk kuluessa näytteenotosta niille kertyneestä materiaalista uutettiin klorofylli etanoliin lämpöhauteessa (75 °C 5 min) ja määritettiin spektrofotometrisesti (SFS 5772). Saatuja klorofyllituloksia on täydennetty ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta haetulla aineistolla, joka on kerätty osana Vesijärven velvoitetarkkailua. Samasta lähteestä on haettu myös muut vedenlaatu tulokset. Tuloksista laskettiin ensin kuukausittaiset keskiarvot, joista otettiin vuosikohtaiset keskiarvot ( $\pm$ keskivirheet), erikseen talviaikaudelle (helmi-maaliskuu) ja kasvukaudelle (kesä-syyskuu). Eläinplanktonin ja vedenlaadun pitkäaikaisia tuloksia esittäviin kuviin on aineistoille sovitettujen polynomiyhtälöiden perusteella piirretty käyrät havainnollistamaan kehityskulkua. Eläinplankton-aineistoon on liitetty myös sedimentin jäänteiden perusteella tutkittu vesikirppujen yksilökoko ajalta 1985-2002 (Nykänen ym. 2009, 2010).

### 3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

#### 3.1 Happi- ja lämpötila 2024

Lämpimänä kesänä 2024 Enonselän vesi alkoi kerrostua jo toukokuun lopulla ja ylimmän noin 5 m vesikerros lämpeni nopeasti 20°C tuntumaan. Samalla syvänveden happipitoisuus heikkeni nopeasti kesän mittaan niin että heinäkuun lopulla hapen pitoisuus oli alle 1 mg/l eli vähähappinen/hapeton 11 metristä alaspäin (Kuva 2). Lämmin ja heikkohappinen tilanne jatkui aina syyskuulle, jonka loppupuolella vesi oli yhä voimakkaasti kerrostunut ja pinnanläheisen vesikerroksen lämpötila lähellä 20°C. Harppauskerros oli 14-15 metrin syvyydellä. Kun eläinplanktonnäytteenotto 8.10. lopetettiin, syystäyskierto ei ollut vielä ulottunut pohjaan asti (Kuva 2) poikkeuksellisen lämpimän syksyn vuoksi ([Ilmatieteen laitos 2024](#)), mikä heijastui myös happitilanteeseen.



**Kuva 2.** Veden lämpötila ja liuenneen hapen (O<sub>2</sub>) pitoisuus pinnasta pohjaan kesäkuusta syyskuuhun. Lisäksi oikealla kesäkuusta lokakuuhun syvyydet, joiden yläpuolella lämpötila oli yli 18 °C (katkoviiva) ja joiden alapuoliset vesikerrokset ovat vähähappisia tai hapettomia (yhtenäinen viiva).

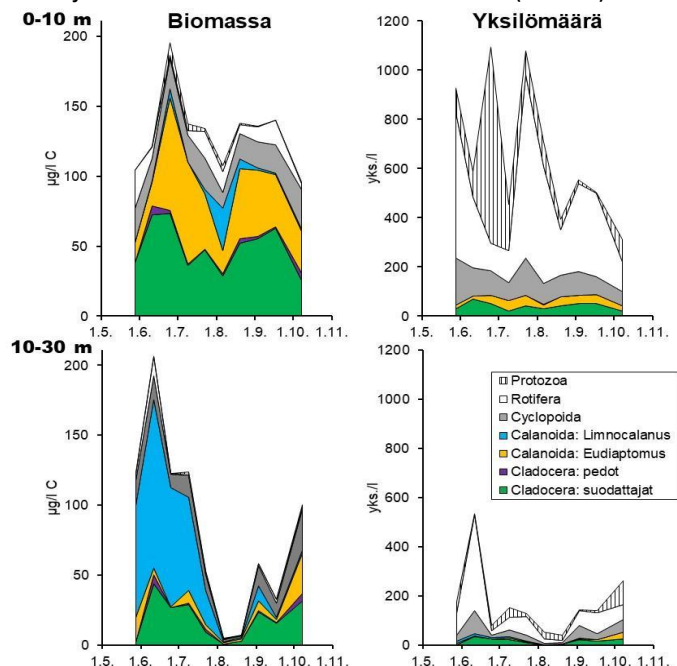
#### 3.2 Vuoden 2024 eläinplanktonyhteisö

4.

##### 3.2.1 Eläinplanktonin biomassa ja yksilömäärä

0-10 m (päällysvesi) syvyydessä eläinplanktonin biomassa ja yksilömäärät (oikealla) kumulatiivisesti esitettynä järjestyksessä alhaalta ylöspäin: suodattamalla ravintonsa hakevat vesikirput (Cladocera) ja *Eudiaptomus gracilis* -keijuhankajalkainen (Calanoida). Näiden kasviplanktonia syövien äyriäisten suurin kokonaisbiomassa ajoittui kesäkuun loppupuolelle ja toinen maksimi havaittiin elokuussa (Kuva 2).

**Kuva 2.** Eläinplanktonin biomassa (vasemmalla) ja yksilömäärät (oikealla) kumulatiivisesti esitettynä järjestyksessä alhaalta ylöspäin: suodattamalla ravintonsa hankkivat vesikirput ja petovesikirput (Cladocera), *Eudiaptomus gracilis* ja *Limnocalanus macrurus* keijuhankajalkaiset (Calanoida), syklooppihankajalkaiset (Cyclopoida), rataseläimet (Rotifera) sekä alkueläimet (Protozoa) 0-10 m ja 10-30 m syvyyksillä vuonna 2024.



Päällysveden kaksi biomassahuippua aiheutti lähinnä *Eudiaptomus*. Sen biomassa vaihteli kasvukauden mittaan enemmän kuin vesikirppujen, joita oli hieman tasaisemmin läpi kesän. Kyklooppihankajalkaisten (Cyclopoida) määrä vaihteli hyvin vähän kesän mittaan ja niiden osuus biomassasta oli pienehkö. Petovesikirppujen biomassasta oli erittäin vähäinen ja koostui lähes yksinomaan *Leptodora kindtii*-vesikirpuista.

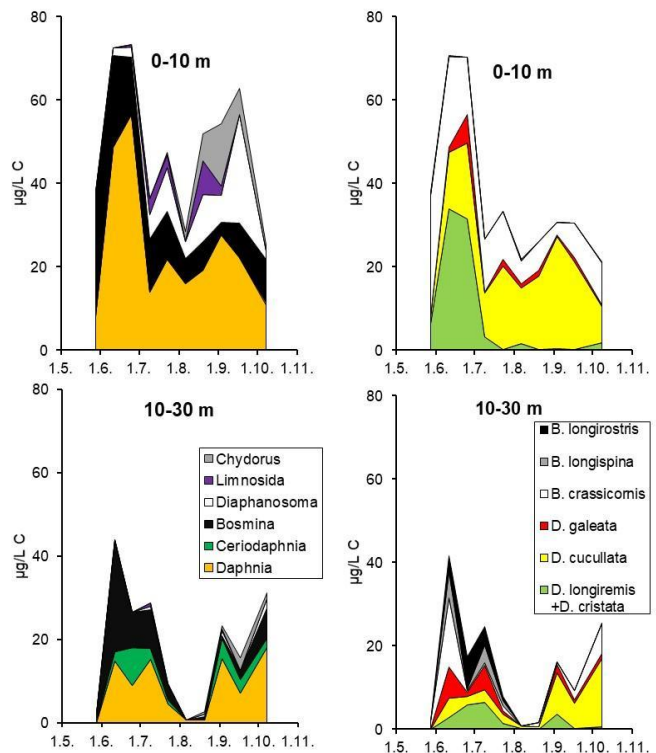
10-30 metrin vesipatsaassa (alusvesi) eläinplanktonbiomassan muodosti alkukesällä valtaosin suurikokoinen (aikuisena 1,6-1,7 mm) jääkauden reliktiäyriäinen *Limnocalanus macrurus* (tämän raportin kansikuvassa), jonka ohella seuraavaksi runsain ryhmä oli vesikirput (Kuva 2). Kun happitilanne alkoi heiketä heinäkuun lopulla (Kuva 3), alusveden eläinplanktonbiomassa romahti ja poikkeuksellisesti aiempiin vuosiin verrattuna *Limnocalanus* ilmestyi päällysveden näytteisiin (Kuva 2). Samalla sen biomassa kuitenkin väheni huomattavasti eikä enää sen jälkeen kasvanut. Tämän hapekasta ja viileää vettä tarvitsevan lajin esiintyminen oli silti mielenkiintoinen ilmiö ylimmässä 10 m kerroksessa lämpötila huomioiden (Kuva 3). Błędzkin ja Rybakin (2016) mukaan sitä on havaittu hyvin harvoin 14°C lämpimämmässä vedessä. Enonselän *Limnocalanus*-populaation on 2000-luvussa osoitettu elävän päivisin pohjanläheisessä vesikerroksessa, mistä se öisin vaeltaa noin 20-25 m syvyyteen (Saarinen 2004).

