

Pro gradu -tutkielma

**Järven rehevyyden vaikutus ahvenen (*Perca fluviatilis*)
eri kehitysvaiheiden omega-3
rasvahappokoostumukseen**

Lauri Anttila



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Akvaattiset tieteet

28.03.2019

Lauri Anttila Järven rehevyyden vaikutus ahvenen (*Perca fluviatilis*) eri kehitysvaiheiden omega-3 rasvahappokoostumukseen
Pro gradu -tutkielma: 46 s., 3 liitettä (14 s.)
Työn ohjaajat: Dos. Sami Taipale, Dos. Anne-Mari Ventelä
Tarkastajat: Dos. Paula Kankaala, Dos. Sami Taipale
Maaliskuu 2019

Hakusanat: eikosapentaeenihappo, dokosaheksaeenihappo, lipidit, järvikala, akvaattinen ravintoverkko

Omega-3 rasvahapot ovat kaikille eläimille fysiologisesti välttämättömiä. Ihmisen terveydelle hyödyllisimpiä omega-3 rasvahappoja ovat pitkäketjuiset eikosapentaeenihappo (EPA) ja dokosaheksaeenihappo (DHA), joita järvien kasviplanktonlevät valmistavat entsyymiaivusteisesti. Erityisesti kirkasvetisissä järvissä viihtyvät kulta-, panssarisiima-, pii- ja nielulevät pystyvät valmistamaan runsaasti EPA:a ja DHA:ta. Eläinplanktonin, kalojen ja muiden kuluttajien kyky muuntaa lyhytketjuisia rasvahappoja pitkäketjuisiksi on havaittu heikoksi, ja siten kuluttajat ovat riippuvaisia levien rasvahappotuotannosta. Kalat ovat ihmiselle tärkein linkki akvaattiseen ravintoverkkoon ja siten korvaamaton pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen lähde. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on havaittu ahvenen (*Perca fluviatilis*) EPA- ja DHA-pitoisuuksien vaihtelevan voimakkaasti erityyppisten järvien välillä. Aiempi tutkimus on kuitenkin keskittynyt kookkaimpiin yksilöihin, joiden ravinto koostuu pääasiassa kalaravinnosta. Ahvenen ravinnonkäyttö muuttuu kasvukehityksen myötä. Poikasvaiheessa se syö eläinplanktonia, josta vähitellen siirtyy pohjaeläimiin ja edelleen kaloihin. Yksilön kehitysvaiheen ja järven rehevyyden vaikutusta ahvenen rasvahappokoostumukseen tutkittiin rehevän ja keskiravinteisen lounaissuomalaisen järven ahvenpopulaatioita vertailemalla. Järvien ravintoverkon laatua seurattiin yhden kesän ajan säännöllisillä kasviplankton- ja eläinplanktonnäytteillä. Lisäksi kertaluonteisella näytteenotolla tutkittiin surviaissääsken toukkien rasvahappokoostumusta. Tutkimuksessa ahventen kehitysvaiheen mittarina käytettiin kalan ikää ja pituutta. Lisäksi ahventen sijaintia ravintoketjussa arvioitiin typen vakaan isotoopin (¹⁵N) määrittämisellä. Rasvahappokoostumuksen ja lipidiprosentin määrittämiseksi ahvenilta otettiin lihasnäyte selkävän juuresta. Rehevän järven ahventen havaittiin sisältävän vähemmän terveydelle hyödyllisiä omega-3 rasvahappoja (EPA+DHA) kaikissa yksilön kehitysvaiheissa. Ahvenen lihaksen rasvahappojen suhteellisissa osuuksissa ei kuitenkaan havaittu järvien välisiä eroa. Keskiravinteisen järven ahvenet olivat kokonaisuudessaan rehevän järven ahvenia rasvaisempia, jolloin myös omega-3 rasvahappojen pitoisuus oli suurempi. Lisäksi havaittiin kaikkein pienimpien ahventen olevan rasvahappokoostumukseltaan terveellisintä ravintoa, sillä ahventen EPA+DHA-pitoisuus korreloi negatiivisesti pituuskasvun kanssa.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science
Department of Biological and Environmental Science
Aquatic sciences

Lauri Anttila The effect of lake eutrophication on omega-3 content in
different developmental stages of Eurasian perch (*Perca
fluviatilis*)
MSc thesis: 46 p., 3 appendices (14 p.)
Supervisors: Docent Sami Taipale, Docent Anne-Mari Ventelä
Inspectors: Docent Paula Kankaala, Docent Sami Taipale
March 2019

Omega-3 fatty acids are physiologically essential for animals. The healthiest omega-3 fatty acids for humans are long-chain eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), which are synthesized by aquatic algae. Especially chrysophytes, dinoflagellates, cryptophytes and diatoms have good ability to synthesize long-chain omega-3 fatty acids. The ability of zooplankton, fish and other consumers to convert short-chain fatty acids to EPA and DHA has been found to be weak and thus consumers are depending on fatty acid production of algae. Fish are the most important link between aquatic food webs and humans and thus also invaluable source of omega-3 fatty acids. Recent studies have shown that the nutritional value of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) varies greatly between different types of lakes. However, the research has mainly focused on the piscivorous individuals. Perch have ontogenic dietary change. Young perch eats zooplankton, from which it is gradually transferred to benthic animals and further to fish. In this thesis the effects of the developmental stage of individual and eutrophication of the lake to fatty acid composition of the perch was studied by comparing the perch populations of eutrophic and mesotrophic lakes in southwest Finland. The quality of the food web of the lakes was monitored during one summer with regular phytoplankton and zooplankton samples. Additionally Chironomidae larvae was sampled once. In this study, the age and length of the fish were used as a measure of the developmental stage of perch. In addition, the location of the perch in the food chain was estimated by determining a stable isotope of nitrogen (¹⁵N). Dorsal muscle sample was taken to analyze the fatty acid and lipid composition of the perch. Perch in eutrophic lake were found to contain less health beneficial omega-3 fatty acids (EPA + DHA) at all developmental stages than in less productive lake. However, the relative proportions of fatty acids did not exactly distinguish between lakes, but the perch in the mesotrophic lake had higher lipid percent than the perch of the eutrophic lake. Because of this, the concentration of omega-3 fatty acids were also higher. In addition, EPA and DHA concentrations of the perch was found to decrease with size, so that the smallest perch had the most nutritious fatty acid composition.

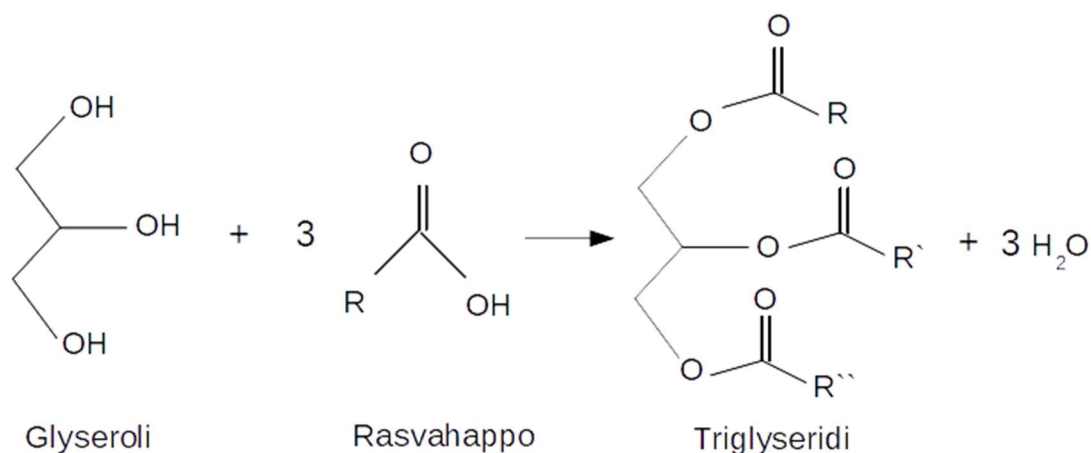
SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1. Lipidit ja rasvahapot.....	1
1.2. Pitkaketjuisten omega-3 rasvahappojen tuotanto ja merkitys	3
1.3. Tutkimusaihe ja hypoteesit	6
AINEISTO JA MENETELMÄT	8
2.1. Tutkimusalue	8
2.2. Aineistonkeruu.....	9
2.3. Näytteen esikäsittely.....	11
2.4. Kalanäytteet ja iänmääritys	12
2.5. Lipidiprosentin ja rasvahappokoostumuksen määrittäminen	13
2.6. Isotooppianalyysit.....	16
2.7. Tilastolliset testit	16
3 TULOKSET	17
3.1. Järvien vedenlaatu	17
3.2. Planktoniyhteisö.....	18
3.3. Rasvahappo- ja lipidikoostumus	21
3.3.1. Seston.....	21
3.3.2. Vesikirput ja surviaissääsken toukat	23
3.3.3. Ahvenet	25
3.4. Ahventen ¹⁵ N-isotoopit	32
4 TULOSTEN TARKASTELU	33
4.1. Ahvenen ravintoketjun alemmien trofiatasojen rasvahappokoostumus	33
4.2. Ahvenen lipidi- ja rasvahappokoostumus	35
4.3. Yhteenveto	39
KIITOKSET	41
KIRJALLISUUS	41
LIITTEET	47

1 JOHDANTO

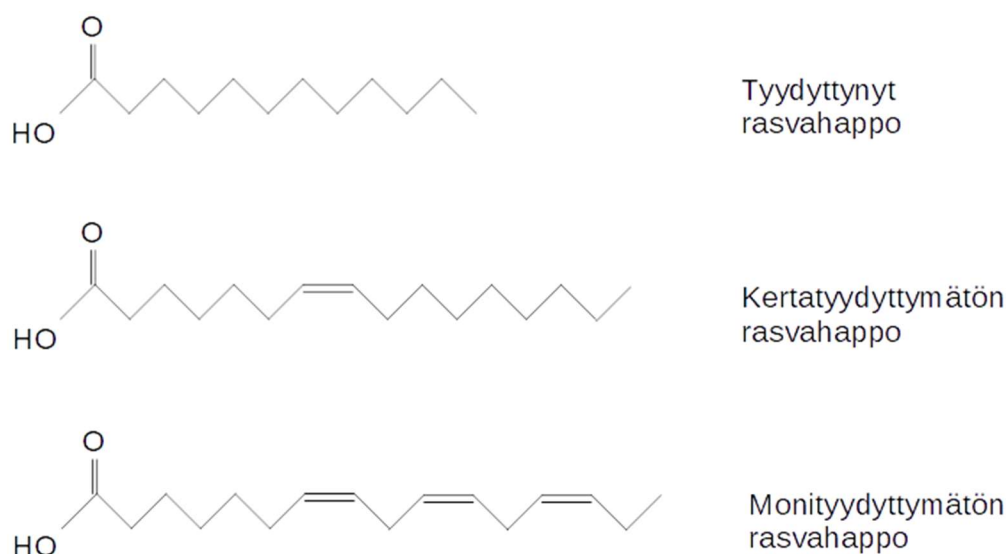
1.1. Lipidit ja rasvahapot

Lipidit eli rasva-aineet ovat epäyhtenäinen joukko eliöiden kudoksissa ja solukoissa syntyneitä, veteen liukenemattomia orgaanisia yhdisteitä. Lipideihin luokiteltaviin yhdisteisiin kuuluvat esimerkiksi glykolipidit, fosfolipidit, steroidit ja triglyseridit. Lipidien rakenne perustuu yleensä glyserolimolekyylisiin, ja siihen esteröitymisreaktioiden kautta liittyneisiin rasvahappoihin (Kuva 1). Glyserolissa on kolme hydroksyyliiryhmää, joihin voi rasvahappojen lisäksi olla liittyneenä myös muita molekyylejä, kuten fosfolipideissä esiintyvä fosforihappo (H_3PO_4) tai glykolipideissä esiintyvät hiilihydraatit. Triglyserideissä eli varastorasvoissa glyserolin kaikkiin hydroksyyliiryhmiin on liittynyt rasvahappo (Kuva 1). Rasvahappojen pitkien hiilivetyketjujen ansiosta lipidit liukenevat hyvin orgaanisiin poolittomiin yhdisteisiin kuten asetoniin ja bentseeniin. Lipidit muodostavat monipuolisen joukon rakenteeltaan erilaisia yhdisteitä. Esimerkiksi steroidit muodostuvat useimmista muista lipideistä poiketen syklisistä hiiliketjuista. Lipideillä on soluissa ja kudoksissa monenlaisia tärkeitä tehtäviä. Lipidit toimivat esimerkiksi energiavarastoina, solujen rakennusaineena ja viestimolekyyleinä.



Kuva 1. Triglyseridi muodostuu glyserolista ja rasvahapoista esteröitymisreaktion kautta.

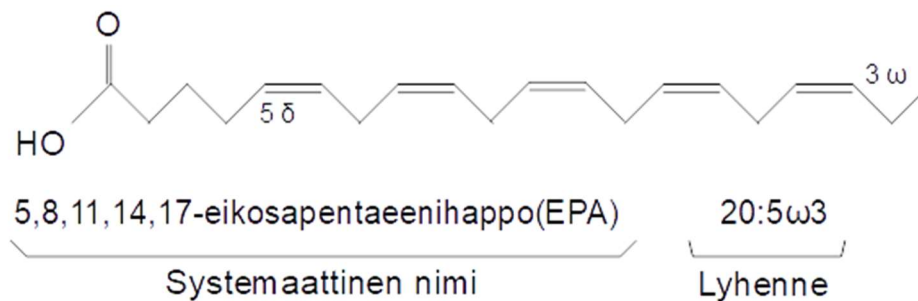
Suurin osa rasvahapoista on kudoksissa ja solukoissa sitoutuneena lipideihin, mutta pieni osa rasvahapoista on myös vapaana ei-esteröityneessä muodossa (Fairbairn 1945). Rasvahappojen perusrakenteeseen kuuluu hiilivetyketju sekä siihen sitoutunut karboksyyliiryhmä. Rasvahapot jaotellaan tyydyttyneisiin ja tyydyttymättömiin rasvahappoihin hiiliketjussa olevien kaksoissidosten perusteella. Tyydyttyneissä rasvahapoissa (SAFA) ei ole ainuttakaan kaksoissidosta, kertatyydyttymättömissä (MUFA) on yksi kaksoissidos ja monitydyttymättömissä rasvahapoissa (PUFA) on useampi kaksoissidos hiiliketjussa (Kuva 2). Tyydyttymättömät rasvahapot voidaan edelleen jaotella ensimmäisen kaksoissidoksen sijainnin perusteella (Kuva 3). Rasvahapon hiiliketjun pituus, kaksoissidosten lukumäärä ja sijainti sekä rasvahappomolekyylin stereokemiallinen rakenne määrittelevät sen fysikaaliset ominaisuudet. Tyydyttyneillä rasvahapoilla on korkeampi sulamispiste kuin samanpituisten hiiliketjun omaavilla on tyydyttymättömillä rasvahapoilla. *Trans*-isomeerillä taas on aina *cis*-isomeeriä korkeampi sulamispiste (Jaakkola 2012).



Kuva 2. Rasvahapon perusrakenteeseen kuuluu hiilivetyketju ja siihen liittynyt karboksyyliiryhmä. Hiilien väliset kaksoissidokset määrittelevät onko kyseessä tyydyttynyt vai tyydyttymätön rasvahappo.

Rasvahappojen nimeämiseen on useita eri tapoja. Rasvahaposta voidaan käyttää yleiskielellistä nimeä, IUPAC:n määrittelemää systemaattista nimeä tai lyhennettä, jossa on kuvattu ensin hiiliatomien ja kaksoissidosten määrä kaksoispisteellä eroteltuna sekä ensimmäisen kaksoissidoksen sijainti omega-merkinnällä.

Rasvahapon omega-merkintä (ω , n) kertoo ensimmäisen kaksoissidoksen sijainnin hiiliketjun metyyliryhmästä laskien. Esimerkiksi omega-3 rasvahapoilla ensimmäinen kaksoissidos sijaitsee metyyliryhmästä päin laskien kolmannen ja neljännen hiiliatomin välissä. Omega-6 rasvahapoilla ensimmäinen sidos vastaavasti sijaitsee kuudennen ja seitsemännen hiiliatomin välillä. IUPAC:n systemaattisessa nimeämisessä kaksoissidosten sijaintia kuvataan delta-merkinnällä (δ), jossa kaksoissidosten sijainti on laskettu karboksyyliyhmän hiilestä lähtien ja merkitty nimen eteen lukujonona. Kuvassa 3 esitetään esimerkki eri nimeämisvaihtoehdoista.



Kuva 3. Rasvahappoja voidaan nimetä usealla eri tavalla.

1.2. Pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen tuotanto ja merkitys

Omega-3 rasvahapoilla on havaittu olevan monia fysiologisesti välttämättömiä tehtäviä kaikissa eläimissä (Lauritzen 2001, Simopoulos 2000). Ihmiselle kalat ovat hyvin tärkeä omega-3 rasvahappojen lähde (esim. Hull 2011). Tärkeimpiä kalaravinnosta saatavia omega-3 rasvahappoja ovat pitkäketjuiset monitydyttymättömät eikosapentaeenihappo (EPA, 20:5 ω 3) ja dokosaheksaeenihappo (DHA, 22:6 ω 3), joita ei juurikaan ole saatavilla terrestrisestä kasviperäisestä ravinnosta (esim. Hixson ym. 2015). Pitkäketjuisia monitydyttymättömiä omega-3 rasvahappoja tarvitaan esimerkiksi hermoston ja silmän retinan kehityksessä sekä solukalvojen rakenneosina (Innis 2007, Lauritzen ym. 2001, Swanson ym. 2012). Ihminen pystyy valmistamaan EPA:a ja DHA:ta lyhytketjuisista alfa-linoleenihaposta (ALA, 18:3 ω 3) ja stearidonihaposta (SDA, 18:4 ω 3), mutta muuntotehokkuuden on havaittu olevan hyvin alhainen (Burdge & Calder 2005, Hull 2011, Russell & Burgin-Maunders 2012, Walker ym. 2013). Sanders

& Roshanain (1983) tutkimuksessa on myös osoitettu, että ihmiskeho pystyy muuntamaan ALA:sta tehokkaammin EPA:a kuin DHA:ta. Ihmisellä riittävän EPA:n ja DHA:n saannin on havaittu esimerkiksi edistävän sydänterveyttä ja kognitiivisten toimintojen kehitystä (Kris-Etherton ym. 2002, Yashodhara ym. 2009).