Loppukesän 2024 lämpötila- ja happitilanne todennäköisesti vaikuttivat *Limnocalanus*-biomassan vähenemiseen samoin kuin ravinnon laatu, jonka heikkeneminen on esitetty tärkeäksi tekijäksi lajin selviytymiselle (Malin 2021). Lisäksi suurikokoisena se herättää kalojen huomion ja on todennäköisesti altis kalojen saalistukselle ylimmissä valaistuissa vesikerroksissa. *Limnocalanus* onkin erinomaista ravintoa kaloille, koska sillä on kaikista makean veden hankajalkaisista suurin lipidi- eli rasvavarasto: 67 % kuivapainosta (Błędzki ja Rybak 2016). Kun vuonna 2023 tarkasteltiin tuoretta, samana päivänä otettua näytettä yksilöissä havaittiin silminnähdenkin runsaasti keltaisena näkyviä rasvavarastoja (Kuoppamäki 2024).

Yksilömäärillä mitattuna Enonselän eläinplanktonyhteisön runsaslukuisin ryhmä oli rataseläimet (Rotifera), mutta pienikokoisina niiden osuus biomassasta oli vähäinen (Kuva 2). Alkueläimiä (Protozoa) esiintyi näytteissä eniten kesä-heinäkuussa, jolloin kuorelliset *Tintinnopsis lacustris* ja *Tintinnidium fluviatile* ripsieläimet ja *Diffugia*-kuoriameebat olivat runsaita. On huomattava että tämä ei anna kuvaa planktonyhteisön alkueläimistä, sillä tavanomainen eläinplanktonitutkimuksessa käytetty näytteenottomenetelmä ei sovellu niiden tutkimiseen: osa lajeista menee 50 µm haavin läpi ja kuorettomat lajit voivat hajota etanolisäilönnässä.

Vesikirppuyhteisön biomassaa vallitsi alkukesällä päällysvedessä *Daphnia*-suku ja suurimman osan siitä muodosti *D. cristata* ja *D. longiremis* (Kuva 4). Loppukesällä *D. cucullata* oli runsain laji, mutta toisin kuin aiempina vuosina, se ei kasvattanut Enonselän vesikirppuyhteisölle tyypillistä toista huippua. Vesijärveen noin 15 sitten ilmestyneen, kohtalaisen kokoisien (Enonselällä aikuisena 1,2 mm) *D. galeata* -lajin osuus biomassasta oli vähäinen, mutta sitä havaittiin etenkin keskikesällä ja hieman runsaampana alus- kuin päällysvedessä (Kuva 4). *Bosmina*-suku oli runsaimmillaan kesäkuun alussa valtalajina *B. crassicornis*, joka oli tasaisen runsas aina näytteenottokauden loppuun eli lokakuulle saakka. Pieni, aikuisenakin vain 0,3 mm mittainen *Chydorus sphaericus* oli aiempien vuosien tapaan runsaimmillaan loppukesällä ja syksyllä. Lämmin pitkä syksy suosi *Diaphanosoma brachyurum* -vesikirppua, joka viihtyy lämpimässä vedessä. Laji kasvaa kohtalaisen kookkaaksi ja kykenee suodattamaan varsin suurikokoistakin ravintoa, jopa yli 150 µm kokoisia partikkeleita (Błędzki & Rybak 2016), joskin aiemmin sen on osoitettu syövän lähinnä pienikokoista ravintoa (Hessen ym. 1989).

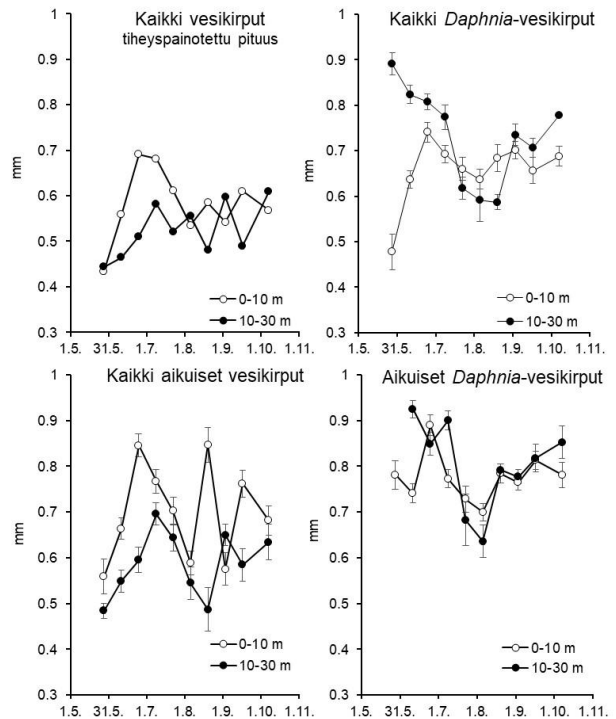
**Kuva 4.** Sestonia suodattavien vesikirppusukujen (vasemmalla) sekä erikseen *Daphnia*- ja *Bosmina*-lajien biomassaa (oikealla) kumulatiivisesti esitettynä 0-10 m (ylhäällä) ja 10-30 m (alhaalla) syvyyksissä vuonna 2024.



### 3.2.2 Vesikirppujen yksilökoko

Kaikkien vesikirppujen lajikohtaisesti tiheyspainotettu keskimääräinen yksilökoko oli alkukesällä pieni, alle puoli millia (Kuva 5). Tätä selitti runsaslukuiset (enimmillään 20 yks./l) *Bosmina*-vesikirput, jotka eivät aikuisenakaan kasva kuin korkeintaan noin 0,6 mm mittaiseksi ja tämä osaltaan selittänee myöhemminkin kesän mittaan heilahtelut etenkin aikuisten vesikirppujen yksilökoossa. Toisaalta alkukesällä päällysvedessä myös *Daphnia*-vesikirput olivat pienikokoisia, huomattavasti pienempiä kuin alusvedessä. Tähän vaikutti nuoruusvaiheiden, ns. juveniilien runsaus mutta saattoi osoittaa myös sen, että planktonia syöviä kaloja oli kohtalaisesti. Troolisaaliin perusteella kuoreen poikasia olikin kohtalaisen runsaasti kesäkuussa 2024 (Malinen & Vinni 2025). Heinä-elokuun taitteessa *Daphnia*-vesikirppujen koko hetkellisesti notkahti, mutta lähti sitten kasvamaan kohti syksyä (Kuva 5). Tämä viittaa siihen, että kalojen, etenkin kuoreen saalistuspaine väheni. Kalatutkimukset osoittivatkin, että loppukesällä kuorekanta oli romahtanut (Malinen & Vinni 2025). Vähähappinen/hapeton vesikerros ylsi tuolloin pohjasta jopa 8 metrin syvyydelle, missä vesi oli myös lämmintä (Kuva 3) ja tilanne aiheutti kuoreromahduksen.