Vesiekosysteemissä kasviplankton vastaa pääasiallisesti koko ravintoverkon EPA:n ja DHA:n syntetisoinnista, ja siten vaikuttaa korkeamman asteen kuluttajien menestymiseen ja rasvahappokoostumukseen (Arts ym. 2001). Eri kasviplanktonryhmien välillä on havaittu olevan suuria eroja kyvyssä tuottaa pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja (Ahlgren ym. 1992, Taipale ym. 2013, Taipale ym. 2016). Yleisesti viherlevillä ja sinilevillä on alhainen kyky tuottaa pitkäketjuisia rasvahappoja, kun taas nielu-, pii-, kulta- ja panssarisiimalevät ovat tehokkaimpia EPA:n ja DHA:n tuottajia (Taipale ym. 2016). Leväryhmien sisällä, lajien välillä on kuitenkin myös havaittu suurta vaihtelua kyvyssä tuottaa pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja (Taipale ym. 2013). Valon ja lämpötilan ohella ravinteiden saatavuus on yksi merkittävimmistä kasviplanktonin yhteisökoostumusta määrittelevistä tekijöistä (Reynolds 2006). Rehevöityneissä, suuren fosforipitoisuuden järvissä, sini- ja viherlevät ovat yleensä päälajeina ja siten kasviplanktonin EPA:n ja DHA:n tuotanto on rehevissä järvissä yleensä melko vähäistä. Leväryhmien välinen vaihtelu vaikuttaa myös kuluttajien menestymiseen. Esimerkiksi Brett ym. (2006) tutkivat eri leväryhmien (nielulevät, sinilevät ja viherlevät) vaikutusta *Daphnia pulex* -vesikirpun rasvahappokoostumukseen, lisääntymismenestykseen ja kasvuun. Tutkimuksessa eri leväryhmien välillä havaittiin hyvin suuria eroja sopivuudessa vesikirppujen ravinnoksi. Nieluleviä ravinnokseen saaneet vesikirput kasvoivat ja lisääntyivät tehokkaammin kuin sini- ja viherlevää syöneet vesikirput.

Monien muiden kuluttajien tavoin myös kalojen kyky muuntaa lyhytketjuisia omega-3 rasvahappoja pitkäketjuisiksi on yleisesti melko huono, ja siten ne ovat pitkälti riippuvaisia alhaisemmilta trofiatasoilta ravinnon mukana saamistaan rasvahapoista. Kalojen ravintoketjussa merkityksellisimpiä eläinplanktonryhmiä ovat äyriäiseläinplanktoniin kuuluvat vesikirput (Cladocera) ja hankajalkaiset

(Copepoda). Eläinplanktonryhmien välillä on havaittu olevan suuria eroja EPA- ja DHA-pitoisuuksissa sekä tehokkuudessa, jolla ne pystyvät valmistamaan pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja lyhytketjuisista muodoista. Vesikirpuilla on havaittu hyvin rajallinen kyky valmistaa pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja, joten ne ovat pitkälti riippuvaisia ravinnosta saamistaan rasvahapoista (Brett ym. 2006, Taipale ym. 2011). Esimerkiksi Taipaleen ym. (2011) tutkimuksessa havaittiin ravinnon muuttumisen näkyvän jo hyvin lyhyellä aika välillä *Daphnia magna* -lajin rasvahappokoostumuksessa. Vesikirpuilla EPA-pitoisuudet ovat yleensä DHA-pitoisuuksia suurempia (Person & Vrede 2006, Smyntek ym. 2008). Esimerkiksi Personin & Vreden (2006) tutkimuksessa *Daphnia*-suvun vesikirppujen kokonaisrasvahapoista 11,8 ($\pm 1,6$) % oli EPA:a, kun taas DHA:ta oli vain 0,9 ($\pm 0,3$) %. Taipale ym. (2011) havaitsivat, että *Daphnia magna* -vesikirppu varaa EPA:a kudoksiinsa sekä pystyy myös rajallisesti muuntamaan lyhytketjuisia omega-3 rasvoja EPA:ksi. Hankajalkaisilla DHA-pitoisuudet ovat yleensä korkeampia kuin vesikirpuilla (Brett ym. 2009, Burns ym. 2011, Hiltunen ym. 2016, Smyntek 2008). Esimerkiksi keijuhankajalkaisiin (Calanoida) kuuluvalla *Eudiaptonus gracilis* -lajilla on havaittu kyky muuntaa lyhytketjuisia rasvahappomuotoja DHA:ksi (Koussoroplis ym. 2014), mikä selittää hankajalkaisten korkeampia DHA-pitoisuuksia. Niin vesikirpuilla kuin hankajalkaisilla pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen on havaittu lisääntyvän trofiatason noustessa (Person & Vrede 2006, Brett ym. 2009, Strandberg ym. 2015).

Akvaattiset pohjaeläimet toimivat ravintona useille makean veden kaloille. Pohjaeläinten rasvahappokoostumuksen on havaittu vaihtelevan voimakkaasti niin lahkojen, sukujen kuin lajienkin välillä (Ahlgren ym. 2009). Makroskooppiset selkärangattomat muodostavat monipuolisen joukon erilaisia ravinnonkäyttöryhmiä. Pohjaeläimet voivat käyttää ravinnokseen esimerkiksi kasviplanktonia, makroskooppisia vesikasveja, kuollutta orgaanista ainesta ja eläinplanktonia. Ravinnonkäyttö määrittelee suurelta osin pohjaeläinten omega-3 rasvahappokoostumuksen. Petoselkärangattomilla on yleensä korkeammat DHA-pitoisuudet kuin kuollutta orgaanista ainesta tai kasveja ravintonaan suosivilla lajeilla (Ahlgren ym. 2009). Esimerkiksi eläinravintoa käyttävät surviaissääskien

toukat sisältävät enemmän DHA:ta kuin detritusta ja kasveja ravintonaan suosivat yksilöt (Goedkoop ym. 2000, Makhutova ym. 2011). Lisäksi tutkimuksissa on havaittu surviaissääsken toukkien EPA-pitoisuuksien olevan yleensä korkealla tasolla, kun taas DHA-pitoisuudet ovat usein hyvin pieniä. Tämä pätee myös moniin muihin makean veden selkärangattomiin (Goedkoop ym. 2000, Lau ym. 2012, Makhutova ym. 2011, Sushchik ym. 2003).

Kalat ovat ihmiselle yleisin akvaattisten ekosysteemien tuottama ravinto. Useiden makean veden kalojen tiedetään pystyvän muuntamaan rajallisia määriä lyhytketjuisia omega-3 rasvahappoja pitkäketjuiseen muotoon, mikäli ravinto ei riitä kattamaan fysiologista tarvetta (Henderson and Sargent 1981, Henrotte ym. 2011, Tocher 2003). Kalojen rasvahappokoostumus on kuitenkin pitkälti riippuvainen alempien trofiatasojen kykystä valmistaa ja varastoida pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja (Taipale ym. 2016, Taipale ym. 2017). Mikäli tuottajien ja ensimmäisen asteen kuluttajien EPA- ja DHA-pitoisuudet jäävät köyhäksi, vaikuttaa tämä negatiivisesti myös ravintoketjun ylempien tasojen eli pohjaeläinten, kalojen ja viime kädessä ihmistenkin terveellisten rasvahappojen saantiin (Taipale ym. 2016). Järven ravintoverkon rakenne ja ekologinen tila voi siis lopulta heijastua aina ihmisten terveyteen asti.

1.3. Tutkimusaihe ja hypoteesit

Tässä tutkimuksessa tutkimuslajina käytettiin ahventa (*Perca fluviatilis*), joka on yleinen ammatti- ja virkistyskalastuksen kohde ja siten myös paljon ruokakalana käytetty laji. Boreaalaisella vyöhykkeellä ahven esiintyy runsaana monen tyyppisissä vesistöissä tullen toimeen laajalti erilaisissa kasvuolosuhteissa. Sopeutumiskykynsä ansiosta ahven on osana hyvin erityyppisissä ravintoverkoissa. Ahvenen ravinto muuttuu kehityksen mukana; varhaisessa poikasvaiheessa se syö eläinplanktonia, josta se siirtyy vähitellen pohjaeläimiin ja edelleen kalaravintoon (Rask 1986, Haakana ym. 2007). Aiemmin on havaittu, että kirkkaiden vesien kookkaat (pituus > 20 cm) ahvenet sisältävät enemmän EPA:a ja DHA:ta kuin rehevissä tai humuspitoisissa vesissä kasvaneet ahvenet (Taipale ym. 2016). Järvien

rehevöitymis- ja tummumiskehitys siis laskee ahventen terveellisten rasvahappojen määrää. Kirkkaiden järvien ahvenet voivat sisältää lähes kaksinkertaiset EPA+DHA-pitoisuudet reheviin järviin verrattuna (Taipale ym. 2016). Gladyshevin (2017) tutkimuksessa huomioon otettiin ravinnetasoiltaan erilaisten järvien tuottavuus. Ahvenella toteutetun tutkimuksen mukaan keskiravinteisten järvien ahvenista olisi saatavissa suurin EPA:n ja DHA:n määrä ihmiskunnan ravintokäyttöön, kun ahventen rasvahappopitoisuuksien lisäksi huomioon otetaan kannantiheys ja saalispotentiaali. Ahvenen ravinnon vaikutusta sen lihasten rasvahappokoostumukseen on selvitetty useissa eri tutkimuksissa (Henrotte 2011, Jankowska 2010, Kestemont ym. 2001, Xu & Kestemont 2002, Xu ym. 2011). Ahvenella on tutkimusten mukaan kohtalaisen korkea kyky valmistaa DHA:ta lyhyempiketjuisista omega-3 rasvahapoista, mikäli ravinto ei ole laadultaan riittävää fysiologisen tarpeen tyydyttämiseksi (Henrotte 2011, Jankowska ym. 2010, Xu ym. 2011). Tutkimus on kuitenkin pitkälti keskittynyt viljelyolosuhteisiin ja kaupallisiin rehuvalmisteisiin. Luonnonpopulaatioissa ahvenen kehitysvaiheen ja ravintokäyttämisen vaikutusta pitkäketjuisten rasvahappojen kertymiseen on tutkittu melko vähän.

Taipaleen ym. (2016) tutkimuksessa kookkaiden, pääasiassa kalaravintoa käyttäneiden ahventen rasvahappokoostumus erosi selvästi erityyppisten järvien välillä. Myös Ahlgren ym. (1996) tutkivat yksilön trofiatason ja järviytyypin vaikutusta kalojen rasvahappokoostumukseen. Tutkimuksessa havaittiin omega-3 ja EPA+DHA -pitoisuuksien vaihtelevan ahvenen elinkaaren aikana. Poikasvaiheessa pitoisuudet olivat korkeimmillaan, jonka jälkeen pitoisuudet vakiintuivat hieman poikasvaiheen pitoisuuksia alhaisemmalle tasolle yleensä 15-20 cm pituudessa. Toisin kuin Taipaleen ym. (2016) tutkimuksessa ahventen rasvahappokoostumuksessa ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa erityyppisten järvien välillä (Ahlgren ym. 1996).

Strandbergin ym. (2015) tutkimuksen mukaan järviökosysteemissä eliöiden EPA:n ja DHA:n osuus kokonaisrasvahapoista kasvaa ravintoketjussa ylöspäin siirryttäessä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on laajentaa tietoa siitä, miten yksilöiden ravintokäyttämisen vähittäinen muuttuminen vaikuttaa ahvenen

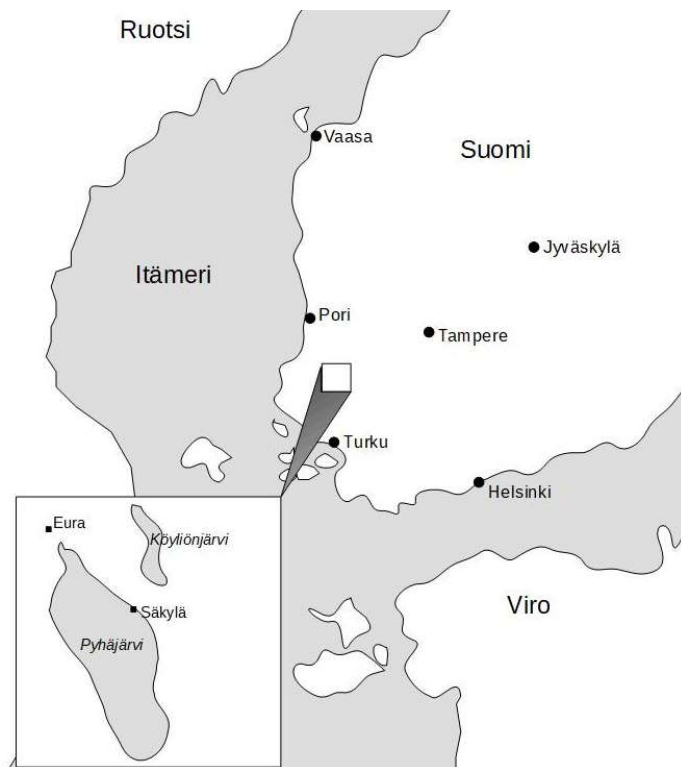
omega-3 rasvahappokoostumukseen. Vertailemalla kahden ravinnetasoltaan erityyppisen järven ahvenpopulaatioita pyritään lisäksi selvittämään, miten järven rehevyys ja ravintoverkon rakenne vaikuttavat ahvenen lihasten rasvahappopitoisuuksiin tämän kasvaessa. Tutkimushypoteesina esitetään rehevässä järvessä kasvaneiden ahventen EPA- ja DHA-pitoisuuksien olevan pienempiä kuin vastaavan kehitysvaiheen ahventen keskiravinteisessa järvessä (H₁). Ahvenyksilöiden kehityksen mittarina käytetään ikää ja pituutta. Toisena tutkimushypoteesina ahvenen EPA- ja DHA-pitoisuuksien oletetaan kasvavan sen ikääntyessä ja siirtyessä korkeammalle ravintoketjussa (H₂).

AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimusalue

Tutkimusaineisto kerättiin Lounais-Suomessa, Eurajoen vesistöalueella sijaitsevilta Säskylän Pyhäjärveltä ja Köyliönjärveltä (Kuva 4, Taulukko 1). Euran, Säskylän ja Pöytyän kuntien alueella sijaitseva Pyhäjärvi on Lounais-Suomen suurin järvi sekä niin Satakunnan kuin Varsinais-Suomen maakuntajärvi. Paikallisesti järvi on merkittävä vesialue niin virkistyskäytön, kuntien ja teollisuuden raakaveden saannin kuin ammattikalastuksenkin näkökulmasta tarkasteltuna. Pintavesityypiltään suuriin vähähumuksisiin järviin kuuluva Pyhäjärvi on morfologisilta muodoiltaan pääasiassa tasaisen matala (keskisyvyys 5,5 m), lukuun ottamatta länsirannalla sijaitsevaa syvännettä (maksimisyvyys 26 m). Pyhäjärven valuma-alueen pinta-ala on 615 km². Pyhäjärvellä 1900-luvulla alkanut rehevöitymiskehitys ja ulkoisen ravinnekuormituksen kasvu on uhannut järven vedenlaatua. Pyhäjärvellä on kuitenkin jo usean vuosikymmenen ajan tehty merkittäviä vesiensuojelutoimenpiteitä, joiden kautta järven hyvä ekologinen tila on pysytty turvaamaan (Ventelä ym. 2016). Pyhäjärvi luokitellaan keskiravinteiseksi järveksi, jonka kokonaisfosforipitoisuus on yleensä 15–35 µg l⁻¹ (Taulukko 1).

Säkylän kunnan alueella sijaitseva Köyliönjärvi kuuluu pintavesityypiltään runsasravinteisiin järviin. Köyliönjärven keskisyvyys on 2,6 m ja maksimisyvyys 12,6 m. Voimakkaasti rehevöityneen järven kokonaisfosforipitoisuus on tyypillisesti yli $70 \mu\text{g l}^{-1}$ (Paloheimo 2010). Maatalousvaltaisen valuma-alueen (125 km^2) omaava Köyliönjärvi kärsii kesäisin runsaista sinileväkukinnoista, mikä laskee järven käyttökelpoisuutta. Ekologiselta tilaltaan Köyliönjärvi luokitellaan välttäväksi (Suomen ympäristökeskus 2013).



Kuva 4. Tutkimusjärvet sijaitsevat Lounais-Suomessa.

Taulukko 1. Tutkimusjärvien perustiedot sekä klorofylli-a:n, kokonaisfosforin ja kokonaistypen keskiarvopitoisuudet kesä-elokuussa 2000–2016 (näytesyvyys 0-2 m, $n > 64$) (Suomen ympäristökeskus 2018).

Järvi	Näytepisteen sijainti (ETRS-TM35FIN)	Pinta-ala (km^2)	Keskisyvyys (m)	Klorofylli- a ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Kokonaisfosfori ($\mu\text{g P l}^{-1}$)	Kokonaistyyppi ($\mu\text{g N l}^{-1}$)
Pyhäjärvi	N 6775111, E 241035	155,2	5,5	7,5	19,2	441,7
Köyliönjärvi	N 6783437, E 249798	12,5	2,6	65,1	116,1	1190,2

2.2. Aineistonkeruu

Tutkimusaineisto kerättiin Pyhäjärveltä ja Köyliönjärveltä kesän 2017 aikana. Järvien vedenlaatua, kasvi- ja eläinplanktonin yhteisökoostumusta ja alempien trofiatasojen rasvahappokoostumusta seurattiin läpi kesän (kesä-elokuu 2017).

Perustuottajatasen rasvahappokoostumusta tutkittiin sestonin rasvahappomäärityksillä. Seston on vapaasti vesipatsaassa keijuvaa hiukasmaista ainesta, johon sisältyy niin eliöt kuin eloton aines. Ensimmäisen asteen kuluttajien rasvahappokoostumusta puolestaan seurattiin vesikirpuista tehtävillä määrityksillä. Näytepisteet valittiin ympäristöhallinnon seurantaohjelman kanssa yhteneväiseksi, jotta tulosten tarkastelussa voitiin hyödyntää ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta löytyvää vedenlaatuaineistoa. Kausittaisten kasvi- ja eläinplanktonnäytteiden lisäksi otettiin yksittäinen pohjaeläinnäyte, josta tutkittiin surviaissääsken toukkien rasvahappokoostumus.

Tutkimusjärvillä toteutettiin kesän ajan säännöllisesti toisiaan vastaavaa näytteenottomenettely yhdestä näytepisteestä (Taulukko 1). Sestonin rasvahappokoostumuksen määrittämiseksi kerättiin 0–2 m vesipatsaasta putkinoutimella (malli: sormunen, tilavuus 6,3 l) kokoomanäyte. Lisäksi näytepisteestä kerättiin planktonhaavia (50 µm) veneen perässä vetäen tilavuudeltaan 1 l eläinplanktonnäyte vesikirppujen rasvahappokoostumuksen määrittystä varten. Jokaisella näytekerralla otettiin myös 0–5 m vesipatsaasta kokoomanäyte kasvi- ja äyriäiseläinplanktonin yhteisökoostumuksen määrittämiseksi. Kasviplanktonnäyte 2,5 dl kestäväitettiin lugoli-liuoksella. Äyriäiseläinplanktonnäyte 2,5 dl konsentroidiin 50 µm planktonhaavilla ja säilöttiin etanoliin. Planktonnäytteet toimitettiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n laboratorioon, jossa näytteet analysoitiin kvantitatiivisesti mikroskooppia käyttäen. Lisäksi tarpeen mukaan otettiin fysikaalis-kemiallinen vesinäyte, mikäli ympäristöhallinnon velvoitetarkkailua ei suoritettu lähellä näytteenottopäivää. Fysikaalis-kemiallisesta vesinäytteestä määritettiin klorofylli-a, kokonaisfosfori, liukoinen fosfori ja kokonaistyyppi. Analysointi suoritettiin planktonnäytteiden tavoin Lounais-Suomen Vesi- ja ympäristötutkimus Oy:ssä. Kokonaisuudessaan näytteenotto kattoi Pyhäjärven osalta 6 näytteenottokertaa ja Köyliönjärven osalta 5 näytteenottokertaa.

Pohjaeläinnäytteet otettiin kalojen pyyntipaikkoja läheltä 2–4 metrin syvyydestä loppukesällä 2017. Näytteenotto suoritettiin Ekman-noutimella. Molemmilta järviltä otettiin useampi nosto näytteiden riittävyuden varmistamiseksi. Näytteet

suodatettiin huuhtoen 500 µm sihdin läpi, jotta hienojakoinen materiaali saatiin näytteestä pois. Sihdille jäänyt näyte siirrettiin pakasterasioihin. Tämän jälkeen näytteet säilöttiin sellaisenaan -20 °C:seen odottamaan jatkokäsittelyä.

Tutkimuksessa käytettävä kala-aineisto pyydettiin loppukesällä 2017. Ahvenia pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolinen kokojakauma, jotta rasvahappopitoisuuksien vertailu eri kehitysvaiheissa oli mahdollista. Koska kalanpoikasten kehitys on nopeaa, pyydettiin 0+-ikäiset ahvenenpoikaset noin viikon sisällä molemmista järvistä, jotta järvien välinen vertailu oli mielekästä. Pyhäjärveltä kala-aineisto saatiin pääasiassa ammattikalastajien kautta avovesinuotta- ja verkkosaaliista. Lisäksi muutamien ahvenen poikasia haavittiin rantalaiturilta (ETRS-TM35FIN: N6774575, E239694). Köyliönjärveltä aineisto pyydettiin kokonaisuudessaan Nordic-koeverkkosarjaa käyttäen. Kalat säilöttiin pyydystämisen jälkeen kokonaisena -20 °C:seen odottamaan jatkokäsittelyä. Pyhäjärven osalta kerätty tutkimusaineisto kattoi kokonaisuudessaan 48 kalaa ja Köyliönjärven osalta 37 kalaa.

2.3. Näytteiden esikäsittely

Järviltä kerätystä 0–2 m vesipatsaan kattavasta kokoomanäytteestä tehtiin yksi suodatus sestonin rasvahappomääritystä varten. Näyte kaadettiin ensin 50 µm sihdin lävitse, jolloin ainoastaan tätä pienempi partikkelimainen aines päätyi suodatettavaan näytteeseen. Analysoinnin kannalta riittävä näyte suodatettiin GF/F suodatinpaperille vesihanaan kiinnitettävän suodatinlaitteiston avulla. Näytteeseen suodatettu vesimäärä kirjattiin ylös. Suodatuksen jälkeen näytteet säilöttiin -20 °C:seen odottamaan rasvahappokoostumuksen määrittystä.

Planktonhaavilla (50 µm) kerätty eläinplanktonnäyte annosteltiin dekaanilaseihin, jonka jälkeen näytteisiin lisättiin hiilihapotettua vettä. Pintaan nousseet vesikirput poimittiin tämän jälkeen aluslasilla, johon vesikirput tarttuivat kiinni, kun lasia kastettiin näytteeseen. Lasilta vesikirput huudeltiin pipetillä vettä laskien 50 µm sihdin päälle. Kun riittävä määrä vesikirppuja oli poimittu, kaavittiin vesikirput sihdiltä 1,5 ml Eppendorf-putkeen. Näytteen laatu varmistettiin vielä

preparointimikroskoopilla, ja tämän jälkeen Eppendorf-putket säilöttiin pakastamalla ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ennen rasvahappokoostumuksen määrittämistä vesikirppunäyte kylmäkuivattiin ja säilöttiin tämän jälkeen $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen odottamaan rasvahappomääritystä.

Laboratoriossa pohjaeläinnäytteestä poimittiin pinseteillä kaikki silmin nähtävät selkärangattomat Eppendorf-putkiin. Tunnistuksessa käytettiin apuna preparointimikroskooppia. Tutkimustarkasteluun valikoitiin surviaissääsken toukat, sillä niitä löydettiin runsain määrin kummankin järven pohjaeläinnäytteestä. Esimerkiksi Pyhäjärvellä surviaissääsken toukkien on havaittu kuuluvan yleisenä ahvenen ravintoon (Ruohonen 2006). Surviaissääsken toukat tunnistettiin heimotasolle. Toukista tehtiin järvikohtaisesti yksi noin 10 yksilön kokoomanäyte, joka kylmäkuivattiin ja säilöttiin $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen odottamaan rasvahappomääritystä.

2.4. Kalanäytteet ja iänmääritys

Sulatetuista kaloista otettiin selkäevän juuresta lihasnäyte 1,5 ml Eppendorf-putkeen rasvahappokoostumuksen määrittämistä varten. Pienimmiltä (0+) kaloilta näytteeksi fileoitiin laajempi lihasalue, jotta näytteen riittävyys pystyttiin varmistamaan. Lihasnäytteet kylmäkuivattiin ja säilöttiin $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen odottamaan rasvahappo- ja isotooppikoostumuksen määrittämistä. Näytteenoton yhteydessä kaloista kirjattiin ylös myös pituus (mm) ja massa (g). Lisäksi suurimmilta kaloilta tutkittiin sukupuoli. Osasta lihasnäytteistä määritettiin typen vakaan isotoopin (^{15}N) koostumus, jotta ahventen pitkäaikaista ravinnonkäyttöä ja sijaintia ravintoketjussa voitiin tutkia. Typen vakaan isotoopin (^{15}N) on havaittu rikastuvan ravintoketjussa (Fry 1988, Post 2002).

Kalojen iän määrittämiseksi ahvenista irrotettiin lisäksi suomunäyte ja kiduskannen luu (Operculum). Kiduskannen luuta keitettiin noin 5 minuuttia, jotta nahka saatiin irrotettua ja kasvuyöhykkeet siten näkyville. Operculumista tutkittiin kasvuyöhykkeet preparointimikroskoopilla. Suomunäytteet otettiin Elorannan (1975) määrittelemästä ns. standardisuomujen näytteenottokohdasta. Suomuista

iänmääritys suoritettiin mikrokortin lukulaitetta käyttäen. Mikäli kasvuvyöhykkeet olivat epäselvästi havaittavissa, somu prässättiin polykarbonaattilevyille luotettavamman määrittämisen saavuttamiseksi. Jokaisesta kalayksilöstä tutkittiin sekä somu että operculum.

2.5. Lipidiprocentin ja rasvahappokoostumuksen määrittäminen

Seston-, vesikirppu-, surviaissääski- ja lihasnäytteistä (ahven) uutettiin lipidit kloroformi-metanoli (2:1) seokseen, jonka jälkeen rasvahapot metyloitiin laimeassa rikkihapossa. Rasvahapot analysoitiin kaasukromatografisesti GC-MS -laitteistolla. Kaasukromatografia on analyysimenetelmä, jolla voidaan erottaa ja määrittää haihtuvia yhdisteitä. Kromatografinen menetelmä perustuu liikkuvaan ja paikallaan pysyvään (stationääriseen) faasiin. Kaasukromatografiassa kantajakaasu liikuttaa höyrystettyjä yhdisteitä kolonnissa, jossa stationäärifaasi vuorovaikuttaa yhdisteisiin eri tavoin riippuen yhdisteen kemiallisista ominaisuuksista. Eri yhdisteiden kulkunopeus kolonnin läpi vaihtelee kemiallisten ominaisuuksien mukaan, jolloin yhdisteet voidaan erotella kulkeutumisaikojen (retentioaika) mukaan. Yhdisteet voidaan tunnistaa kromatogrammista kullekin yhdisteelle ominaisen retentioajan perusteella. Rasvahappoja kaasukromatografisesti määrittäessä käytetään usein massaspektrometridetektoria, sillä paljon rasvahappoja sisältävästä näytteestä eri rasvahappojen määrittäminen pelkän retentioajan perusteella on haastavaa. Massaspekttrin perusteella eri rasvahappojen yksilöiminen voidaan kuitenkin suorittaa luotettavasti. Rasvahappojen höyrystyslämpötila on hyvin korkea, jolloin ne pitää derivatisoida helposti haihtuvaksi johdokseksi ennen kaasukromatografista määrittämistä. Yleisesti käytetty menetelmä on muuntaa rasvahapot haihtuviksi metyyliestereiksi (Christie 1993).

Kylmäkuivatut vesikirppu-, surviaissääski- ja kalanäytteet jauhettiin, ja niistä annosteltiin noin 5 mg osanäyte tinakuppiin (Elemental Microanalysis D1008). Näytteen tarkka massa merkittiin ylös. Tämän jälkeen näyte uutettiin 3 ml 2:1 kloroformi-metanoli seosta poltetuissa (2h 450 C:ssa) ja huuhdeltuissa (2:1 kloroformi-metanoli liuos) Kimax-borosilikaattiputkissa. Seston-näytteen sisältävät suodatinpaperit laitettiin puolestaan sellaisenaan borosilikaattiputkiin uutumaan.

Analysoinnin alussa borosilikaattiputkiin lisättiin myös sisäiseksi standardiksi 50 µl PLFA liuosta, joka sisälsi tunnetun pitoisuuden 12:0 ja 19:0 rasvahappoja fosfololipideihin sitoutuneina. Tämän jälkeen näytteen analysointi noudatti seuraavaa laboratoriomenettelyä:

Lipidien eristys:

1. Ultraääniavusteinen liuotus (sonikointi) 10 minuuttia → vortexointi
2. Lisättiin 750 µl ionipuhdistettua vettä
3. Sentrifugointi 4 minuuttia 2000 rpm
4. Alempi (sis. lipidit) faasi siirrettiin lasisella Pasteur-pipetillä puhtaaseen Kimax-putkeen
5. Näytteestä haihdutettiin CHCl_3 typpisuihkun (N_2) alla
6. Kuivaan näytteeseen lisättiin 1 ml toluenia
→ Lipidit liuenneena tolueniin

Rasvahappojen metyyliesteröinti:

7. Lisättiin 2 ml metanolia, jossa 1 % H_2SO_4
8. Putkia inkuboitiin 50 °C vesihauteessa noin 12 h
9. Putkien poistaminen ja jäähdytys 5–10 minuuttia
10. Lisättiin 1,5 ml 2 % KHCO_3 ja 2 ml heksaania → vortexointi
11. Sentrifugointi 2 minuuttia 1500 rpm
12. Ylempi faasi siirrettiin lasisella Pasteur-pipetillä puhtaaseen Kimax-putkeen
13. Näytteestä haihdutettiin nesteet typpisuihkun alla
14. Näytteeseen lisättiin 150 µl heksaania ja näyte siirrettiin lasista Pasteur-pipettiä käyttäen 5 ml Vial-lasipulloihin
15. Toistettiin kohdan 14 käsittely mahdollisimman suuren saannon varmistamiseksi
16. Näytteestä haihdutettiin heksaani typpisuihkun alla → Näyte säilöttiin -20 °C

Metyyliesteröidyt näytteet analysoitiin Shimadzu GC-MS-QP2010 Ultra -laitteistolla, jossa kantajakaasuna oli helium. Laitteistossa käytettiin Zebron ZB-FAME -kolonnia (35 m x 0,25 mm x 0,20 µm). Injektiotilavuus oli 1 µl ja lämpötila 270 °C. Massaspektrometrin massan lämpötila oli 220 °C. Kolonnin ja massan rajapinnan lämpötila oli 250 °C. Ajo-ohjelman kokonaiskesto oli 35,14 minuuttia. Kolonnin lämpötilaohjelma esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kolonnin lämpötilaohjelma rasvahappojossa.

Vaihe	Nousuvauhti °C ^{-min}	lopullinen lämpötila °C	pitoaika (min)
0		50,0	1,0
1	10,0	130,0	0,0
2	7,00	180,0	0,0
3	2,00	200,0	3,0
4	10,0	260,0	0,0

GC-MS ajossa ajoliuksena käytettiin heksaania. Ajotilavuus määritettiin näytteen rasvahappokonsentraatioista riippuen kunkin tyyppisille näytteille erikseen. Kaloille käytettiin 500 µl, vesikirpuille pääasiassa 400 µl ja sestonnäytteille 100 µl ajotilavuutta. Näytteiden lisäksi ajettiin standardiliuokset, joilla luotiin standardisuora rasvahappopitoisuuksien laskemiseksi. Rasvahapot tunnistettiin GCMSsolution Postrun -ohjelmiston avulla kromatogrammin retentioajan sekä massaspekttrin perusteella. Tunnistuksen jälkeen kromatogrammista voitiin GCMSsolution Browser -ohjelmalla integroiden laskea kullekin rasvahapolle pitoisuus standardisuoraa apuna käyttäen. Tämän jälkeen arvot siirrettiin Microsoft Excel 2016 -ohjelmistoon, jossa aineiston käsittely hoidettiin tästä eteenpäin.

Ahventen lihaksista määritettiin lisäksi lipidiprosentti massa-analyttisesti. Lipidien eristyksen jälkeen analysoitava näyte jaettiin kahtia, josta toinen puoli (500 µl) jatkoi metyyliesteröintiin, ja toisesta puolikkaasta määritettiin lipidiprosentti. Lipidiliuosta (tolueeni liuottimena) pipetoitiin 100 µl esipunnittuihin tinakuppeihin (Elemental Microanalysis D4057). Tinakuppeja pidettiin vetokaapissa 1 vrk ajan, jolloin tolueeni haihtui pois ja eristetyt lipidit jäivät tinakuppiin. Tinakupit punnittiin uudelleen ja lipidien massa saatiin tinakuppien alku- ja loppumassan erotuksena. Lipidimassan perusteella laskettiin ahvenen lihaksen lipidiprosentti, kun tiedettiin alkuperäisen näytteen lipideistä 10 % päätyvän lipidipunnitukseen.

2.6. Isotooppianalyysit

Typhen vakaan isotoopin (^{15}N) määrittämiseksi tinakuppiin punnittiin noin 0,7 mg suuruinen näyte ahventen kylmäkuivatuista ja jauhetuista lihasnäytteistä. Tämän jälkeen tinakupista taiteltiin tiivis pallo, joka säilytettiin eksikaattorissa näytteen laadun varmistamiseksi. Isotooppien analysointi teetettiin tilaustyönä Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksella. Isotooppisuhteiden mittaus suoritettiin Thermo Finnigan DELTA^{plus} Advantage -massaspektrometrillä ja siihen liitetyllä Carlo Erba Flash EA1112 -alkuaineanalyysaattorilla.

2.7. Tilastolliset testit

Järvien välisiä vedenlaatu-, planktonyhteisö- ja rasvahappoaineistoja verrattiin riippumattomien otosten T-testillä. Aineistojen normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin käyttäen Shapiro-Wilkinsin testiä, ja varianssien yhtäsuuruutta puolestaan tutkittiin Levenen testillä. Mikäli aineistot eivät olleet normaalijakautuneet, käytettiin ei-parametrista Mann-Whitneyn U -testiä. Leväyhteisöjen vertaamiseksi kasviplanktonryhmät jaoteltiin Taipaleen ym. (2016) tutkimuksen mukaisesti EPA-syntetisoiviin (nielu-, panssarisiima-, kulta- ja piilevät), DHA-syntetisoiviin (nielu-, panssarisiima-, kulta- ja silmälevät), ja ei-DHA tai ei-EPA syntetisoiviin (viher- ja sinilevät). Kemiallisen samankaltaisuuden vuoksi ALA:a ja SDA:ta käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena (merkintä ALA+SDA). Ahventen ikäluokkien välinen tilastollinen testaus tehtiin yksisuuntaista varianssianalyysiä (ANOVA) käyttäen. Parittainen vertailu suoritettiin Tukeyn HSD -testillä. Varianssien ollessa eri suuret käytettiin puolestaan Welch` s ANOVA -testiä ja PostHoc-testinä Dunnettin T -testiä. Regressiomallien merkitsevyys testattiin SPSS-ohjelmistossa yksisuuntaista varianssianalyysiä käyttäen. Kaikissa tilastollisissa analyyseissä käytettiin 0,05 merkitsevyystasoa. Aineiston tilastollinen testaus suoritettiin IBM SPSS statistic 24 -ohjelmistolla.