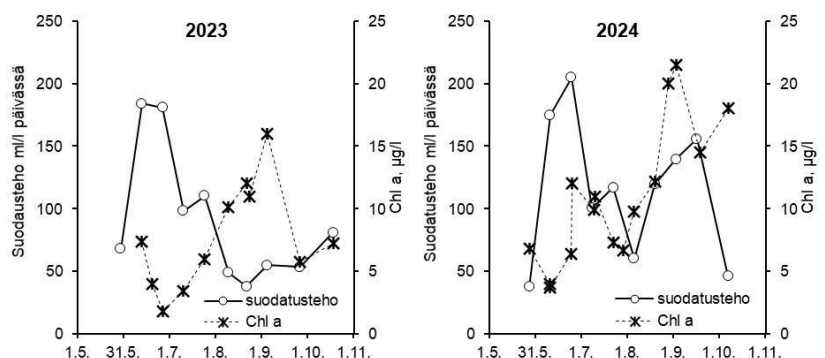
**Kuva 5.** Ylhäällä kaikkien sestonia ravinnokseen käyttävien vesikirppujen tiheyspainotettu yksilökoon keskiarvo ja erikseen kaikkien *Daphnia*-suvun vesikirppujen yksilökoon keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe). Alhaalla kaikkien aikuisten vesikirppujen yksilöiden sekä aikuisten *Daphnia*-vesikirppujen yksilökoon keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe) 0-10 m ja 10-30 m syvyyksillä vuonna 2024. Huom! y-akselin pienin arvo on 0,3 mm (vesikirpun koko ei voi olla 0 mm).



### 3.2.3 Eläinplanktonin kyky säädellä kasviplanktonia

Kasviplanktonin säätelyn kannalta yksi olennainen tekijä järvestä on eläinplanktonin kyky käyttää sitä ravinnokseen. Vesikirppujen suodatusteho ei ole lineaarinen suhteessa yksilökokoon (Knoechel & Holtby 1986). Esimerkiksi siinä missä 0,4 mm mittainen *Bosmina* tai *Daphnian* nuoruusvaiheen yksilö kykenee laskennallisesti laiduntamaan leviä alle 2 ml vesitilavuudesta päivässä, 1 mm mittainen aikuinen *Daphnia* suodattaa yli 10 ml päivässä. Alkukesällä 2024 vesikirppuyhteisön laskennallinen laidunnusteho oli samalla tasolla kuin edellisenäkin vuonna ja vastaavasti klorofyllipitoisuus oli alhainen (Kuva 6). Heinä-elokuun vaihteen notkahduksen jälkeen suodatusteho kasvoi uudelleen kohti syksyä, mikä eroaa edellisvuodesta, jolloin se pysyi alhaisena loppukesällä ja syksyllä (Kuva 6). Tätä eroa selittää puolestaan edellä kuvatut kuorekannan vaihtelun vaikutukset vesikirppuyhteisöön.

**Kuva 6.** Vesikirppujen laskennallinen laidunnusteho (vasen y-akseli) ja kasviplanktonin biomassa (Chl a; oikeanpuoleinen y-akseli) ylimmässä 10 m vesipatsaassa (0-10 m) vuonna 2023 ja 2024.



Suodatustehoon vaikuttaa suuresti lämpötila, mutta sitä tässä käytetty yhtälö (Knoechel & Holtby 1986) ei kuitenkaan huomioi. Loppukesän ja syksyn 2024 lämpimässä vedessä vesikirput saattavat siis suodattaa sestonia suhteessa enemmän kuin alkukesän viileämmässä vedessä. Klorofyllipitoisuus kasvoi silti voimakkaasti syksyä kohti kuten myös edellisenä vuonna (Kuva 6), mitä saattaa selittää kasviplanktonin koostumus. Elokuun lopulla 2023 pitkiä rihmoja kasvattava ja siten heikosti eläinplanktonin ravinnoksi kelpaava *Planktothrix agardhii* -syanobakteeri oli vallitseva laji (data: Hertta-tietokanta, SYKE). Tämän raportin laatimisen hetkellä ei ole tietoa kasviplanktoniyhteisön rakenteesta loppukesällä 2024, mutta 22.10.2024 valtaosan kasviplanktonbiomassasta muodosti niin ikään pitkiä rihmoja kasvattava *Phormidium neotenu* -syanobakteeri. Kaksi viikkoa aiemmin haettiin viimeiset eläinplanktonnäytteet, joissa näitä rihmoja (kuin hiuksia) oli runsaasti (kuvassa näkyy myös hankajalkaisäyriäisiä ja alhaalla keskellä *Bosmina*-vesikirppu):



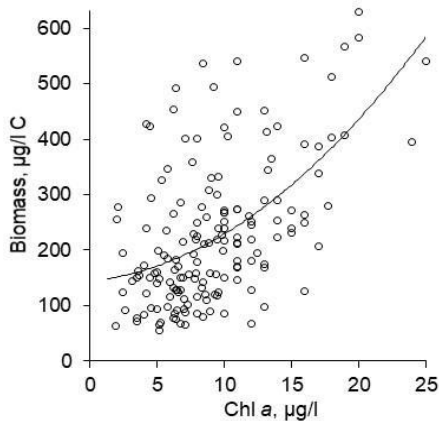
Toisaalta kasviplanktonnäytteet kuvastavat sitä osaa yhteisöstä, joka on jäänyt syömättä. Eläinplankton vaikuttaa sestonia suodattaessaan suuresti leväkoostumukseen. Myös klorofyllipitoisuus voi vääristää todellista, vapaasti vedessä keijuvaa kasviplanktonbiomassaa, sillä klorofyllinäytteet käsitellään seulomattomina ennen suodatusta (1,2 µm GF/C) ja uuttamista. Niinpä niiden mukana mitataan samalla myös eläinplanktonissa oleva klorofylli, jota konsentroiduu sitä syöviin planktoneläimiin, kuten *Daphnia*-vesikirppuihin (kuvat vasemmalla ja keskellä; vasemmanpuoleisimman kuvan ottaja Lasse Tuominen) ja esim. *Synchaeta*-rataseläimiin (oikeanpuoleisin kuva):



Todellinen "vapaana" keijuva levämäärä klorofyllipitoisuudella mitattuna voi siis olla yliarvio todellisesta silloin kun eläinplanktonbiomassa on suuri ja kun valtaosa siitä koostuu sestonia enemmän tai vähemmän tehokkaasti ravinnokseen käyttävistä lajeista. Vesikirput suodattavat varsin valikoimattomasti sestonia, joskin osaavat kuitenkin etsiä hyvälaatuista ravintoa (Taipale ym. 2020). Vuonna 2024 runsaana esiintynyt *Eudiatomus* on erittäin valikoiva kasviplanktonia syövä äyriäinen, joka suosii Vesijärven kultaleviä riippumatta muusta saatavilla



olevasta ravinnosta (Litmanen ym., käsikirjoitus). Eläinplanktonin vaikutus arvioihin kasviplanktonin määrästä saattaa osaltaan olla synnä siihen, että klorofyllipitoisuus selittää sängen heikosti ( $R^2 = 0,24$ ) mikroskoopilla analysoitua kasviplanktonbiomassaa Enonselällä (Kuva 7).



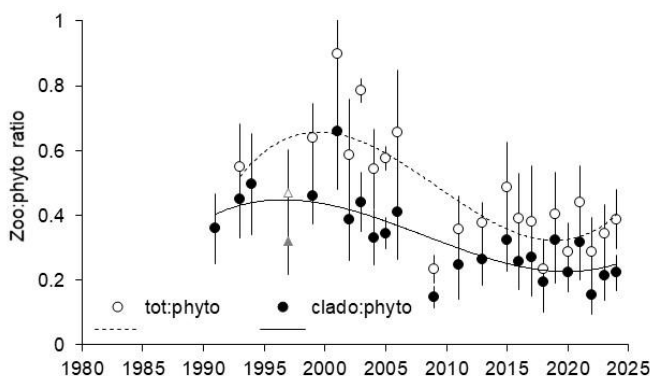
**Kuva 7.** Kasviplanktonin hiilibiomassan suhde klorofyllipitoisuuteen Enonselän näytteissä 1990-luvulta vuoteen 2023. Data: Hertta-tietokanta (SYKE) ja klorofyllin osalta myös eläinplanktonitutkimuksen yhteydessä kerätty aineisto (Helsingin yliopisto ja Vesijärvisäätiö)

#### 4.1 Pitkän aikavälin kehitys

Rehevöityneen järven kunnostuksessa tavoitteena on ravintotason alentamisen ohella ravintoverkon rakenteen muuttaminen sellaiseksi, että se voi osaltaan tukea tavoiteltua kehitystä. Monet tekijät yhdessä vaikuttavat siihen, mihin suuntaan järviökosysteemin rakenne ja toiminta muuttuu tai ei muutu. Kun ekosysteemin rakenne vastustaa muutosta, se on ns. resilientti eli joustava. Eläinplanktonbiomassan suhde kasviplanktonbiomassaan tyypillisesti vähenee rehevöitymisen myötä, mutta etenkin keski- ja runsasravinteisissa järvissä tilannetta voidaan kohentaa ravintoketjukunnostuksen avulla (Yan & Pollard 2018). Suuri- tai edes keskikokoisten *Daphnia*- ja muiden vesikirppujen runsastuminen on yksi keskeisistä tekijöistä, joka voi edistää tällaista kehityskulkua (Fu ym. 2021).

2000-luvulla Enonselän ulapalla keskikokoisten (0,5-1,0 mm) ja suurten (yli 1 mm) vesikirppujen hiilibiomassan suhde kasviplanktonin hiilibiomassaan laski huomattavasti verrattuna 1990-luvun tasoon (Kuva 9). Eläin- ja kasviplanktonin biomassasuhde notkahti voimakkaasti vuosien 2006 ja 2009 välillä. On vaikea arvioida mikä on voinut aiheuttaa näin suuren tasoeron, sillä vuosien 2007 ja 2008 eläinplanktonnäytteitä ei ole analysoitu.

Kasviplanktonbiomassa laskettiin kuvan 7 aineistosta saadulla potenssiyhtälöllä huolimatta siitä että sen antama selitysaste onkin heikko. Nimittäin näin arvioissa pystyttiin käyttämään eläinplanktonnäytteenoton yhteydessä otettujen klorofyllinäytteiden tuloksia kasviplanktonin hiilisisällöksi muunnettuna. Vesijärven velvoitetarkkailussa kasviplanktonin näytteenotto on harvoin sattunut lähelle eläinplanktonin näytteenottoa, saatiikka samalle päivälle. Biomassasuhde on kuitenkin viime vuosien aikana kääntynyt kasvuun, mikä on havaittavissa paitsi vesikirppu- myös *Eudiaptomus*-biomassan suhteessa kasviplanktonbiomassaan (Kuva 8).



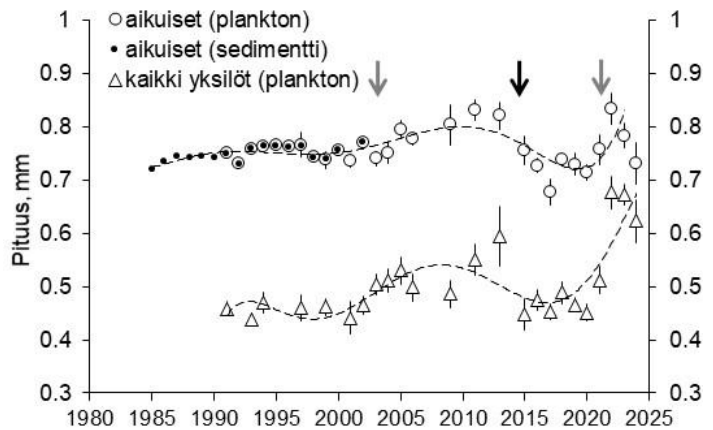
**Kuva 8.** Sestonia ravinnokseen käyttävän eläinplanktonin kokonaisbiomassan suhde kasviplanktonin biomassa (tot:phyto) sekä vastaava suhde laskettuna vain vesikirppubiomassaan nähden (clado:phyto) kasvukauden vuosittaisina keskiarvoina ( $\pm$  keskivirhe) vuosien 1991 ja 2024 välillä. Vuonna 1997 näytteitä haettiin poikkeuksellisesti vain 5 kertaa (11.6.-13.10.), joten tulosten vertailukelpoisuus muihin vuosiin verrattuna ei välttämättä ole kovin hyvä ja siksi ne on osoitettu kolmioilla.

Tällä tavoin tarkasteltuna Enonselän ravintoverkon ja sitä kautta koko ekosysteemin kehitys näyttäisi olevan menossa myönteiseen suuntaan. Se muistuttaa 1990-luvun havaintoja, jolloin Vesijärven tilassa tapahtui

ravintoverkkokunnostuksen ja muiden toimenpiteiden ansiosta merkittävä muutos parempaan ja esimerkiksi aiemmin jokakesäiset sinileväkukinnat katosivat (esim. Kairesalo & Vakkilainen 2004, Keto 2005, Anttila ym. 2013).

Vesikirppujen yksilökoko on heijastellut planktonia syövien kalojen, etenkin kuorekantojen vaihteluita. Aikuisten *Daphnia*-vesikirppujen koko lähti kasvamaan vuosina 1988-1993 toteutetun tehokalastuksen myötä ja on sittemmin reagoinut vastaavalla tavalla hellekesien korkean lämpötilan ja heikon happitilanteen aiheuttamiin kuorekantojen romahduksiin vuosina 2002 (Vakkilainen & Kairesalo 2005) ja 2021 (Kuva 9; ks. myös Nykänen ym. 2010, Anttila ym. 2012). Vaikka kuoreet suosivat viileää, hapekasta vettä, nuoret yksilöt kykenevät sietämään lämmintä vettä. Niiden määrä kasvoi 2010-luvun puolivälissä poikkeuksellisiin lukemiin, mihin arveltiin syyksi vesikerrosten mekaanisen sekoittamisen aiheuttama hyvä happitilanne – vaikkakin samaan aikaan myös korkea lämpötila, seurauksena vesikirppujen koon pieneneminen (Ruuhijärvi ym. 2020). Kun kuorekanta romahti jälleen hellekesänä 2021, vesikirppujen koko lähti kasvamaan (Kuva 9). Kesän 2024 kuoreromahdus ei näy vastaavalla tavalla vesikirppujen yksilökoossa koko kasvukauden keskiarvona, mihin vaikuttanee alkukesän runsaat kuorekannat (Malinen & Vinni 2025).

**Kuva 9.** *Daphnia*-suvun vesikirppujen yksilökoko sedimentin lepomuna-subfossiilien koosta laskettuna (mustat pisteet) sekä planktonnäytteistä mitattujen yksilöiden (valkoiset pisteet ja kolmiot) pituuden kesä-syyskuun vuosikeskiarvo ( $\pm$ keskivirhe) vuosien 1985 ja 2024 välillä. Harmaat nuolet osoittavat ajankohdat, jolloin kuorekanta on romahtanut, ja musta nuoli ajankohdan, jolloin kuore alkoi poikkeuksellisen voimakkaasti runsastua.



Mitä enemmän järvestä on planktonia ravinnokseen käyttäviä kaloja, sitä vähemmän on siis suurikokoisia vesikirppuja (Vakkilainen ym. 2004). Tämä jo suorastaan klassinen ilmiö, jonka dokumentoi ensimmäisenä Brooks ja Dodson (1965), on havaittu laajasti ympäri maailmaa etenkin vesistöjen rehevöitymisen yhteydessä. Toisaalta vähemmän on kerätty aineistoja, joissa havaittaisiin päinvastainen kehitys eli vesikirppukoon kasvu ja suurten vesikirppujen runsastuminen planktonsyöjäkalojen vähentyessä (Gliwicz 2003). Sellainen ilmiö on siis kuitenkin dokumentoitu Vesijärven Enonselällä.

Koska vesikirppujen yksilökoko seurailee vahvasti kala- ja etenkin kuorekantojen suuruutta, sitä voidaan käyttää hyvänä planktonia syövien kalojen runsauden indikaattorina. Varsinkin kuorepopulaatioiden seurannassa tämä on etu, sillä koekalastuksessa käytettävät verkot pyytävät heikosti kuoretta verrattuna muihin kaloihin kuten ahvenen eli antavat siten aliarvion kuoreen todellisesta määrästä (Ruuhijärvi & Ala-Opas 2018).