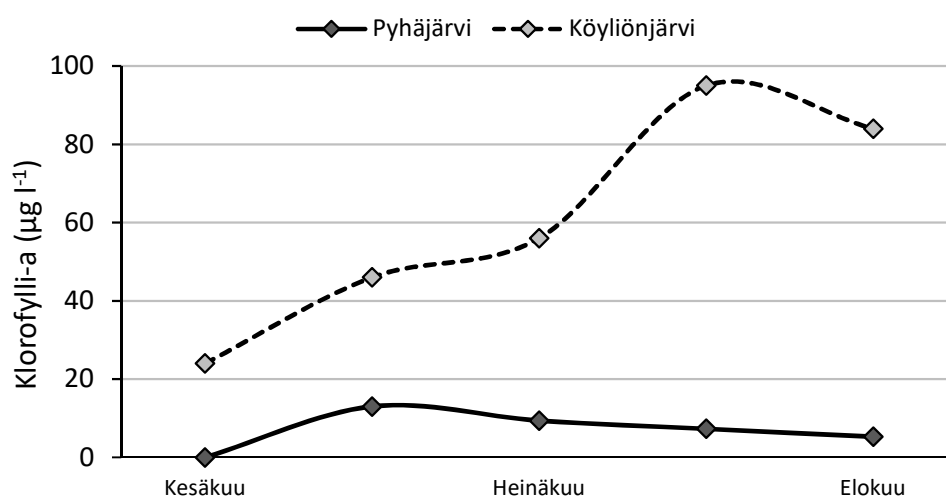
3 TULOKSET

3.1 Järvien vedenlaatu

Kesä-elokuussa 2017 fosforipitoisuus oli Köyliönjärvessä ($77 \pm 42 \mu\text{g l}^{-1}$) Pyhäjärveä ($22 \pm 7,0 \mu\text{g l}^{-1}$) korkeampi (T-testi, $t_{4,12}=-2,87$; $p=0,044$). Myös typpipitoisuudet olivat Köyliönjärvessä ($992 \pm 447 \mu\text{g l}^{-1}$) Pyhäjärveä ($422 \pm 76 \mu\text{g l}^{-1}$) korkeammalla tasolla (T-testi, $t_{4,21}=-3,63$; $p=0,020$). Sameuden keskiarvo oli Köyliönjärvessä lähes kymmenkertainen Pyhäjärveen nähden (T-testi, $t_{4,06}=-6,80$; $p=0,002$). Klorofylli-a:n pitoisuus erosi niin ikään järvien välillä (T-testi, $t_{4,13}=-4,11$; $p=0,014$) ollen Köyliönjärvessä koko tutkimusjakson ajan Pyhäjärveä korkeampi (Kuva 5). Lämpötilan suhteen järvet eivät eronneet tutkimusjakson aikana toisistaan (T-testi, $t_{12}=0,12$, $p=0,991$; Taulukko 3).

Taulukko 3. Tutkimusjakson aikana (kesä-elokuu 2017) mitatut kokonaisfosforin, kokonaistypen, sameuden ja vedenlämpötilan keskiarvot (\pm SD) tutkimusjärvisä. Aineistoa täydennetty ympäristöhallinnon Hertta-tietokannasta löytyvällä aineistolla. Tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p<0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

Järvi	n	Kokonaisfosfori ($\mu\text{g P l}^{-1}$)	Kokonaistyyppi ($\mu\text{g N l}^{-1}$)	Sameus (FNU)	Veden lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
Pyhäjärvi	9	$22 \pm 7,0^a$	422 ± 76^a	$2,4 \pm 0,7^a$	$17,1 \pm 1,9^a$
Köyliönjärvi	5	77 ± 42^b	992 ± 447^b	$23 \pm 6,8^b$	$17,1 \pm 2,2^a$

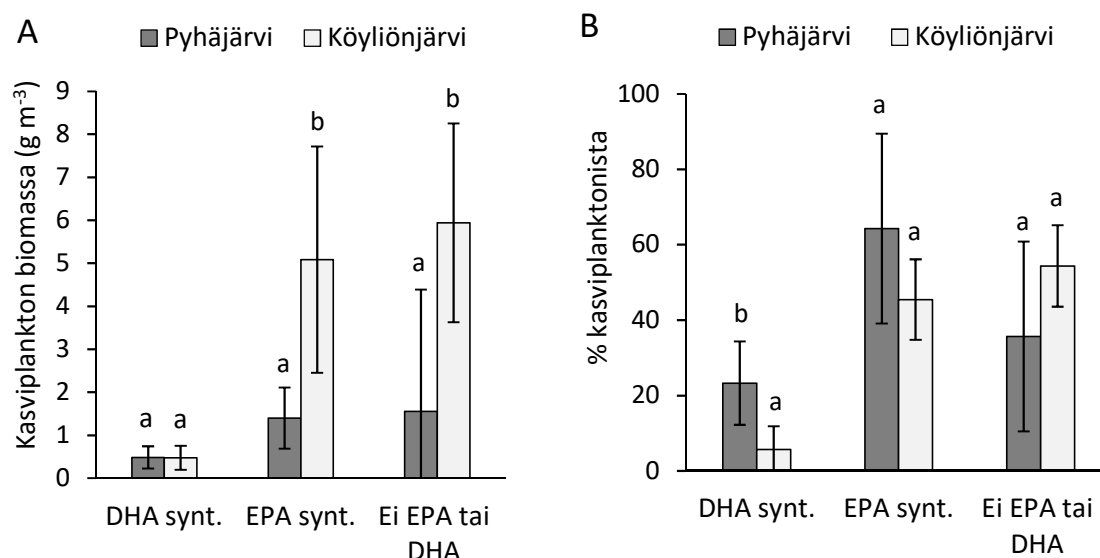


Kuva 5. Tutkimusjärvien klorofylli-a pitoisuus tutkimusjakson aikana. Pyhäjärven keskiarvo (\pm SD, $n=5$) oli $8,8 \pm 3,3 \mu\text{g l}^{-1}$. Köyliönjärven keskiarvo (\pm SD, $n=5$) oli $61 \pm 28 \mu\text{g l}^{-1}$.

3.2. Planktonyhteisö

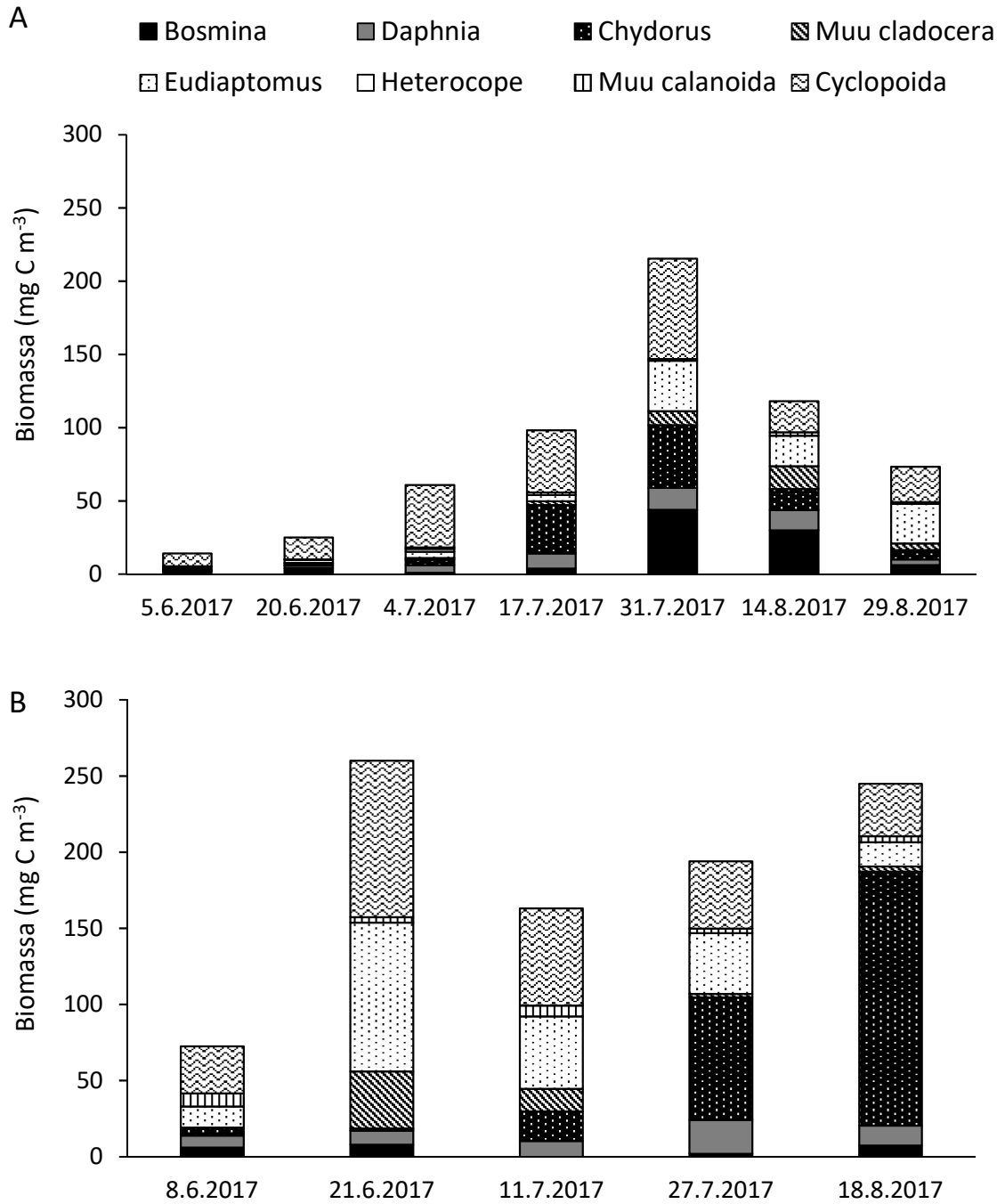
Tutkimusjakson aikana kesä-elokuussa 2017 Pyhäjärven keskimääräinen kasviplanktonin biomassa oli $3,06 (\pm 3,05) \text{ g m}^{-3}$ ja Köyliönjärvessä $11,2 (\pm 4,40) \text{ g m}^{-3}$. Pyhäjärvellä yksittäinen korkea mitta-arvo kesäkuussa (20.6.) vaikutti voimakkaasti kesän keskiarvoon. Kasviplanktonin biomassa oli tällöin $9,53 \text{ g m}^{-3}$, josta sinilevät kattoivat yli 80 %. Muilla näytteenotto-kerroilla kasviplanktonin biomassa Pyhäjärvellä oli $< 4,00 \text{ g m}^{-3}$, ja sinilevät kattoivat korkeimmillaan 35 % biomassasta. Köyliönjärvellä korkein yksittäinen biomassa $17,4 \text{ g m}^{-3}$ mitattiin elokuussa (18.8.) kun taas pienin kasviplanktonin biomassa $5,45 \text{ g m}^{-3}$ mitattiin kesäkuun alussa (8.6.).

Köyliönjärvessä oli biomassallisesti enemmän (g m^{-3}) EPA-syntetisoivia (T-testi, $t_{10}=-3,59$; $p=0,005$) ja ei-EPA tai ei-DHA -syntetisoivia (Mann-Whitney U-testi, $p=0,030$) leväryhmiä (Kuva 6A). Sen sijaan DHA-syntetisoivien leväryhmien välillä ei havaittu biomassassa eroa (T-testi, $t_{10}=0,055$; $p=0,957$). Vastaavasti tarkasteltaessa leväryhmien suhteellisia prosenttiosuuksia kasviplanktonin kokonaisbiomassasta havaitaan Pyhäjärven kasviplanktonin sisältävän tilastollisesti merkitsevästi Köyliönjärveä enemmän DHA-syntetisoivia leviä (Mann-Whitney U-testi, $p=0,018$; Kuva 6B). EPA-syntetisoivien (T-testi, $t_{10}=1,55$; $p=0,150$) ja ei-EPA tai ei-DHA -syntetisoivien leväryhmien prosenttiosuuksissa ei sen sijaan ollut järvien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa (T-testi, $t_{10}=-1,55$; $p=0,153$).

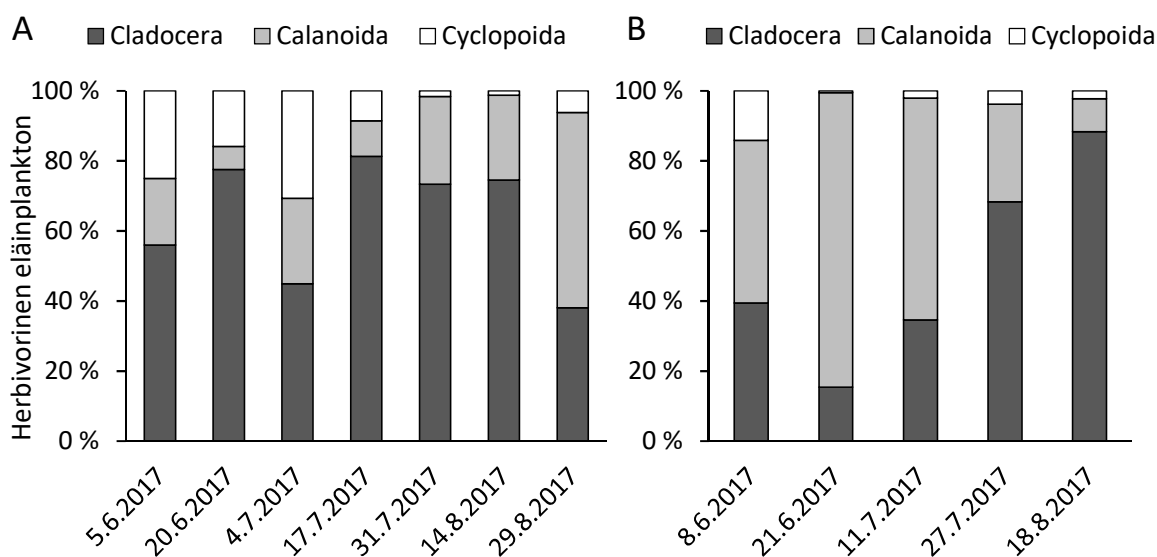


Kuva 6. DHA-syntetisoivien (nielu-, panssarisiima-, kulta- ja silmälevät), EPA-syntetisoivien (nielu-, panssarisiima-, kulta- ja piilevät) ja ei-DHA tai ei-EPA syntetisoivien (viher- ja sinilevät) levien keskimääräinen biomassa (A) ja suhteellinen prosenttiosuus (B) Pyhäjärvässä (n=7 näytteenottoa) ja Köyliönjärvessä (n=5 näytteenottoa) tutkimusjakson aikana kesä-elokuussa 2017. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi tai Mann-Whitney U -testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

Kesä-elokuussa 2017 äyriäiseläinplanktonin (>50 μm) biomassa (mg C m^{-3}) oli Köyliönjärvessä suurempi kuin Pyhäjärvässä (T-testi, $t_{10} = -2,28$; $p = 0,046$). Kesä-elokuussa 2017 Pyhäjärven (n=7) keskimääräinen äyriäiseläinplankton biomassa oli $128,3 (\pm 96,8) \text{ mg C m}^{-3}$ ja Köyliönjärven (n=5) $290,8 (\pm 120,9) \text{ mg C m}^{-3}$. Ainoastaan heinäkuun lopun näytteenotossa (31.7. Pyhäjärvi, 27.7. Köyliönjärvi) Pyhäjärven eläinplanktonbiomassa oli Köyliönjärveä suurempi (Kuva 7). Tarkkailujakson aikana vesikirput kattoivat äyriäiseläinplanktonin kokonaisbiomassasta Pyhäjärvellä keskimäärin $20,3 (\pm 11,2) \%$ ja Köyliönjärvellä $29,1 (\pm 21,9) \%$. Herbivorisesta eläinplanktonista vesikirppujen osuus oli Pyhäjärvellä keskimäärin $63,7 (\pm 17,2) \%$ ja Köyliönjärvellä $49,2 (\pm 28,9) \%$ (Kuva 8).



Kuva 7. Pyhäjärven (A) ja Köyliönjärven (B) eläinplanktonin biomassa (mg C m⁻³) ja yhteisökoostumus kesällä 2017.



Kuva 8. Herbivorisen kasviplanktonin yhteisökoostumus (% osuus) Pyhäjärvellä (A) ja Kyyliönjärvellä (B) kesällä 2017.

3.3. Rasvahappo- ja lipidikoostumus

3.3.1. Seston

Sestonin omega-3-, ALA- (+SDA), EPA- ja DHA-pitoisuuksia tutkimusjärvissä tutkittiin vesitilavuutta (Kuva 9) ja kasviplanktonin hiilibiomassaa (Kuva 10A) kohden tarkasteltuna. Lisäksi määritettiin rasvahappojen suhteellinen osuus sestonin kokonaisrasvahapoista (Kuva 10B).

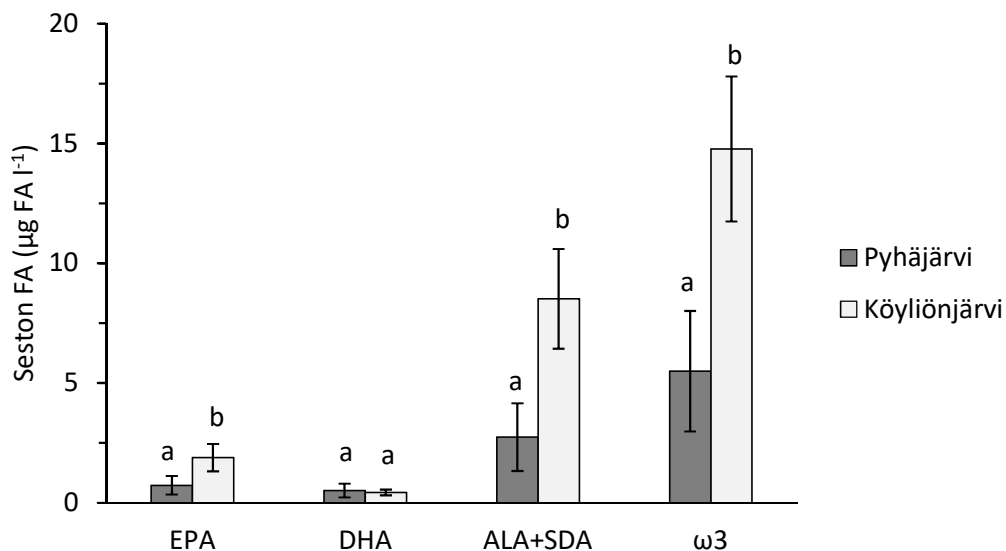
Omega-3 rasvahappojen kokonaispitoisuudet olivat tutkimusjakson (kesä-elokuu 2017) aikana vesitilavuutta ($\mu\text{g FA l}^{-1}$) kohti tarkasteltuna Kyyliönjärvessä Pyhäjärveä korkeammat (T-testi, $t_9 = -5,57$; $p < 0,001$; Kuva 9). Kasviplanktonin hiiltä kohti ($\mu\text{g FA mg C}^{-1}$) laskettuna järvien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa omega-3 rasvahappojen osalta (T-testi, $t_9 = 1,84$; $p = 0,100$, Kuva 10A). Myöskään sestonin suhteellisissa (% kokonaisrasvahapoista) omega-3-pitoisuuksissa ei ollut järvien välillä eroa (T-testi, $t_9 = 1,58$; $p = 0,148$; Kuva 10B).