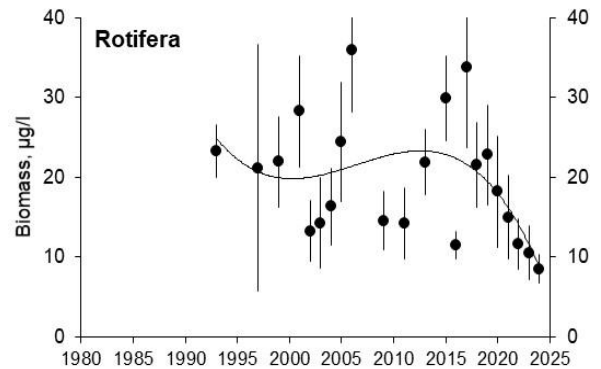
Enonselän eläinplanktonnäytteisiin ilmestyi 2000- ja 2010-lukujen taitteessa *D. galeata*. Tämä aluksi vain satunnaisesti havaittu laji on yhä harvalukuinen verrattuna muihin ulappa-alueen *Daphnia*-lajeihin (*D. cucullata*, *D. cristata* ja *D. longiremis*) mutta on aivan viime vuosina runsastunut. Tietävästi *D. galeata* suosii rehevähköjä järviä, joissa on verraten vähän planktonia syöviä kaloja (Błędzki & Rybak 2016). Laji on itse asiassa voinut olla arvioitua runsaampikin, sillä se on saattanut toisinaan sekoittua eläinplanktonnäytteiden analysoinnin yhteydessä Vesijärven yleensä suvun runsaimpaan *D. cucullata* -lajiin, joka muistuttaa *D. galeataa* ulkonäöltään ja jonka kanssa tämä pystyy lisäksi muodostamaan hybridejä (Błędzki & Rybak 2016). Juveniili- eli nuoruusvaiheet voivat olla joskus hankalia tunnistaa, jos lajimäärityksen kannalta keskeiset mutta pienet tuntomerkit eivät näy. Joka tapauksessa *D. galeata* -vesikirppun esiintyminen ja vähittäinen runsastuminen on Vesijärven tilan kannalta positiivinen signaali.



Planktonia syövien kalojen saalistus säätelee toki muutakin eläinplanktonia kuin vesikirppuja. Rataseläimet on ryhmä, johon kalojen runsaus vaikuttaa epäsuorasti ravintokilpailun kautta. Kun keski- ja suurikokoisten, ravintokilpailussa vahvempien vesikirppujen biomassa vähenee, tilanne suosii rataseläimiä ja samaan suuntaan

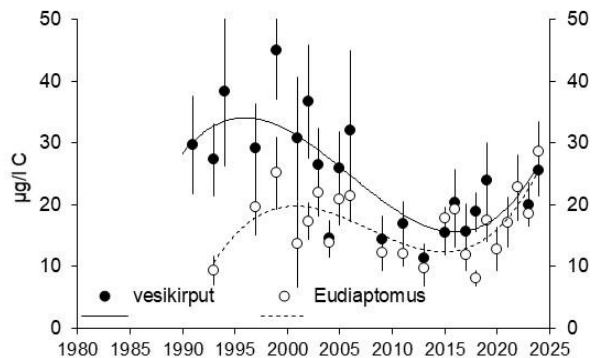
vaikuttaa myös rehevöityminen (Vakkilainen ym. 2004). Vastaavasti voidaan olettaa että kun planktonsyöjäkalojen saalistus vähenee, vesikirppubiomassa kasvaa ja rehevyytaso alenee, rataseläinbiomassa vähenee. Näin onkin havaittavissa Enonselällä: rataseläinten määrä väheni vuonna 2024 jo seitsemättä vuotta peräkkäin (Kuva 10). Rataseläinten kyky säädellä kasviplanktonia on heikko, sillä ne suodattavat vain hyvin pieniä kasviplanktonsoluja ja monet lajit käyttävät ravinnokseen myös bakteeriplanktonia, kuten *Keratella cochlearis*, joka on yksi Vesijärven runsaslukuisimmista rataseläinlajeista.

**Kuva 10.** Rataseläinten biomassan koko vesipatsaaseen (0-30 m) tilavuuspainotettu vuosittainen kasvukauden keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe) vuosien 1994 ja 2024 välillä.



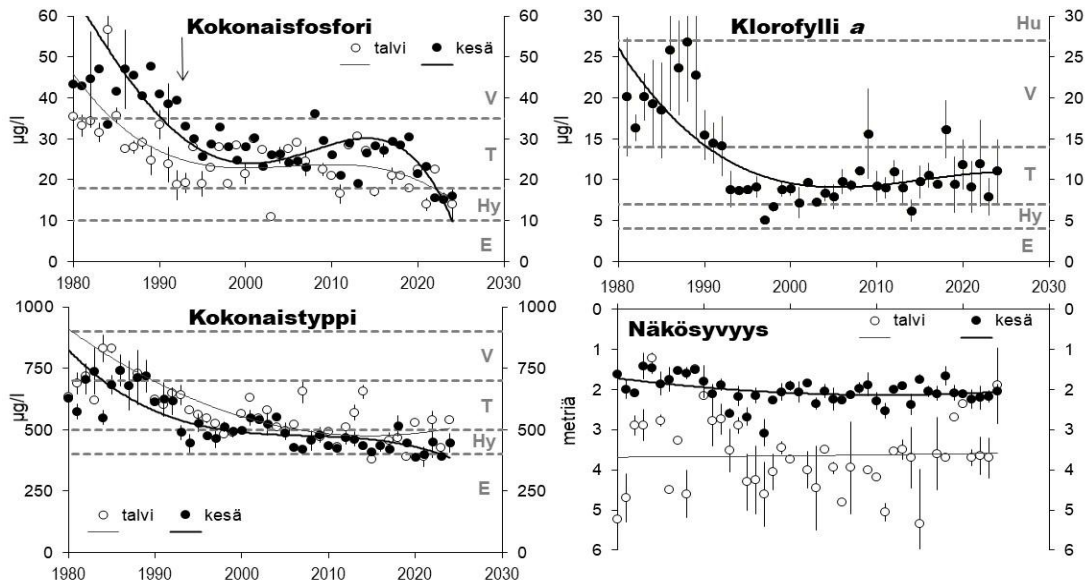
Keijuhankajalkaiset *Eudiptomus gracilis* ja *Heterocope appendiculata* reagoivat voimakkaasti kalojen saalistukseen (Santoja ym. 2017). Viime vuosina Enonselän *Eudiptomus*-biomassa on kasvanut vieläkin selkeämmin verrattuna suuri- ja keskikokoisten vesikirppujen biomassaan (Kuva 11). Näitä muutoksia selittää kalojen saalistuksen ohella kasviplankton: kun ravintoarvoltaan laadukkaita planktonleviä on runsaasti, myös eläinplanktonin määrä kasvaa kun planktonäyriäiset pystyvät lisääntymään tehokkaasti. Esimerkiksi sinilevät ovat ravintoarvoltaan heikkolaatuista ruokaa eläinplanktonille (Taipale ym. 2020). Rasvahappotutkimusten mukaan Vesijärven vesikirput syövät kuitenkin niitäkin, samoin kuin sangen valikoimattomasti kaikkea muuta tarjolla olevaa sestonia, mutta *Eudiptomus* suosii kultaleviä riippumatta siitä mitä muuta kasviplanktonia on tarjolla (Litmanen ym., käsikirjoitus).

**Kuva 11.** Suuri- ja keskikokoisten vesikirppujen sekä *Eudiptomus gracilis* -keijuhankajalkaisen biomassan koko vesipatsaaseen (0-30 m) tilavuuspainotettu kasvukauden keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe) vuosien 1991 ja 2023 välillä.



Vaikka suuri- ja keskikokoisten vesikirppujen biomassa on viime vuosina ollut kasvusuunnassa, se on yhä selvästi alhaisempi kuin 1990-luvulla (Kuva 11). On kuitenkin hyvä huomata, että samaan aikaan Enonselän tuottavuus ravinnepitoisuuksilla mitattuna on myös vähentynyt, mikä heijastuu ravintoverkon ylempien tasojen, mukaan lukien eläinplanktonin biomassaan. Viime vuosina etenkin fosforipitoisuudet ovat pudonneet voimakkaasti kasvukaudella: vuosina 2020 ja 2021 ne olivat 30 % verrattuna 2000-2010-luvuilla vallinneeseen tasoon. Sen jälkeen pudotus jatkui ja viimeisinä kolmena vuonna pitoisuus on ollut puolet kahden edeltävän vuosikymmenen tasosta (Kuva 12). Myös typpipitoisuus on vähentynyt mutta maltillisemmin verrattuna fosforiin. Pelkästään fosforipitoisuudella arvioituna Enonselän ekologinen tila on viime vuosina kohentunut tyydyttävästä hyväksi ja typpipitoisuuden perusteella tila olisi ollut jo toistakymmentä vuotta hyvä (Kuva 12).

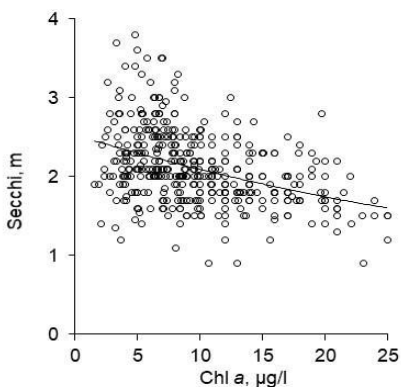
1990-luvun mittaan kokonaisfosforin pitoisuuksissa aiemmin havaittu kesä- ja talviaikainen ero kaventui ja sittemmin käytännössä näyttää hävinneen (Kuva 12). Talveen verrattuna kasvukaudella mitatut korkeammat pitoisuudet johtuivat todennäköisesti biologisista tekijöistä, aikanaan vielä 1980-1990-luvuilla etenkin särkikaloiden aiheuttamasta sisäisestä kuormituksesta eli ravinteiden kierrätyksestä mm. siirtämällä ravinteita biomassassaan rantavyöhykkeestä ulappa-alueille (Horppila ym. 1998).



**Kuva 12.** Kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet (vasemmalla), klorofylli *a* -pitoisuus sekä näkösyvyys (oikealla) vuosina 1980-2024. Ravinnepitoisuudet ja näkösyvyys esitetään erikseen talven ja kasvukauden vuosittaisina keskiarvoina ( $\pm$  keskivirhe), klorofyllipitoisuus vain kasvukauden ajalta (koska levämäärää ei mitata talvella). Kehityskulkua havainnollistavat käyrät on piirretty aineistolle sovitettujen polynomiyhtälöiden perusteella. Harmaat katkoviivat osoittavat ekologisen tilan luokittelussa käytettyjä vähähumuksisten suurten järvien raja-arvoja. Järvien tilasta käytetyt lyhenteet: E = erinomainen, Hy = hyvä, T = tyydyttävä, V = välttävä, Hu = huono

Hankajalkaisäyriäisiin verrattuna vesikirput tarvitsevat kasvuunsa fosforia paljon enemmän kuin typpeä (Hessen ym. 2013). Sen vuoksi niiden sisältämä typpi:fosfori-suhde on alhainen, noin 14:1 (Kalff 2001). Keijuhankajalkaiset kuten *Eudiaptomus* tarvitsevat enemmän typpeä ja niiden N:P-suhde on korkeampi, noin 30-50:1. Nämä ravinnepitoisuuksien muutokset ovat epäilemättä muokanneet Enonselän kasviplanktoniyhteisön rakennetta ja siten heijastuneet eläinplanktonissa havaittuun kehitykseen. Vaikka ravinnetaso on alentunut, se ei kuitenkaan ole näkynyt klorofyllipitoisuuksissa (Kuva 11), mihin voinee vaikuttaa kasviplanktonin mahdolliset lajistomuutokset samoin kuin muut jo edellä käsitellyt klorofyllipitoisuuteen vaikuttavat tekijät. Lisäksi kasviplanktonilajien sisältämä klorofyllipitoisuus vaihtelee ja se voi vaihdella samankin lajin sisällä riippuen kasvuvaiheesta ja ympäristöolosuhteista, kuten valon määrästä ja ravinnepitoisuuksista (Ketola ym. 2014). Kasviplanktoniyhteisön koostumuskin toki huomioidaan järven ekologisen tilan arvioinnissa, mutta on hyvä pitää mielessä että sillä tavoin saadaan käsitys vain siitä leväyhteisöstä, joka on jäänyt jäljelle eläinplanktonin laidunnuksen jälkeen (vrt. Litmanen ym., käsikirjoitus).

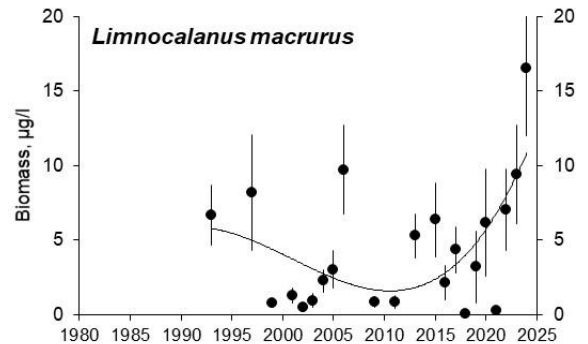
Enonselän näkösyvyys on ollut avovesikaudella selkeästi heikompi kuin talvisaikaan ja pysynyt varsin samalla, noin kahden metrin tasolla 1980-luvulta asti. Poikkeuksen tekee 1990-luvun puoliväli, jolloin mitattiin huomattavasti suurempia lukemia (Kuva 11). Siinä missä klorofyllipitoisuus selittää sängen heikosti kasviplanktonbiomassaa (Kuva 7) se selittää heikosti myös näkösyvyyttä ( $R^2 = 0,24$ ; Kuva 12). Näkösyvyyteen vaikuttaa kasviplanktonin ohella Enonselän laajoilta matalilta alueilta tapahtuva resuspensio eli sedimentin sekoittuminen vesipatsaaseen (Koski-Vähälä ym. 2000). Lisäksi tiheet eläinplanktonin parvetkin voivat vaikuttaa näkösyvyyteen.



**Kuva 12.** Näkösyvyyden (=secchi) suhde klorofyllipitoisuuteen (Chl *a*) Enonselällä vuosina 1994-2024.

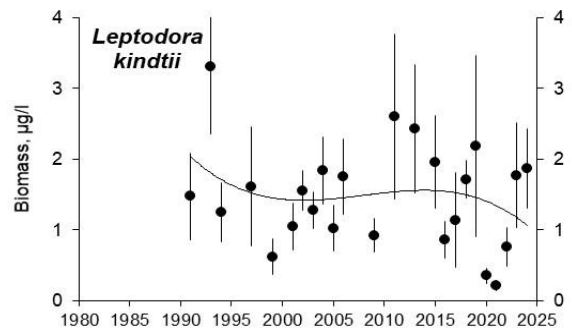
*Limnocalanus macrurus* oli erityinen vuonna 2024 paitsi poikkeuksellisen kasvukauden aikaisen esiintymisensä vuoksi myös siksi että sen biomassassa oli vuonna 2024 suurempi kuin koskaan ennen Vesijärven eläinplanktonseurannan aikana (Kuva 13). Laji on kaikkiruokainen eli omnivori, joka syö kasviplanktonia ja saalistaa eläinplanktonia. Näin runsaana esiintyessään sen saalistus on todennäköisesti vaikuttanut havaittuihin muun äyriäisplanktonin biomassoihin – ja päinvastoin.

**Kuva 13.** *Limnocalanus macrurus* -keijuhankajalkaisen biomassan koko vesipatsaaseen (0-30 m) tilavuuspainotettu vuosittainen kasvukauden keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe) vuosien 1994 ja 2024 välillä.



Ulappa-alueen selkärangattomat pedot, kuten *Limnocalanus* syövät mieluummin pieniä kuin suurikokoisia vesikirppuja, koska ne eivät kykene käsittelemään suurta saalista (Kerfoot & Sih 1987). Tällaisiin petoihin lukeutuvat Vesijärvellä myös vesikirput *Bythotrepes longimanus* ja *Leptodora kindtii*. Vesijärven eläinplanktonnäytteistä *Bythotrepes*-havaintoja on tehty vain satunnaisesti ja lähinnä loppukesällä, kuten myös vuonna 2024. *Leptodora*-biomassat ovat vaihdelleet Enonselällä vailla selkeää trendiä. Vuosina 2023-2024 se oli selvästi runsaampi kuin esimerkiksi edeltävinä vuosina 2020-2022 (Kuva 14). *Leptodora* kykenee väistämään planktonnoudinta, joten havainnot sen runsauden vaihteluista voivat merkittävässäkin määrin johtua menetelmällisistä tekijöistä.

**Kuva 14.** *Leptodora kindtii* -vesikirpun biomassan koko vesipatsaaseen (0-30 m) tilavuuspainotettu vuosittainen kasvukauden keskiarvo ( $\pm$  keskivirhe) vuosien 1994 ja 2024 välillä.