Vesitilavuutta kohti tarkasteluna ALA:n (+SDA) pitoisuudet olivat Kyyliönjärvessä Pyhäjärveä korkeampia (T-testi, $t_9 = -5,48$, $p < 0,001$; Kuva 9). Kasviplanktonin hiilibiomassaa kohti tarkasteltuna järvien välillä ei kuitenkaan ollut eroa sestonin ALA-pitoisuudessa (T-testi, $t_9 = 1,366$ $p = 0,205$; Kuva 10A). Sestonin suhteellisten

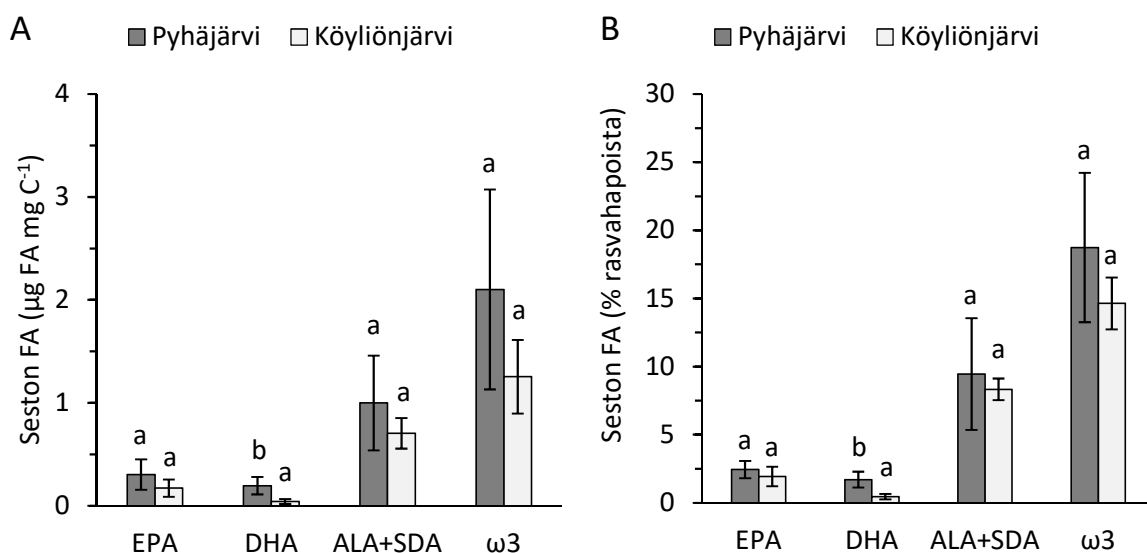
ALA-pitoisuuksien osalta järvet eivät niin ikään eronneet toisistaan (T-testi, $t_9=0,60$; $p=0,563$; Kuva 10B).

Kokonais-omega-3 rasvahappojen ja ALA:n tavoin sestonin vesitilavuutta kohti lasketut EPA-pitoisuudet olivat Köyliönjärvessä Pyhäjärveä suuremmat (T-testi, $t_9=-3,98$; $p=0,003$, Kuva 9). Kasviplanktonin hiilibiomassaa kohti tarkasteltuna järvet eivät kuitenkaan eronneet toisistaan sestonin EPA-koostumuksen osalta (T-testi, $t_9=1,77$; $p=0,110$; Kuva 10A). Sestonin EPA:n suhteellisessa osuudessa ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa tutkimusjärvien välillä (T-testi, $t_9=1,26$; $p=0,239$; Kuva 10B).

Poikkeuksena muista tarkastelluista rasvahapoista sestonin vesitilavuutta kohti lasketut DHA-pitoisuudet eivät eronneet järvien välillä toisistaan (T-testi, $t_9=0,578$; $p=0,572$; Kuva 9). Kuitenkin kasviplanktonin hiilibiomassaa kohti tarkasteltuna Pyhäjärven sestonin DHA-pitoisuus oli Köyliönjärveä korkeampi (T-testi, $t_9=3,94$; $p=0,003$; Kuva 10A). Pyhäjärven sestonissa oli myös suhteellisesti enemmän DHA:a kuin Köyliönjärven sestonissa (T-testi, $t_9=4,54$; $p=0,001$; Kuva 10B).



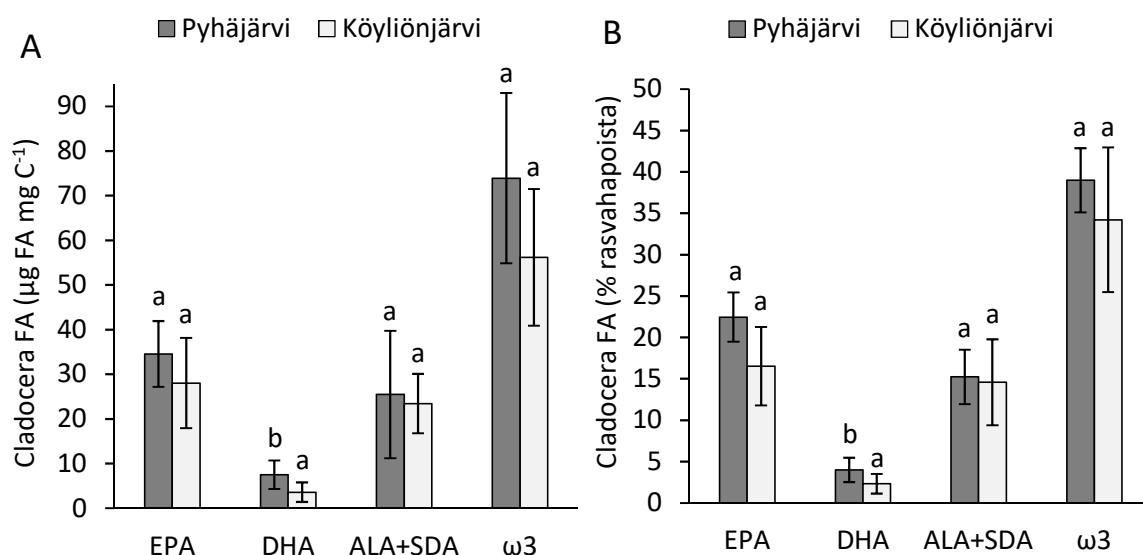
Kuva 9. Pyhäjärven (n=6) ja Köyliönjärven (n=5) sestonin (<math><50 \mu\text{m}</math> fraktio) omega-3 rasvahappopitoisuudet vesitilavuutta kohti ($\mu\text{g FA l}^{-1}$) laskettuna kesä-elokuussa 2017. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p<0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).



Kuva 10. Pyhäjärven (n=6) ja Köyliönjärven (n=5) sestonin (< 50 µm fraktio) omega-3 rasvahappopitoisuudet kasviplanktonin hiiltä kohti laskettuna (A) ja prosentteina kokonaisrasvahapoista (B). Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

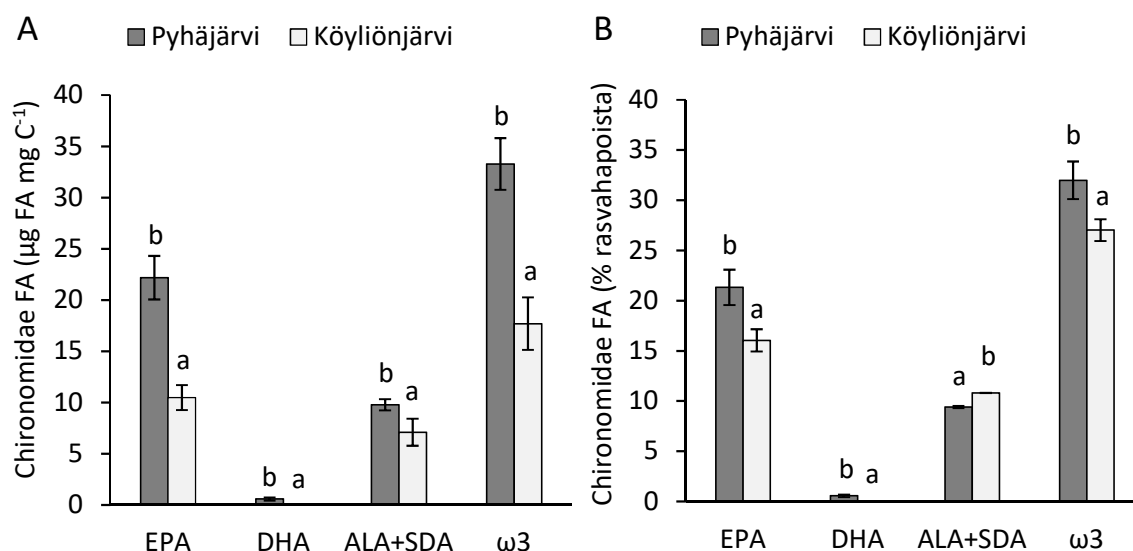
3.3.2. Vesikirput ja surviaissääsken toukat

Vesikirppujen rasvahappokoostumusta seurattiin tutkimusjärvissä koko kesän ajan. Järvien välillä havaittiin merkitsevä ero vesikirppujen hiilibiomassaa (µg FA mg C⁻¹) kohti lasketuissa DHA-pitoisuuksissa (t-testi, $t_9=2,31$; $p=0,046$; Kuva 11A). Myös suhteellisena osuutena (% kokonaisrasvahapoista) Pyhäjärven vesikirput sisälsivät enemmän DHA:ta kuin Köyliönjärven vesikirput (T-testi, $t_9=6,04$; $p=0,036$; Kuva 11B). Muiden tarkasteltujen rasvahappojen osalta tilastollisesti merkitsevää eroa ei havaittu, vaikka niin kokonais-omega-3 rasvahappojen kuin EPA:n suhteenkin keskiarvot olivat Pyhäjärvessä hieman korkeampia (Kuva 11).



Kuva 11. Pyhäjärven (n=6) ja Köyliönjärven (n=5) vesikirppujen (Cladocera) omega-3 rasvahappojen pitoisuudet hiilibiomassaa kohti laskettuna (A) ja suhteellisena prosenttiosuutena (B) kesä-elokuussa 2017. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

Surviaissäasken toukista koostuvasta kokoomanäytteestä analysoitiin kolme rinnakkaisnäytettä. Pyhäjärven surviaissäasken toukkien EPA- (T-testi, $t_4=8,85$; $p=0,001$), DHA- (T-testi, $t_{2,01}=6,93$; $p=0,020$) ja ALA-pitoisuudet (T-testi, $t_4=4,11$; $p=0,015$) olivat Köyliönjärven toukkia korkeammalla tasolla (Kuva 12A). Lisäksi omega-3 rasvahappojen kokonaispitoisuus oli Pyhäjärven surviaissäaskeissä Köyliönjärveä korkeampi (T-testi, $t_4=8,74$; $p=0,001$, Kuva 12A). Rasvahappojen suhteellisissa osuuksissa järvien väliset erot olivat kuitenkin pienemmät (Kuva 12B). Pyhäjärven surviaissäasken toukat sisälsivät suhteellisena osuutena enemmän EPA:a (T-testi, $t_4=4,52$; $p=0,011$), DHA:ta (T-testi, $t_4=7,63$; $p=0,002$) ja kokonais-omega-3 rasvahappoja (T-testi, $t_4=4,07$; $p=0,015$). Köyliönjärven surviaissäaskeissä puolestaan oli suhteellisena osuutena Pyhäjärveä enemmän ALA:a (T-testi, $t_4=13,81$; $p < 0,001$). Molemmissa järvissä surviaissäasken toukat sisälsivät moninkertaisesti enemmän EPA:a kuin DHA:ta (Kuva 12).

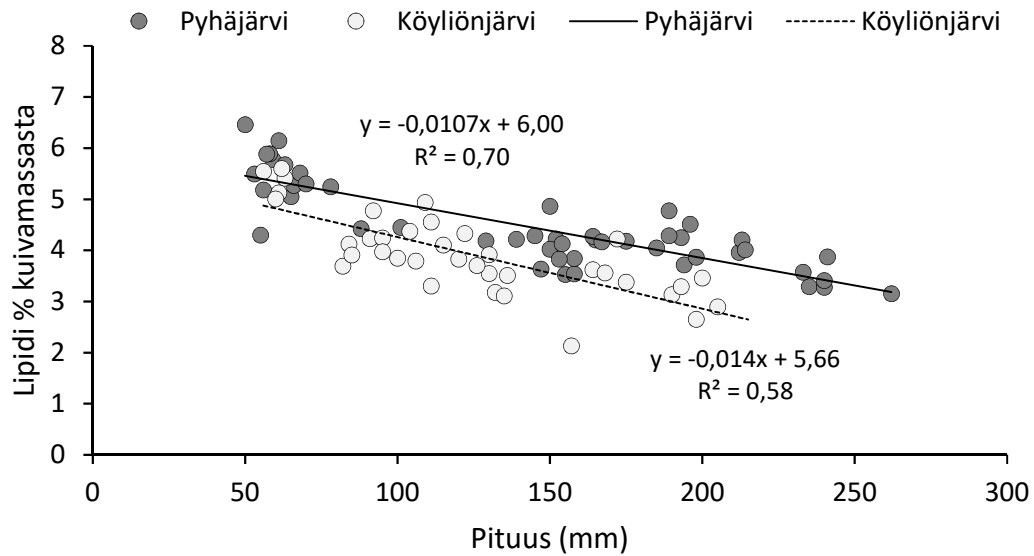


Kuva 12. Pyhäjärven ja Köyliönjärven surviaissääskentoukkien (Chironomidae) omega-3 rasvahappojen pitoisuudet hiilibiomassaa kohti laskettuna (A) ja suhteellisena prosenttiosuutena (B) loppukesällä 2017. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

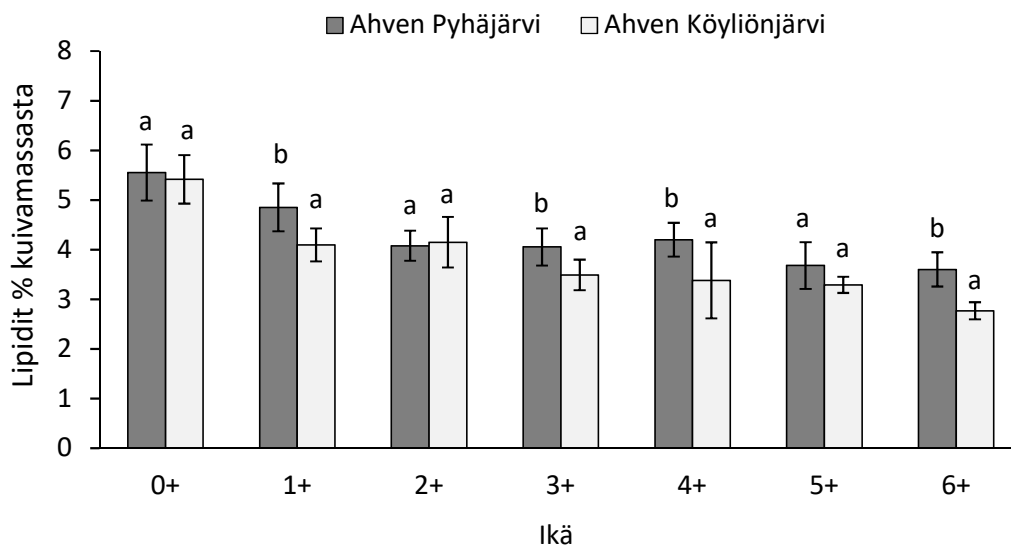
3.3.3. Ahvenet

Tutkimusjärvien ahventen otokset eivät eronneet sukupuoli- (Mann-Whitney U-testi, $p=0,123$) tai ikäjakaumaltaan (Mann-Whitney U -testi, $p=0,590$) toisistaan, joten ahventen rasvahappokoostumuksen vertailu järvien välillä oli mielekästä.

Molemmissa tutkimusjärvissä ahventen lihasten lipidiprosentti korreloi negatiivisesti pituuskasvun kanssa (Kuva 13). Pyhäjärven ahvenet olivat pääasiassa Köyliönjärven ahvenia rasvaisempia, sillä ikäluokissa 1+, 3+, 4+ ja 6+ Pyhäjärven ahvenien lipidiprosentti oli merkitsevästi Köyliönjärven ahvenia suurempia (T-testi, Taulukko 5, Kuva 14). Vertailtaessa ikäluokkien välistä vaihtelua järven sisäisesti Pyhäjärven 0+ -ikäiset ahvenet erosivat 1+ ikäluokkaa lukuun ottamatta kaikista muista ikäluokista. Lisäksi ikäluokat 3+, 5+ ja 6+ erosivat Pyhäjärven 1+ -ikäluokasta (Tukey HSD, $p < 0,05$; Liite 2). Köyliönjärven 0+ -ikäluokan ahvenet erosivat tilastollisesti merkitsevästi järven muista ahvenikäluokista. Ikäluokat 1+ ja 2+ erosivat myös 6+ -ikäluokan ahvenista (Tukey HSD, $p < 0,05$; Liite 2). Lisäksi 2+ -ikäluokka erosi lähes merkitsevästi 4+ ja 5+ -ikäluokista (Tukey HSD, Liite 2).



Kuva 13. Pyhäjärven (ANOVA, $F_{1,46}=108,1$; $p<0,001$) ja Köyliönjärven (ANOVA, $F_{1,35}=85,3$; $p<0,001$) ahventen lipidikoostumus (%) pituuden funktiona.