Vuonna 2024 eläinplanktonnäytteistä löytyi muitakin suurikokoisia selkärangattomia petoja kuin tavanomaisia Vesijärven planktonyhteisön lajeja. Aiemmin vain kerran-pari kertaa havaituista eläimistä alusveden näytteistä löytyi *Chaoborus*-sulkasääsken toukka (ao. kuvista vasemmalla), joka on peto ja syö eläinplanktonia, sekä kaksi *Mysis relicta* jäännemassiaista (kuva oikealla), joka saalistaa eläinplanktonia mutta jos planktonäyriäisiä on niukasti, syö myös kasviplanktonia ja detritusta:



Ottaen huomioon menetelmän, jolla eläinplanktonnäytteet kerätään, sulkasääsken toukkia ja jäännemassaisia on täytynyt olla Enonselällä kohtalaisesti päätyäkseen halkaisijaltaan 15 cm putkinoutimeen. Kaiken lisäksi 28.5.2024 10-30 m syvyydestä otetusta näytteestä löytyi, joko järvikatka *Gammarus lacustris* tai (vähemmän todennäköisesti) purokatka *G. pulex*. Näiden kahden lajin erottaminen toisistaan on haastavaa eikä siihen tämän tutkimuksen puitteissa ryhdytty. Katkat käyttävät ravinnokseen detritusta ja leviä. Mainittakoon että purokatkaa havaittiin runsaasti kaupunkiekologian kenttäkurssilla vuonna 2017 Lahdessa Saksalankadun vieressä virtaavassa Paskurinojassa (Gausul & Hurstinen 2017).



## 5. Loppupäätelmiä

Vuosi 2024 oli Vesijärven eläinplanktonyhteisön kehityksessä mielenkiintoinen poiketessaan monin tavoin aiemmista vuosista. Toisaalta useiden kehityskulkujen havaittiin etenevän tällä hetkellä johdonmukaisesti samaan, järven tilan kannalta hyvään suuntaan, kuten suuri- ja keskikokoisen kasviplanktonia syövän äyriäisplanktonin biomassan kasvu viime vuosina. Tämä myös korostaa miten arvokasta tietoa jatkuva vuosittainen seuranta on tuonut. Rataseläinten biomassa ja siis osuus eläinplanktonyhteisössä on vähenemässä todennäköisesti vesikirppujen merkityksen vahvistuttua, mikä tämäkin on hyvä muutos. Niiden kyky säädellä kasviplanktonia on olematon, sillä ne syövät vain pienikokoisia leväsoluja sekä bakteeriplanktonia ja detritusta.

Kuorepopulaation romahdus heijastui vesikirppujen yksilökoon kasvuna loppukesällä, mikä vedenlaadun kannalta on positiivinen ilmiö. Kuhalle sen tärkeimmän saaliskalan väheneminen on kuitenkin kielteinen ilmiö ja äyriäisplanktonin kärsii, mikäli särki valtaa kuorelta vapautuvan tilan ulappa-alueella. Ainakin toistaiseksi sen paikan on ottanut ahven (Malinen & Vinni 2025), joka Enonselällä suosii ravinnossaan Leptodora-petovesikirppua (Ruuhijärvi ym. 2020). Ilmastonmuutoksen myötä kuoreromahduksia aiheuttavien hellekesien on ennustettu yleistyvän ja odotettavissa on myös kuormituksen voimistumista, kun rankkasateet yleistyvät ja talviaikainen sadanta kasvaa (Ruosteenoja ym. 2016, Pflaederer ym. 2019). Kohoavat kesän lämpötilat myös suosivat sinileviä (Kosten ym. 2012). Ilmastonmuutos tuo siis haasteita rehevien järvien kunnostukseen. Yksi keino vastata tähän haasteeseen on pyrkiä ylläpitämään sellaista ravintoverkon rakennetta, joka kykenee edistämään aineen siirtymistä ravintoketjussa ylöspäin eli käytännössä kookkaat kasviplanktonia laiduntavat planktonäyriäiset, jotka ovat myös kaloille arvokasta ravintoa. Kalakantojen säätöohjelmien ohella uposlehtisen vesikasvillisuuden esiintyminen Enonselän laajoilla matalilla alueilla edistäisi järven hyvää tilaa, kuten tapahtui 1990-luvulla: ennen Enonselän kunnostustoimia uposkasvillisuuden esiintymisen suurin syvyys oli 2 m mutta sen jälkeen niitä kasvoi aina 4 m syvyyteen asti (Venetvaara & Lammi 1995). Laskennallisesti uposkasvien valtaama alue kasvoi 4,8 km<sup>2</sup> kokoisesta 8,5 km<sup>2</sup> laajuiseksi, mikä tarkoitti käytännössä myös merkittävän suojapaikkavaikutuksen eläinplanktonille kalojen saalistukselta (Vakkilainen 2005). Tämäntapaiset ilmiöt synnyttävät itse itseään ruokkivan myönteisen kehityksen kohti järven parempaa ekologista tilaa.

Vesijärven ekosysteemin pitkään jatkunut joustavuus eli resilienssi kunnostustoimia vastaan näyttäisi nyt olevan heikompi kuin ennen, mikä onkin edellytys rehevän järven toipumisessa. Siihen menee kaikista tehokkaistakin kunnostustoimista huolimatta tyypillisesti kauan, vuosikymmeniä. Vesijärven Enonselällä tehdyn pitkäaikaisen seurannan ja tutkimuksen ansiosta voidaan osoittaa, että tämä suotuisa kehitys, vaikkakin hidas, on mahdollinen tällaisessa aikanaan niinkin pahoin likaantuneessa järvessä. On silti odotettavissa, että ajallista vaihtelua tulee olemaan jatkossakin eikä dynaamisissa ekosysteemeissä voida olettaa ns. pysyvää tilaa. Sinileväkukintoja voi syntyä niukkaravinteisissakin järvissä, kun olosuhteet sille sattuvat olemaan otolliset (Reinl ym. 2021). Vesijärven kehitystä onkin tärkeää seurata myös jatkossa. On olemassa paljon dokumentaatiota siitä miten järvet rehevöityvät, mikä sen aiheuttaa ja mitkä ovat seuraukset. Vähemmän on dokumentaatiota päinvastaisesta kehityksestä, kuten nyt Enonselällä. Kaiken lisäksi Enonselältä kerätyt aineistot tarjoavat arvokasta tietoa, jota voidaan hyödyntää muillakin, yhä rehevöitymisiongelmissä kärsivillä järvilla.

## 6. Kirjallisuus ja muut viitatu lähteet

- Ala-Opas, P., Ruuhijärvi, J. & Kulo, K. 2022. Vesijärven koekalastukset 2022. Luonnonvarakeskus.
- Anttila, S., Ketola, M., Kuoppamäki, K. & Kairesalo, T. 2013. Identification of a biomanipulation-driven regime shift in Lake Vesijärvi: implications for lake management. *Freshw. Biol.* 58: 1494-1502.
- Błędzki, L.A. & Rybak, J.I. 2016. *Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe*, Springer.
- Brooks, J.L. & Dodson, S.I. 1965. Predation, body size and composition of plankton. *Science* 150: 28-35.
- Carpenter, S.R. 2003. Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation. *Excellence in Ecology 15*, International Ecology Institute, Germany.
- Etelä-Suomen Sanomat 2021. Vesijärven Enonselällä parveilee liki 10 000 lokin joukko - syynä luultavasti kalaparvien joukkokuolema. [www.ess.fi/paikalliset/4226890](http://www.ess.fi/paikalliset/4226890) (sivustolla vierailtu 7.12.2023)
- Fu, H., Özkan, K., Yan, G., Johansson, L.S., Søndergaard, M., Lauridsen, T. & Jeppesen, E. 2021. Abiotic and biotic drivers of temporal dynamics in the spatial heterogeneity of zooplankton communities across lakes in recovery from eutrophication. *Sci. Tot. Env.* 778: 146368.
- Gausul, A. & Hurstinen, T. 2017. Evaluating the level of urban stream syndrome in two streams in the city of Lahti, Finland. University of Helsinki, Field course in urban environmental issues (kurssiraportti)
- Gliwicz, M. 2003. Between hazards of starvation and risk of predation: the ecology of offshore animals. *Excellence in Ecology 12*, International Ecology Institute, Germany.
- Hietala, J., Vakkilainen, K. & Kairesalo, T. 2004. Community resistance and change to nutrient enrichment and fish manipulation in a vegetated lake littoral. *Freshw. Biol.* 49: 1525-1537.
- Hessen, D.O., Elser, J.J., Sterner, R.W. & Urabe, J. 2013. Ecological stoichiometry: an elementary approach using basic principles. *Limnol. Oceanogr.* 58: 2219-2236.
- Horppila, J., Ruuhijärvi, J., Rask, M., Karppinen, C., Nyberg, K. & Olin, M. 2000. Seasonal changes in the diets and relative abundances of perch and roach in the littoral and pelagial zones of a large lake. *J. Fish Biol.* 56, 51-72.
- Hulot, F.D., Lacroix, G. & Loreau, M. 2014. Differential responses of size-based functional groups to bottom-up and top-down perturbations in pelagic food webs: a meta-analysis. *Oikos* 123: 1291-1300.
- Jeppesen, E., Jensen, J.P., Amsinck, S., Landkildehus, F., Lauridsen, T. & Mitchell, S.F. 2002. Reconstructing the historical changes in Daphnia mean size and planktivorous fish abundance in lakes from the size of Daphnia ephippia in the sediment. *Journal of Paleolimnology* 27, 133-143.
- Jeppesen, E., Nøges, P., Davidson, T.A., Haberman, J., Nøges, T., Blank, K., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Sayer, C., Laugaste, R., Johansson, L.S., Bjerring, R. & Amsinck, S.L. 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 676: 279-297.
- Kairesalo, T. & Vakkilainen, K. 2004. Lake Vesijärvi and the City Lahti (southern Finland): comprehensive interactions between the lake and the coupled human community. *SILnews* 41, 1-5.
- Kalff, J. 2001. *Limnology: inland water ecosystems*. Prentice Hall.
- Kerfoot, W.C. & Sih, A. (toim.) 1987. Predation: direct and indirect impacts on aquatic communities. Univ. Press of New England.
- Keto, J., Tallberg, P., Malin, I., Vääränen, P. & Vakkilainen, K. 2005. The horizon of hope for L. Vesijärvi, southern Finland: 30 years of water quality and phytoplankton studies. – *Verh. Int. Verein. Limnol.* 29: 448-452.
- Ketola, M., Kuoppamäki, K., Huotari, J., Seppälä, J., Kotamäki, N. & Kallio, K. 2014, sivut 41-49 teoksessa: Huotari, J. & Ketola, M. (toim.) *Jatkuvatoiminen levämäärien mittaus: Hyvät mittauskäytännöt ja aineiston käsittely*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, Ympäristöhallinnon ohjeita no. 5.
- Knoechel, R. & Holtby, B.L. 1986. Construction and validation of a body-length-based model for the prediction of cladoceran community filtering rates. *Limnol. Oceanogr.* 31: 1-16.
- Koski-Vähälä, J., Hartikainen, H. & Kairesalo, T. 2000. Resuspension in regulating sedimentation dynamics in Lake Vesijärvi. *Arch. Hydrobiol.* 148: 357-381.
- Kosten, S., Muszar, V.L., Bécares, E., Costa, L.S., Van Donk, E., Hansson, L.-A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeio, N., de Meester, L., Moss, B., Lüring, M., Nøges, T., Romo, S. & Scheffer, M. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology* 18: 118-126.
- Kuoppamäki, K. 2021, 2022 & 2023. Vesijärven eläinplanktonraportit. KVVY Yhdistys
- Latja R. & Salonen K. 1978. Carbon analysis for the determination of individual biomasses of planktonic animals. *Verh. Int. Verein. Limnol* 20: 2556-2560.
- Lindenmayer, D.B. & Likens, G.E. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *TREE* 24: 482-486.
- Luokkanen, E. 1995. Vesikirppuyhteisön lajisto, biomassa ja tuotanto Vesijärven Enonselällä. Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskuksen raportteja ja selvityksiä 25.
- Mazumder A. 1994. Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting herbivory and thermal stratification: predictions and patterns. *Can. J. Aquat. Sci.* 51: 390-400.
- Nykänen, M., Malinen, T., Vakkilainen, K., Liukkonen, M. & Kairesalo, T. 2010. Cladoceran community responses to biomanipulation and re-oligotrophication in Lake Vesijärvi, Finland, as inferred from remains in annually laminated sediment. *Freshw. Biol.* 55: 1164-1181.
- Pfleiderer, P., Schleussner, C.-F., Kornhuber, K., & Coumou, F. 2019. Summer weather becomes more persistent in a 2 °C world. *Nat. Clim. Chang.* 9, 666-671.
- Reinl, K.L., Brookes, J.D., Carey, C.C., Harris, T.D., Ibelings, B.W., Morales-Williams, A.M., De Senerpont Domis, L., Atkins, K.S., Isles, P.D., Venkiteswaran, J.J., Yokota, K. & Zhan, Q. 2021. Cyanobacterial blooms in oligotrophic lakes: shifting the high-nutrient paradigm. *Freshw. Biol.* 66: 1846-1859.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP Forcing scenarios. *Geophysica* 51, 17-50.
- Ruuhijärvi, J., Malinen, T., Kuoppamäki, K., Ala-Opas, P. & Vinni, M. 2020. Responses of food web to hypolimnetic aeration in Lake Vesijärvi. *Hydrobiologia* 847: 4503-4523.
- Saarinen, T. 2004. Petoäyriäisten merkitys Vesijärven ulappavyöhykkeen eläinplanktonyhteisössä. Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitoksen tutkimuksia ja raportteja 24.
- Santonja, M., Minguez, L., Gessner, M.O. & Sperfeld, E. 2017. Predator-prey interactions in a changing world: humic stress disrupts predator threat evasion in copepods. *Oecologia* 183, 887-898.
- Schindler, D.W., Hecky, R.E., Findlay, D.L., Stainton, M.P., Parker, B.R., Paterson, M.J., Beaty, K.G., Lyng, M. & Kasian, S.E.M. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *PNAS* 105, 11254-11258.
- SFS 5772. Veden a-klorofyllipitoisuuden määrittäminen. Etanoliluotto. Spektrofotometrinen menetelmä. Suomen standardoimisliitto SFS.
- Telesh I.V., Rahkola M. & Viljanen M. 1998. Carbon content of some freshwater rotifers. *Hydrobiologia*, 387/388: 355-360.

- Vakkilainen, K. 2005. Submerged macrophytes modify food web interactions and stability of lake littoral ecosystems. University of Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-2751-7>
- Vakkilainen, K., Kairesalo, T., Hietala, J., Balayla, D., Bécares, E., van de Bund, W., van Donk, E., Fernández-Aláez, M., Gyllström, M., Hansson, L.-A., Miracle, M. R., Moss, B., Romo, S., Rueda, J. & Stephen, D. 2004. Response of zooplankton to nutrient enrichment and fish in shallow lakes: a pan-European mesocosm experiment. *Freshw. Biol.* 49, 1619-1632.
- Vakkilainen, K. & Kairesalo, T. 2005. Zooplankton community responses to the fish stock management of Lake Vesijärvi, southern Finland: changes in the cladoceran body size in 1999-2003. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 29: 488-490.
- Vanderploeg, H.A., Ludsin, S.A., Cavaletto, J.F., Höök, T.O., Pothoven, S.A., Brandt, S.B., Liebig, J.R. & Lang, G.A. 2009. Hypoxic zones as habitat for zooplankton in Lake Erie: Refuges from predation or exclusion zones? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 381: S108-S120.
- Vasama A. & Kankaala P. 1990. Carbon-length regressions of planktonic crustaceans in Lake Ala-Kitka (NE Finland). *Aqua Fennica*, 20, 95–102.
- Weider, L.J. & Lampert, V. 1985. Differential response of *Daphnia* genotypes to oxygen stress: respiration rates, hemoglobin content and low-oxygen tolerance. *Oecologia* 65: 487-491.
- Yan, L.L. & Pollard, A.I. 2018. Changes in the relationship between zooplankton and phytoplankton biomasses across a eutrophication gradient. *Limnol. Oceanogr.* 63: 2493-2507.
- YLE Uutiset 2021. Lähes kymmentuhatta loppia ahmii helteen tappamia pikkukaloja Lahdessa – biologin mukaan järvessä on poikkeuksellisen paha happikato. <https://yle.fi/uutiset/3-12023326> (sivustolla vierailtu 7.12.2023)