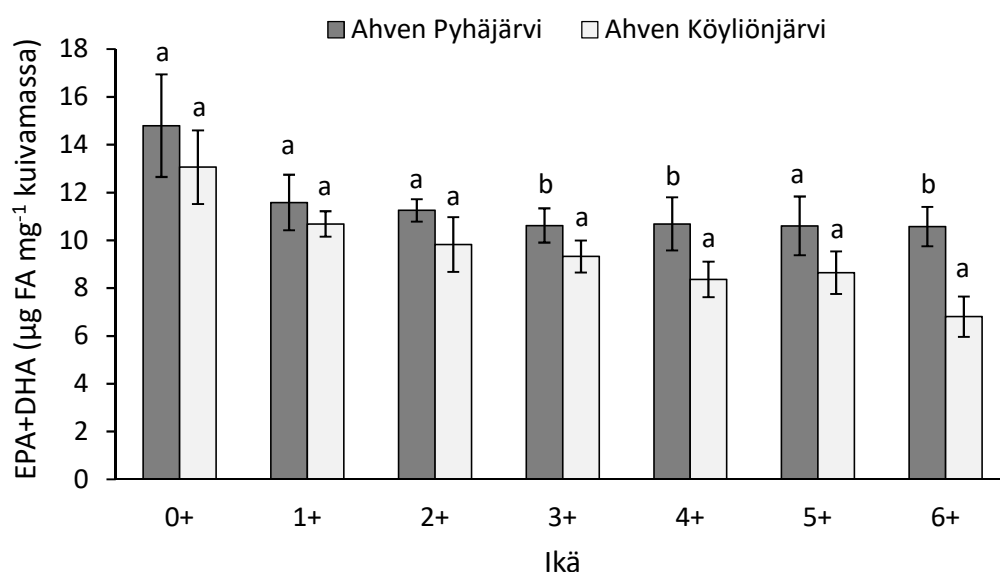


Kuva 14. Tutkimusjärvien ahvenpopulaatioiden lipidikoostumus (% kuivamassasta) ikäluokittain. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p<0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

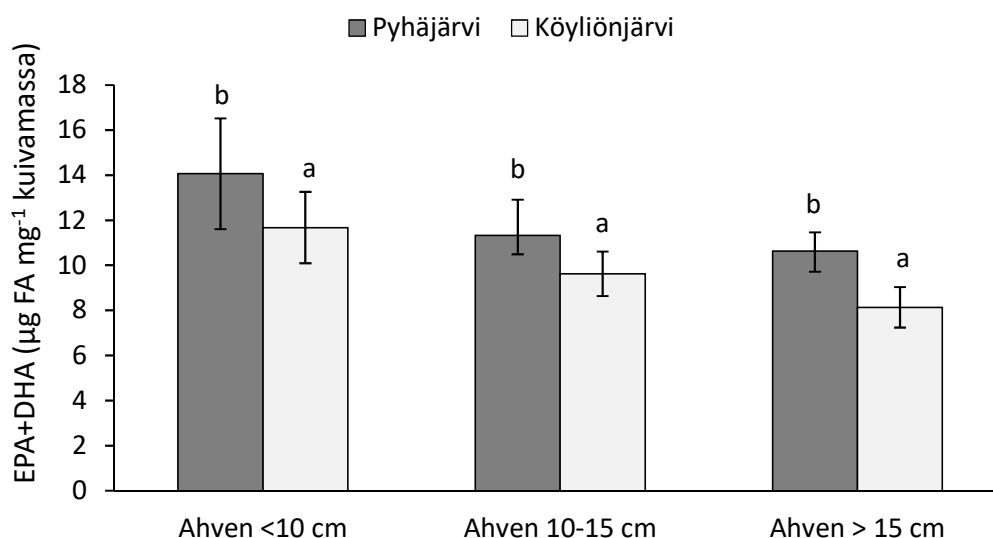
Pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen kertymistä ikäluokkien välillä tarkasteltaessa havaittiin järvien välillä ero EPA+DHA -pitoisuudessa ikäluokissa 3+, 4+ ja 6+ (Kuva 15). Lisäksi ikäluokat 1+, 2+ ja 5+ erosivat lähes merkitsevästi toisistaan (Taulukko 5). Järvien sisäisessä tarkastelussa Pyhäjärven 0+ -ikäluokka erosi 1+ -ikäluokkaa lukuun ottamatta järven kaikista muista ikäluokista (Dunnnett T, $p<0,05$; Liite 3). Sen sijaan ikäluokkien 1+ - 6+ välillä ei havaittu merkitsevää eroa EPA+DHA -pitoisuuksissa (Tukey HSD, $p>0,05$; Liite 3). Köyliönjärvessä 0+ -

ikäluokka erosi merkitsevästi kaikista järven muista ahven ikäluokista EPA+DHA -pitoisuuden suhteen. Lisäksi ikäluokat 1+ ja 2+ erosivat merkitsevästi 6+ -ikäisistä ahvenista sekä 1+ ja 4+ -ikäluokat toisistaan (Tukey HSD, $p < 0,05$; Liite 3).

Pituusluokkien (<10 cm, 10–15 cm, >15 cm) välisessä vertailussa Pyhäjärven ahventen EPA+DHA -pitoisuus oli Köyliönjärven ahvenia suurempi joka pituusluokassa (Kuva 16, Taulukko 4). Pyhäjärvässä pienimmät (<10 cm) ahvenet erosivat tilastollisesti merkitsevästi keskikokoisista (10–15 cm) ahvenista (Dunnett T, $p = 0,003$) ja suurista (>15 cm) ahvenista (Dunnett T, $p < 0,001$). Keskikokoisten ja suurten ahvenien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (Dunnett T, $p = 0,217$). Köyliönjärvässä pienet ahvenet erosivat tilastollisesti merkitsevästi sekä keskikokoisista (Tukey HSD, $p < 0,001$) että suurista ahvenista (Tukey HSD, $p < 0,001$). Myös keskikokoiset ja suuret ahvenet erosivat Köyliönjärvässä toisistaan (Tukey HSD, $p = 0,014$).



Kuva 15. EPA+DHA -pitoisuudet ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa) tutkimusjärvien ahvenissa (lihas) ikäluokittain. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).



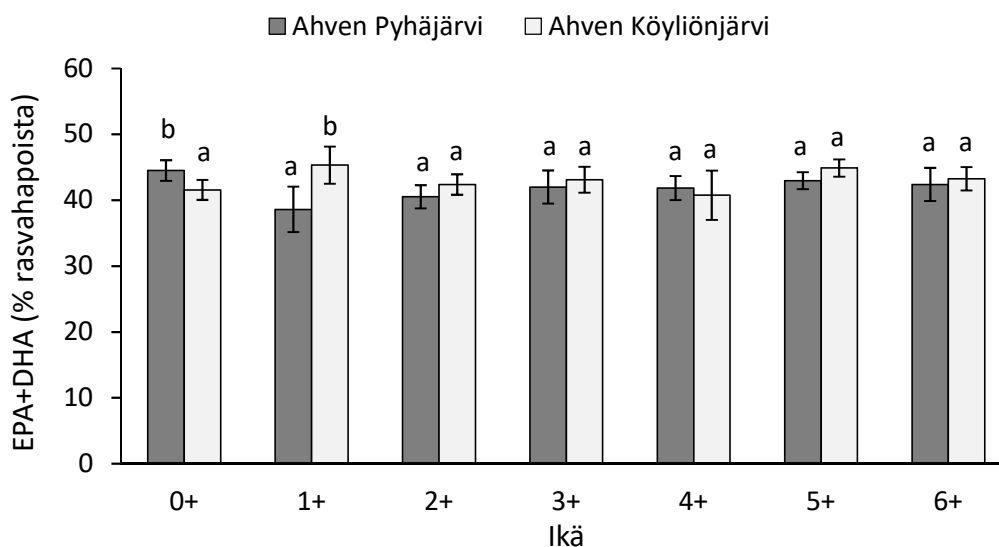
Kuva 16. EPA+DHA -pitoisuudet ahventen eri pituusluokissa (< 10 cm, 10-15 cm ja >15 cm). Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välillä oli pitoisuuksissa tilastollisesti merkitsevä (T-testi tai Mann-Whitney U -testi, $p < 0,05$; merkattu kirjaimin b>a) ero jokaisessa kokoluokassa. Tilastollisten testien tunnusluvut esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tutkimusjärvien välinen tilastollinen vertailu ahvenen lihasten EPA+DHA -pitoisuuksien osalta eri kokoluokissa.

EPA+DHA (µg mg ⁻¹)				
Kokoluokka	Analyysi	t	df1	p
<10 cm	Mann-Whitney U		27*	0,019
10 – 15 cm	T-testi	15,54	20	0,001
>15 cm	T-testi	50,63	34	<0,001

* Mann-Whitney U -testin yhteydessä merkattu otoskoko n

Ahventen suhteellisessa EPA+DHA -osuudessa (% kokonaisrasvahapoista) havaittiin Pyhäjärven ja Köyliönjärven välillä ero ainoastaan 0+ (Mann-Whitney U-testi, $p=0,037$) ja 1+ (T-testi, $t_{10}=-3,53$; $p=0,005$) -ikäluokkien välillä (Kuva 17). Lisäksi havaittiin, että Pyhäjärvellä 0+ -ikäluokan ahvenet erosivat järven 1+ -ikäluokasta EPA+DHA:n prosenttiosuuden suhteen (Tukey HSD, $p=0,029$). Muutoin ahvenen ikäluokkien välillä ei esiintynyt eroja Pyhäjärvellä (Tukey HSD, Liite 3). Köyliönjärvellä puolestaan havaittiin prosenttiosuuksissa merkitsevä ero ainoastaan 1+ ja 4+-ikäluokkien ahventen välillä (Tukey HSD, $p=0,042$).



Kuva 17. Suhteelliset EPA+DHA -pitoisuudet (% kokonaisrasvahapoista) tutkimusjärvien ahventen lihasnäytteissä ikäluokittain. Virhepalkit kuvaavat keskihajontaa. Järvien välinen tilastollinen merkitsevyys (T-testi tai Mann-Whitneyn U-testi, $p < 0,05$) merkattu kirjaimin (b>a).

Taulukko 5. Tutkimusjärvien välinen tilastollinen vertailu ahvenen eri ikäluokissa.

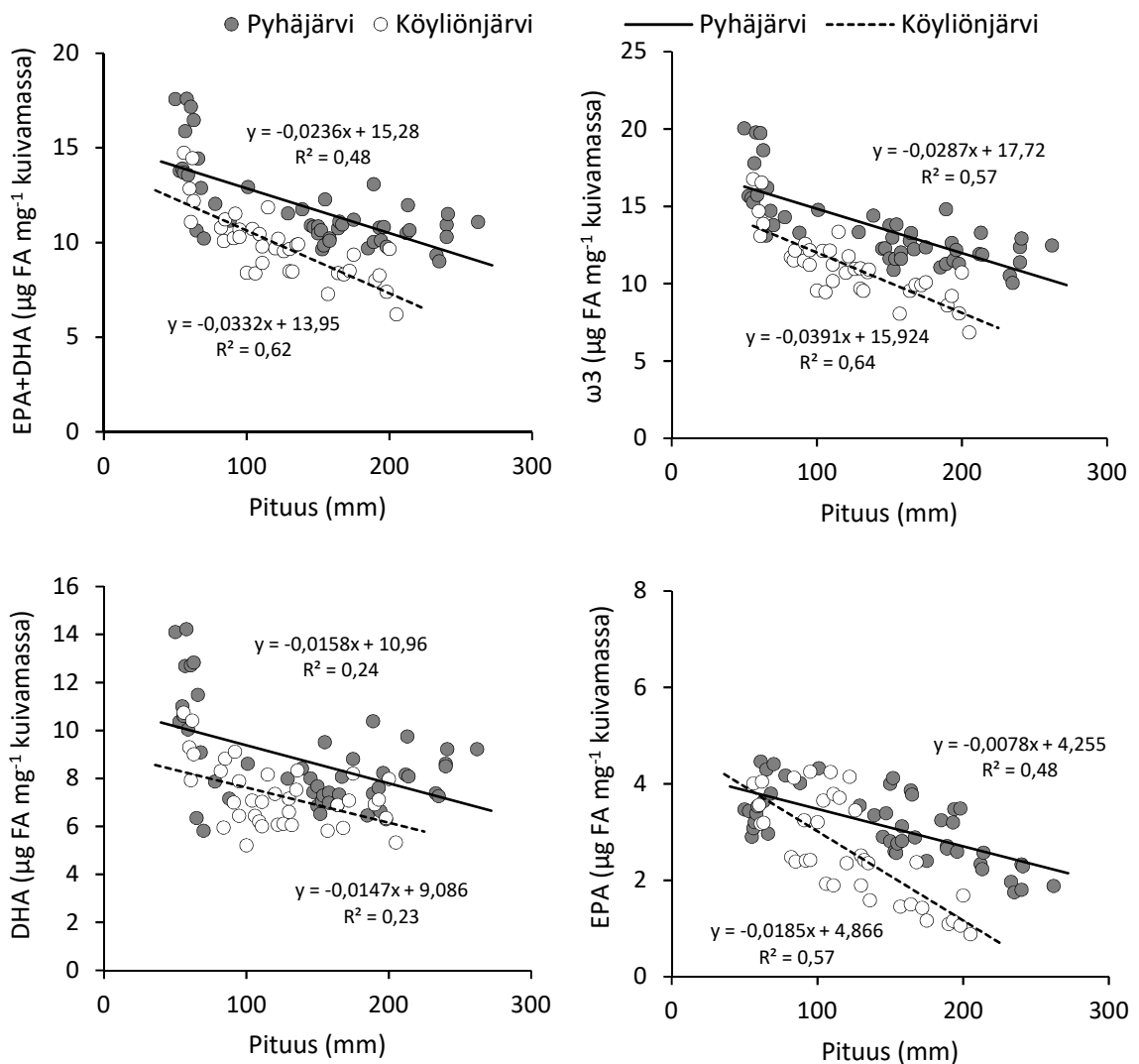
Lipidi %				
Ikäluokka	Analyysi	t	df1	p
0+	T-testi	0,81	15	0,431
1+	T-testi	3,22	10	0,009
2+	T-testi	-0,26	10	0,802
3+	T-testi	3,13	15	0,007
4+	T-testi	2,69	11	0,021
5+	T-testi	1,53	3,9	0,203
6+	T-testi	3,13	5	0,026

EPA+DHA ($\mu\text{g mg}^{-1}$)				
Ikäluokka	Analyysi	t	df1	p
0+	T-testi	1,63	15	0,124
1+	T-testi	1,91	10	0,086
2+	T-testi	2,173	10	0,055
3+	T-testi	3,66	15	0,002
4+	T-testi	4,10	11	0,002
5+	T-testi	2,32	5	0,068
6+	T-testi	5,44	5	0,003

EPA+DHA %				
Ikäluokka	Analyysi	t	df1	p
0+	Mann-Whitney U		17 *	0,037
1+	T-testi	-3,53	10	0,005
2+	T-testi	-1,73	10	0,115
3+	Mann-Whitney U		17 *	0,660
4+	T-testi	0,72	11	0,488
5+	T-testi	-1,959	5	0,107
6+	Mann-Whitney U		7 *	1,000

* Mann-Whitneyn U -testin yhteydessä merkattu otoskoko n

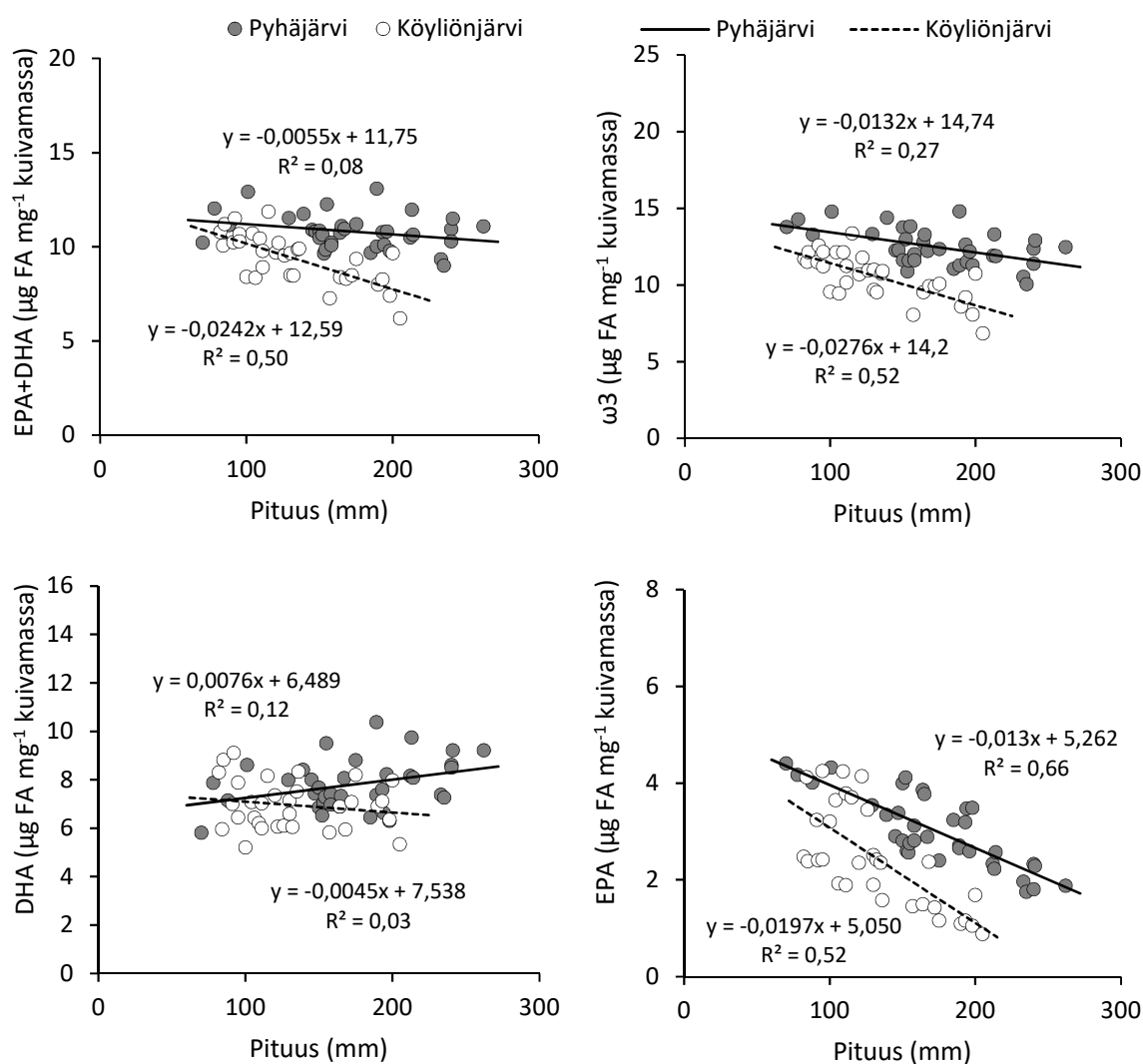
Ahventen omega-3 rasvahappopitoisuuksien kehitystä suhteessa ahvenen pituuteen tarkasteltiin lineaaristen regressiomallien avulla. Niin Pyhäjärvässä kuin Köyliönjärvässä pituus korreloi negatiivisesti EPA:n, DHA:n, EPA+DHA:n ja kokonais-omega-3 rasvahappopitoisuuksien kanssa (Kuva 18, Taulukko 6). Aineistoa analysoitaessa havaittiin kuitenkin, että 0+ -ikäisten ahvenenpoikasten vaikutus lineaarisen regressiomallin sopivuuteen on suuri. Mikäli mallista jätetään pois 0+ -ikäiset ahvenet, laskee rasvahappopitoisuuden ja ahvenen pituuden välinen korrelaatio EPA:a lukuun ottamatta (Kuva 19, Taulukko 7). Lisäksi Pyhäjärvässä DHA-pitoisuuden korrelaatio muuttuu negatiivisesta positiiviseksi, kun 0+ -ikäluokka rajataan pois. Mallin selittävyys on kuitenkin huono ($r^2=0,12$).



Kuva 18. Ahventen lihasten omega-3 rasvahappopitoisuudet suhteessa kalan pituuteen Pyhäjärvässä ja Köyliönjärvässä. Mallien tilastollinen merkitsevyys ja tunnusluvut listattuna taulukossa 6.

Taulukko 6. Ahventen (0–6 -vuotiaat) rasvahappopitoisuuksien ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa) riippuvuus pituuden funktiona tutkimusjärvissä.

Pyhäjärvi (ahven 0–6 vuotiaat)						
Rasvahappo	Yhtälö	R^2	F	df1	df2	p
EPA+DHA	$y = -0,0236x + 15,22$	0,48	42,46	1	46	<0,001
EPA	$y = -0,0078x + 4,255$	0,48	41,61	1	46	<0,001
DHA	$y = -0,0158x + 10,96$	0,24	14,56	1	46	<0,001
$\omega 3$	$y = -0,0287x + 17,72$	0,57	61,15	1	46	<0,001
Köyliönjärvi (ahven 0–6 vuotiaat)						
Rasvahappo	Yhtälö	R^2	F	df1	df2	p
EPA+DHA	$y = -0,0332x + 13,95$	0,62	56,78	1	35	<0,001
EPA	$y = -0,0185x + 4,866$	0,58	47,32	1	35	<0,001
DHA	$y = -0,0147x + 9,086$	0,23	10,33	1	35	<0,001
$\omega 3$	$y = -0,0391x + 15,92$	0,64	61,05	1	35	<0,001



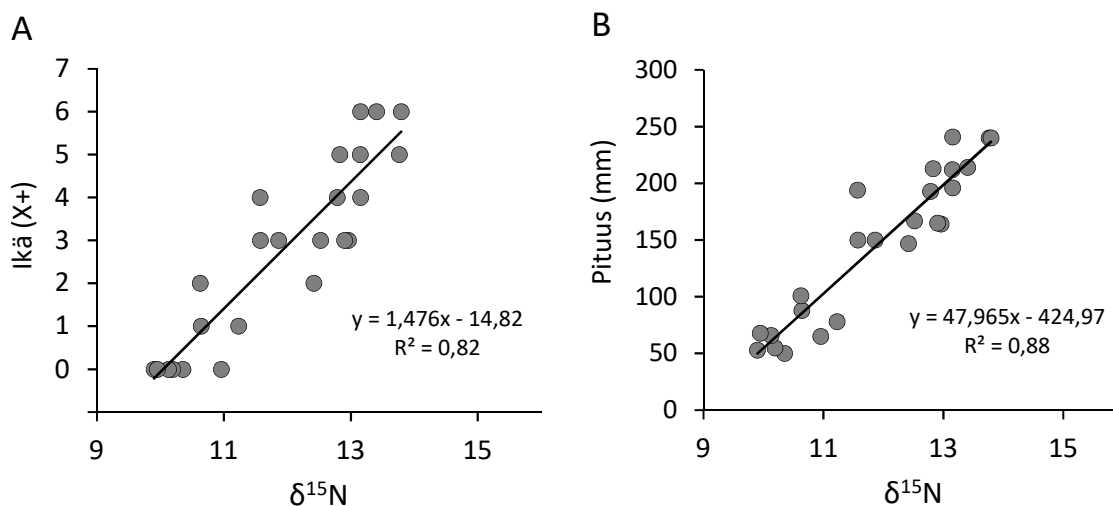
Kuva 19. Ahventen (1–6 -vuotiaat) lihasten omega-3 rasvahappopitoisuudet suhteessa kalan pituuteen Pyhäjärvessä ja Köyliönjärvessä. Aineistosta rajattu pois 0-vuotiaat yksilöt. Mallien tilastollinen merkitsevyys ja tunnusluvut listattuna taulukossa 7.

Taulukko 7. Ahventen (1–6 -vuotiaat) rasvahappopitoisuuksien ($\mu\text{m FA mg}^{-1}$ kuivamassa) riippuvuus pituuden funktiona tutkimusjärvissä.

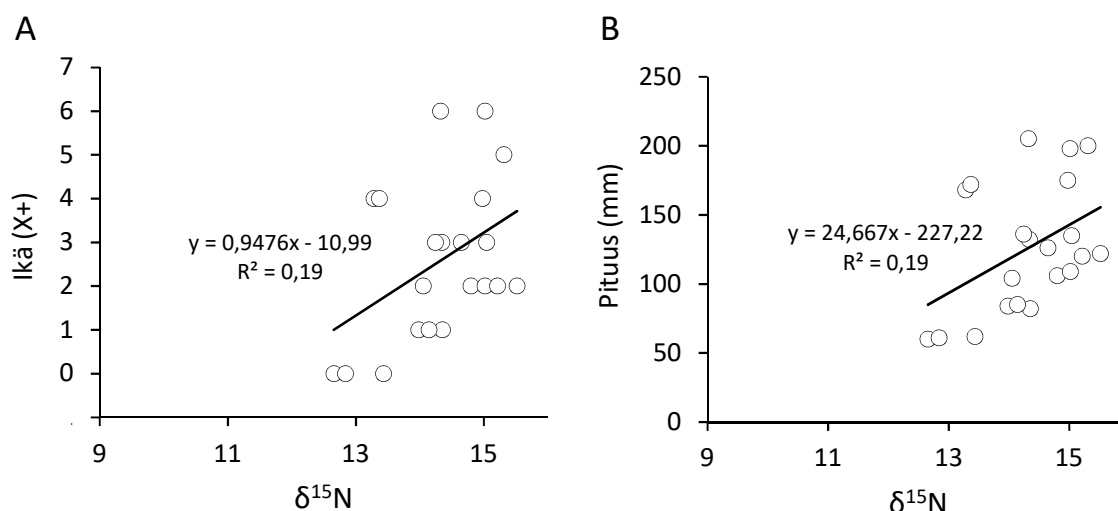
Pyhäjärvi (ahven 1–6 vuotiaat)						
Rasvahappo	Yhtälö	R^2	F	df1	df2	p
EPA+DHA	$y = -0,0055x + 11,75$	0,08	2,81	1	34	0,103
EPA	$y = -0,013x + 5,262$	0,66	12,94	1	34	<0,001
DHA	$y = 0,0076x + 6,489$	0,12	4,54	1	34	0,040
$\omega 3$	$y = -0,0132x + 14,74$	0,27	12,27	1	34	0,001
Köyliönjärvi (ahven 1–6 vuotiaat)						
Rasvahappo	Yhtälö	R^2	F	df1	df2	p
EPA+DHA	$y = -0,0242x + 12,58$	0,50	30,38	1	30	<0,001
EPA	$y = -0,0197x + 5,050$	0,52	32,41	1	30	<0,001
DHA	$y = -0,0045x + 7,538$	0,03	0,89	1	30	0,352
$\omega 3$	$y = -0,0276x + 14,19$	0,52	32,72	1	30	<0,001

3.4. Ahventen ^{15}N -isotoopit

Isotooppianalyysi kattoi Pyhäjärven osalta 24 ahventa ja Köyliönjärven osalta 21 ahventa. Näytteitä pyrittiin ottamaan tasaisesti kaikki ikä- ja pituusluokat kattaen. Pyhäjärven ahvenilla typen vakaan isotoopin (^{15}N) δ -arvot korreloivat positiivisesti ahvenen pituuden ja iän kanssa (Kuva 20). Köyliönjärvessä $\delta^{15}\text{N}$ -arvojen korrelaatio ahvenen pituuden ja iän suhteen oli heikompi kuin Pyhäjärvessä (Kuva 21).



Kuva 20. Pyhäjärven ahventen lihaksista määritetyt $\delta^{15}\text{N}$ -arvot iän (A) ja pituuden (B) funktiona.



Kuva 21. Köyliönjärven ahventen lihaksista määritetyt $\delta^{15}\text{N}$ -arvot iän (A) ja pituuden (B) funktiona.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1. Ahvenen ravintoketjun alempien trofiatasojen rasvahappokoostumus

Korkeista ravinnepitoisuuksista johtuen Köyliönjärven tuottavuus oli huomattavasti Pyhäjärveä korkeampi. Tutkimusjakson aikana Köyliönjärven kasviplanktonbiomassa oli keskimäärin lähes nelinkertainen Pyhäjärven kasviplanktonbiomassaan verrattuna. Pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen syntetisoinnista vastaavia leväryhmiä oli Pyhäjärvässä kuitenkin prosentuaalisesti Köyliönjärveä enemmän (Kuva 6B). Tämä heijastui myös ravintoverkon tuottajien rasvahappokoostumukseen. Pyhäjärven sestonissa oli Köyliönjärveä enemmän dokosaheksaeenihappoa (DHA) niin prosentuaalisesti kuin kasviplanktonin hiilibiomassaakin kohden tarkasteltuna. Muiden tarkasteltujen rasvahappojen (EPA, ALA+SDA ja kokonais-omega-3) kohdalla ei havaittu kuitenkaan merkitsevää eroa. Sen sijaan sestonin EPA:n, ALA:n (+SDA) ja kokonais-omega-3 rasvahappojen vesitilavuutta kohti lasketut pitoisuudet ($\mu\text{g FA l}^{-1}$) olivat suuremmasta leväbiomassasta johtuen Köyliönjärvässä korkeampia kuin Pyhäjärvässä. Tutkimustulosten perusteella Köyliönjärvi siis tuottaa määrällisesti runsaammin ravintoa ensimmäisen asteen kuluttajille, mutta se on

rasvahappokoostumukseltaan köyhempiä kuin Pyhäjärnessä. Tulokset ovat yhdenmukaisia aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan rehevien järvien tuottajayhteisöt syntetisoivat pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja heikommin kuin keskiravinteisten- ja karujen järvien tuottajayhteisöt (Müller-Navarra ym. 2004, Taipale ym. 2016, Taipale ym. 2017).

Aiempien tutkimusten mukaan vesikirppujen rasvahappokoostumus on pitkälti riippuvainen sen syömän ravinnon laadusta (Brett & Müller-Navarra 2006, Ravet ym. 2010, Taipale ym. 2011). Tämän tutkimuksen tulokset tukevat aiempia havaintoja, sillä järvien väliset erot vesikirppujen rasvahappopitoisuuksissa olivat samankaltaiset kuin sestonin rasvahappokoostumuksia tarkastellessa havaittiin (Kuva 10B, Kuva 11B). Pyhäjärven vesikirput sisälsivät enemmän DHA:ta kuin Köyliönjärven vesikirput. Myös EPA:n ja omega-3 rasvahappojen kokonaispitoisuuksien keskiarvot olivat Pyhäjärven vesikirpuissa korkeampia, mutta merkitseviä eroja ei tällä otoskoolla havaittu. Huomioitavaa kuitenkin on, että niin Pyhäjärnessä kuin Köyliönjärnessäkin EPA:n suhteellinen prosenttiosuus kokonaisrasvahapoista oli vesikirpuissa huomattavasti suurempi kuin sestonissa (Kuva 10B, Kuva 11B), mutta ALA+SDA:n osuus ei juurikaan muuttunut. Tulokset vahvistavat aiempia havaintoja, joiden mukaan vesikirpuilla on korkea kyky kerryttää EPA:a (Burns ym. 2011, Taipale 2011). Vesikirppujen EPA-pitoisuudet olivat molemmissa järvissä DHA-pitoisuuksia korkeampia, mikä tukee aiempien tutkimusten havaintoja EPA:n fysiologisesta tärkeydestä vesikirpuille (Müller-Navarra ym. 2000, Ravet ym. 2003).

Tutkimusjärvien eläinplanktoniyhteisöt erosivat toisistaan niin runsaudeltaan kuin lajistoltaankin. Reheville järville tyypillisesti *Chydorus*-suvun vesikirput runsastuivat Köyliönjärnessä loppukesällä 2017 kattaen valtaosan Köyliönjärven herbivorisesta eläinplanktonista (Kuva 7, Kuva 8). Tämä saattaa osaltaan selittää tutkimusjärvien vesikirppujen välillä havaittua eroa pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuuksissa. Vaikka *Chydorus*-suku luokitellaan herbivoriseksi eläinplanktoniksi, havaitsivat Ventelä ym. (2002) Köyliönjärvellä toteutetussa tutkimuksessa, että *Chydorus sphaericus* -vesikirppu käyttää kasviplanktonin sijasta enimmäkseen mikrobiravintoa (bakteerit, alkueläimet). Esimerkiksi bakteereissa on

havaittu suurta vaihtelua sopivuudessa eläinplanktonin ravinnoksi (Martin-Creuzburg ym. 2011, Taipale ym. 2012, Wenzel ym. 2012). Aikaisempien tutkimustulosten perusteella monet bakteerit ja alkueläimet sisältävät melko vähän vesikirpuille tarpeellisia pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja ja steroleja (Desvillettes ym. 1997, Ederington ym. 1995, Véra ym. 2001, Wenzel ym. 2012). Siitä huolimatta vesikirppujen on havaittu pystyvän tehokkaasti hyödyntämään bakteereja ravintonaan, kunhan ne saavat riittävän määrän fysiologisesti välttämättömiä rasvahappoja ja steroleja leväravinnosta (Martin-Creuzburg ym. 2011, Taipale ym. 2012, Taipale ym. 2014). Rungas bakteeri- tai alkueläinravinto voi joka tapauksessa osaltaan vaikuttaa siihen, että Köyliönjärvessä vesikirppujen pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuudet olivat pienempiä kuin Pyhäjärvessä.

4.2. Ahvenen lipidi- ja rasvahappokoostumus

Tulosten perusteella ahventen lihasten lipidiprosentti korreloi negatiivisesti pituuskasvun kanssa (Kuva 13). Molemmassa tutkimusjärvissä ahventen rasvapitoisuus on suurin 0+ -ikäisenä, jonka jälkeen lipidiprosentti alkaa laskea. Pyhäjärven ahventen lipidiprosentti oli Köyliönjärven ahvenia korkeampi lähes joka ikäluokassa (Kuva 14). Tutkimusaineisto koostui kuitenkin vain alle 25 cm kaloista, joten rasvapitoisuuden kehityksestä kaikkein kookkaimmilla ahvenyksilöillä ei voida tämän tutkimuksen perusteella ottaa kantaa.

Ahventen lihasten omega-3 rasvahappojen ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa) pitoisuuksissa havaittiin lipidiprosentin kanssa saman suuntainen kehitys. Niin EPA:n, DHA:n kuin omega-3 rasvahappojenkin kokonaispitoisuus korreloi negatiivisesti pituuskasvun kanssa. Myös EPA:n ja DHA:n yhteispitoisuuksien riippuvuutta pituuskasvusta voidaan luotettavasti mallintaa lineaarisesti laskevalla suoralla (Kuva 18, Taulukko 6). Tulosten perusteella pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuus siis laskee ahvenen kasvaessa. Ahvenen ikäluokkien välisiä eroja tarkasteltaessa havaitaan kuitenkin, että lasku pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuuksissa on kaikkein voimakkainta 0+ ja 1+ -ikäluokkien välillä, minkä jälkeen pitoisuudet etenkin Pyhäjärvessä pysyvät lähes samalla

tasolla (Kuva 15). Mikäli 0+ -ikäluokka rajataan lineaarisen mallinnuksen ulkopuolelle, EPA:a lukuun ottamatta korrelaatio ahvenen pituuden ja pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuuksien välillä heikkenee (Kuva 19, Taulukko 7). Varhaisen poikasvaiheen yksilöt vaikuttavat siis voimakkaasti lineaaristen regressiomallien sopivuuteen.

Kun rasvahappopitoisuuksien riippuvuutta ahvenen pituudesta tutkitaan 0+ -ikäluokkaa vanhemmilla yksilöillä, havaitaan järvien välillä myös selkeämpi ero korrelaatioissa; niin omega-3 rasvahappojen kokonaispitoisuus, EPA-pitoisuus kuin EPA+DHA:n yhteispitoisuuskin laskee voimakkaammin Köyliönjärven ahvenissa kuin Pyhäjärven ahvenissa (Kuva 19). Keskiravinteisessa Pyhäjärnessä ahventen DHA-pitoisuuksissa havaitaan lievästi positiivinen korrelaatio pituuskasvun kanssa, kun 0+ -ikäiset ahvenet on rajattu aineistosta pois. Köyliönjärnessä ei sen sijaan havaita tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota DHA-pitoisuuden ja ahvenyksilön pituuden välillä, mikäli aineisto kattaa vain 1–6 -ikäluokat (Kuva 19, Taulukko 7). Tulosten perusteella DHA-pitoisuus on siis korkeimmillaan ahventen poikasvaiheessa, jonka jälkeen pitoisuus laskee. Tämä tukee aikaisempia havaintoja, joiden mukaan DHA:lla on suuri merkitys kalojen poikasvaiheen varhaisimmassa kehityksessä (Abi-Ayad ym. 2000, Taipale 2017). Kookkaimmilla kaloilla DHA-pitoisuus voi kuitenkin jälleen kääntyä nousuun, kuten Pyhäjärnessä tapahtuu. Ahvenen vähittäinen ravinnon muuttuminen (eläinplankton → pohjaeläimet → kalat) saattaa osaltaan selittää DHA-pitoisuuksissa havaittavaa kehitystä. Pyhäjärven ja Köyliönjärven surviaissääsken toukkien havaittiin sisältävän hyvin vähän DHA:ta (Kuva 12), mikä tukee aiempia pohjaeläimillä havaittuja tutkimustuloksia (Ahlgren ym. 2009, Goedkoop 2000). Useat kalat vastaavasti kerryttävät DHA:ta elimistöönsä (Ahlgren ym. 1994, Strandberg ym. 2015, Taipale ym. 2016). Kookkaiden, kalaa saalistavien ahventen ravinto sisältää siis todennäköisesti enemmän DHA:ta kuin pohjaeläinravintoon keskittyneiden yksilöiden. Aineiston perusteella keskiravinteisessa järvessä ravintoverkon rakenne ja ahvenen ravinnonkäytön kehittyminen pystyvät siis tehokkaammin vastustamaan terveellisten omega-3 rasvahappojen pitoisuuksissa tapahtuvaa laskua kuin rehevässä järvessä. Etenkin DHA-pitoisuuksien osalta

tutkimusjärvien ravintoverkot eroavat toisistaan, mikä näkyy myös ahventen DHA-pitoisuuksien kehityksessä. Tulokset poikkeavat viljelyolosuhteissa toteutetuista kokeista, joissa ahvenella havaittiin korkea kyky muuntaa lyhytketjuisia omega-3 rasvahappoja pitkäketjuisiksi (Henrotte 2011, Jankowska ym. 2010, Xu ym. 2011). Luonnonvesissä ravintoverkon koostumuksella vaikuttaisi kuitenkin olevan suurin merkitys ahventen EPA- ja DHA-pitoisuuksiin, sillä ahven ei tulosten perusteella pysty tehokkaasti muuntamaan ALA:a pidempiketjuisiksi omega-3 rasvahapoiksi. Järvien välisessä tarkastelussa Pyhäjärven ahvenissa oli korkeammat EPA+DHA-pitoisuudet 3+, 4+ ja 6+ -ikäluokissa. Lisäksi 2+ ja 5+ -vuotiaissa ahvenissa oli lähes merkitsevä ero, joka otoskoko laajentamalla saattaisi muuttua merkitseväksi (Taulukko 5). Pyhäjärven ahventen EPA+DHA -pitoisuudet olivat Köyliönjärveä korkeampia myös pituusluokkien (<10 cm, 10-15 cm, > 15 cm) välisessä tarkastelussa (Kuva 16). Tulosten perusteella tutkimusjärvien ahvenpopulaatiot eroavat EPA+DHA -pitoisuuksien suhteen kaikissa kehitysvaiheissa lukuun ottamatta aivan varhaisinta poikasvaihetta. Pyhäjärvessä ahventen EPA+DHA-pitoisuudet olivat pääasiassa Köyliönjärven ahvenia suurempia, kun saman ikä- tai pituusluokan yksilöitä vertailtiin keskenään (Kuva 15, Kuva 16). Havainnot ovat linjassa Taipaleen ym. (2016) tutkimuksessa kookkailla ahvenilla havaittujen tulosten kanssa, jonka mukaan järvien rehevöitymiskehitys laskee ahventen ravintoarvoa. Tulokset siis tukevat asetettua tutkimushypoteesia (H_1). Rehevämmässä järvessä kasvaneiden ahventen EPA- ja DHA-pitoisuudet olivat pienempiä kuin saman kehitysvaiheen ahventen pitoisuudet keskiravinteisessa järvessä. Toinen tutkimushypoteesi (H_2), jonka mukaan EPA:n ja DHA:n pitoisuudet kasvavat ahvenen ikääntyessä ja siirtyessä ravintoketjussa ylöspäin, sen sijaan hylätään. Tarkasteltaessa pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen (EPA+DHA) suhteellista osuutta (%) kokonaisrasvahapoista havaittiin järvien välillä ero ainoastaan 0+ ja 1+ -ikäluokissa (Kuva 17). Tutkimusaineiston perusteella Pyhäjärven ahventen korkeammat omega-3 rasvahappopitoisuudet johtuvatkin ennen kaikkea erosta kalojen rasvaisuudessa (Kuva 13, Kuva 14). Pyhäjärven ahvenet ovat pääasiassa Köyliönjärven kaloja rasvapitoisempia, jonka myötä myös omega-3 rasvahappopitoisuudet ovat korkeampia.

Kasvun myötä tapahtuvan vähittäisen ravinnonkäytön muuttumisen lisäksi ahvenen ravintoa määrittelee kulloinkin saatavilla olevien ravintokohteiden runsaus (Horppila ym. 2000, Rask 1986, Ruohonen 2006). Yksilön pituuskasvu ei näin ollen välttämättä aiheuta siirtymistä ravinnonkäyttöryhmästä toiseen. Esimerkiksi Pyhäjärvellä 2000-luvun alussa toteutetussa tutkimuksessa vuosien välillä havaittiin ahvenen ravinnonkäytössä suuria eroja saaliskohteiden esiintyvyyden mukaan (Ruohonen 2006). Tutkimusaineiston ahventen pitkäaikaista ravinnonkäyttöä ja sijaintia ravintoketjussa pyrittiin selvittämään lihasten typen vakaan isotoopin (^{15}N) määrittelyllä. Pyhäjärven ahventen $\delta^{15}\text{N}$ -arvot kasvoivat lineaarisesti kohti vanhempaa ikäluokkaa siirryttäessä (Kuva 20), mikä kuvastaa ontogeenistä ravinnonkäytön kehitystä, sillä $\delta^{15}\text{N}$ -arvo kasvaa kalan kohotessa ylemmäs ravintoketjussa (Fry 1988, Post 2002). Köyliönjärven ahvenilla ei $\delta^{15}\text{N}$ -arvojen perusteella ole näin selkeää kehitystä, vaan typen isotooppiarvot heijastelevat monipuolisempaa ravinnonkäyttöä kalojen iästä riippumatta (Kuva 21). Tutkimusjärvien populaatiot siis vaikuttaisivat eroavan ravinnonkäytön suhteen toisistaan. Huomioon tulee kuitenkin ottaa, että Köyliönjärvessä ahvenen kasvu on iän määrittelysten perusteella Pyhäjärven ahvenia hitaampaa, joten tutkimusaineisto (0–6 -vuotiaat ahvenet) kattaa Köyliönjärven osalta pääasiassa alle 20 cm yksilöitä.

Verkkokoekalastusten perusteella tutkimusjärvien kalayhteisöt eroavat toisistaan monin tavoin (Sairanen 2015a, Sairanen 2015b), millä on myös todennäköisesti vaikutusta ahventen lipidi- ja rasvahappokoostumuksessa havaittuihin eroihin järvien välillä. Pyhäjärven vuoden 2015 koekalastuksissa ahvenet kattoivat 44,1 %, särkikalat 20,6 % ja planktivorit (kuore, muikku, siika) 15,4 % kokonaisbiomassasta. Köyliönjärven saman vuoden koekalastussaaliista ahvenet puolestaan kattoivat 26,6 %, särkikalat 59,9 % ja planktivorit (kuore) 3,1 % kokonaissaaliin biomassasta. Köyliönjärvi siis omaa reheville järville tyypillisen särkikalavaltaisen kalaston, kun Pyhäjärvessä taas ahvenen ja planktivorikaloiden osuus kalastosta on huomattavasti suurempi. On kuitenkin syytä huomata, että koeverkkokalastukset eivät anna luotettavaa kuvaa planktivoristen lohikaloiden esiintyvyydestä (Olin ym. 2014). Esimerkiksi Pyhäjärven osalta koekalastukset todennäköisesti aliarvioivat muikun

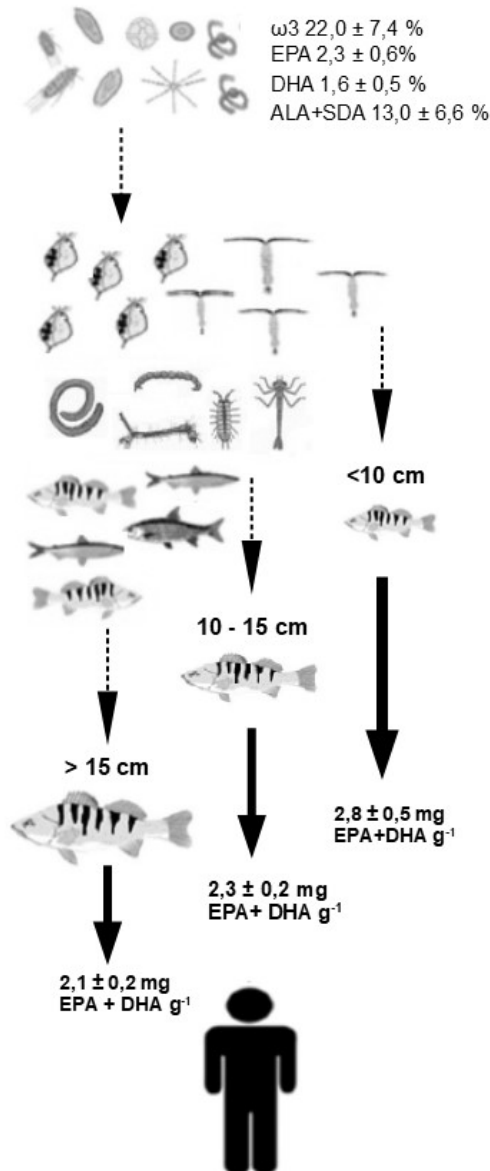
(*Coregonus albula*) osuutta kalastosta. Pyhäjärveen 1950-luvulla kotiutettu muikku on ollut Pyhäjärvestä vuosikymmeniä kaupallisesti tärkeimpiä saaliskaloja, ja planktivorikalana myös tärkeä säätelijä ravintoverkon rakenteessa (Helminen & Sarvala 1997, Sarvala ym. 1998, Ventelä ym. 2015). Strandbergin ym. (2015) tutkimuksessa havaittiin muikun ja kuoreen (*Osmerus eperlanus*) olevan merkittävä linkki DHA:n siirtymisessä korkeammille trofiatasoille. Tutkimuksen mukaan muikku ja kuore saalistavat valikoidusti ravintorikasta ravintoa, jolloin DHA rikastuu ravintoketjussa tehokkaasti eläinplanktonia korkeammille tasoille, kuten kalaravintoa käyttäviin petokaloihin. Pyhäjärven Köyliönjärveä runsaampi planktivorikalakanta voi näin ollen osaltaan selittää, miksi Pyhäjärvestä ahventen EPA + DHA -pitoisuus ei laske kasvun myötä yhtä voimakkaasti kuin Köyliönjärvestä.

4.3. Yhteenveto

Ahventen omega-3 rasvahappokoostumusta luonnonvesissä on aiemmin tutkittu lähinnä kookkailla kalaravintoon siirtyneillä yksilöillä. Tämän tutkimuksen tulokset laajentavat havaintoja koskemaan myös pienempiä ahvenyksilöitä, joiden ravintoon kuuluvat niin eläinplankton kuin vesiselkärangattomatkin. Tulokset osoittavat, että kaikissa yksilön kehitysvaiheissa keskiravinteisen järven ahvenet sisältävät enemmän terveydelle hyödyllisiä rasvahappoja (EPA+DHA) kuin rehevän järven ahvenet. Lisäksi havaittiin, että ahvenen EPA+DHA -pitoisuus laskee kasvun myötä, jolloin kaikkein pienimmät kalat ovat rasvahappokoostumukseltaan laadukkainta ravintoa (Kuva 22). Vesiensuojelun näkökulmasta tulokset ovat rohkaisevia, sillä hoitokalastusten saalis koostuu pääasiassa pienistä kaloista, joiden hyötykäyttöä on viime aikoina pyritty lisäämään. Kalanjalostajille suoritetun kyselyn perusteella kalanjalostuksessa voidaan käyttää jopa alle 10 cm pituisia ahvenia, jolloin rasvahappokoostumukseltaan ravintorikkaimmat kalat ovat myös kuluttajan saavutettavissa (Suomi 2018). Tulosten perusteella ravintona ei siis kannata suosia kaikkein suurimpia ahvenyksilöitä, mikäli haluaa optimoida pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen saannin ja siten kalaravinnosta saatavat terveyshyödyt.

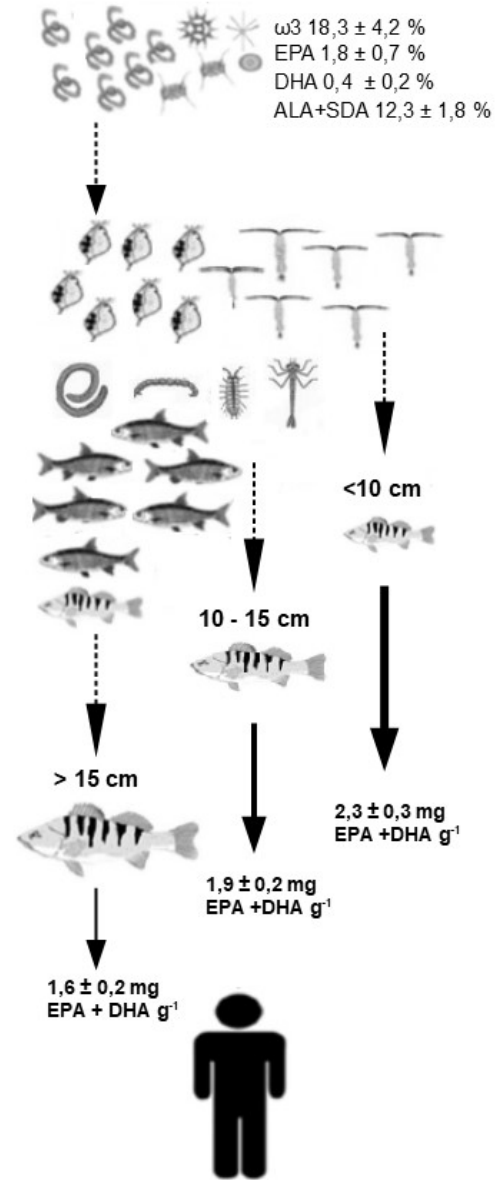
Keskiravinteinen

(Pyhäjärvi, kokonaisfosfori 15 – 30 $\mu\text{g P l}^{-1}$)



Erittäin rehevä

(Köyliönjärvi, kokonaisfosfori >75 $\mu\text{g P l}^{-1}$)



Kuva 22. Järven rehevyys, ravintoverkon rakenne ja ahvenen ravinnonkäytön muutos vaikuttavat terveydelle hyödyllisten omega-3 rasvahappojen (EPA+DHA) kertymiseen ahvenen lihaksiin. Rehevän järven tuottajayhteisön heikompi kyky valmistaa pitkäketjuisia omega-3 rasvahappoja heijastuu myös ravintoketjun ylempien tasojen ravintoarvoon ja viime kädessä ihmiselle päätyvien rasvahappojen määrään. Tulokset osoittavat, että kaikkein pienimmät ahvenet sisältävät eniten (pitoisuus mg FA g^{-1} tuoremassa) terveydelle hyödyllisiä omega-3 rasvahappoja. Kuivamassan ja tuoremassan välisenä muuntokertoimena käytettiin Ahlgrenin ym. (1996) tutkimuksessa havaittua arvoa 0,2.

KIITOKSET

Kiitos ohjaajilleni lehtori Sami Taipaleelle ja Pyhäjärvi-instituutin tutkimuspäällikkö Anne-Mari Ventelälle kärsivällisestä ja asiantuntevasta opastuksesta työn eri vaiheissa. Väitöskirjatyöntekijä Ossi Kevalle iso kiitos avusta ja antoisista keskusteluista tutkielmaan liittyen. Kiitos myös Köyliönjärven kalastusalueen isännöitsijä Tapio Putkolle venekuljetuksista sekä Pyhäjärven kalastajille ja Luonnonvarakeskuksen koekalastajille kala-aineiston lahjoittamisesta. Lisäksi haluan kiittää bio- ja ympäristötieteen laitoksen laboratorioteknikkoja Mervi Koistista, Nina Honkasta ja Emma Pajusta tärkeästä avusta laboratoriotyöskentelyn toteuttamisessa. Iso kiitos työn taloudellisesta tukemisesta Pyhäjärvi-instituutille, Kalatalouden ja merenkulun edistämissätiölle ja Jyväskylän yliopistolle. Lopuksi vielä kiitos Konneveden tutkimusaseman henkilöstölle. Konnevesi-apurahan mahdollistama rauhallinen kirjoitusviikko täyden palvelun kera edisti työni viimeistelyä suunnattomasti.

KIRJALLISUUS

- Abi-Ayad S., Kestemont P. & Mélard C. 2000. Dynamics of total lipids and fatty acids during embryogenesis and larval development of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Fish physiology and Biochemistry*. 23(3): 233-243.
- Ahlgren G., Gustafsson I.B. & Boberg M. 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *Journal of phycology*. 28(1): 37-50.
- Ahlgren G., Blomqvist P., Boberg M. and Gustafsson I.B. 1994. Fatty acid content of the dorsal muscle – an indicator of fat quality in freshwater fish. *Journal of Fish Biology*. 45(1): 131-157.
- Ahlgren G., Sonesten L., Boberg M. & Gustafsson L. 1996. Fatty acid content of some freshwater fish in lakes of different trophic levels—a bottom-up effect? *Ecology of Freshwater Fish*. 5(1): 15-27.
- Ahlgren G., Vrede T & Goedkoop W. 2009. Fatty acid ratios in freshwater fish, zooplankton and zoobenthos – Are there specific optima? Teoksessa: Arts. M.T., Brett M. T. & Kainz M. (toim.), *Lipids in Aquatic Ecosystems*. 147–178. Springer, New York.

- Arts M., Ackman R. & Holub B. 2001. "Essential fatty acids" in aquatic ecosystems: a crucial link between diet and human health and evolution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58(1): 122-137.
- Brett M., Müller-Navarra D., Ballantyne A., Ravet J. & Goldman C. 2006. Daphnia fatty acid composition reflects that of their diet. *Limnology and Oceanography*. 51(5): 2428-2437.
- Brett M., Müller-Navarra D. & Persson J. 2009 Crustacean zooplankton fatty acid composition. Teoksessa: Arts. M.T., Brett M. T. & Kainz M. (toim.), *Lipids in Aquatic Ecosystems*. 115–146. Springer, New York.
- Burdge G. & Calder P. 2005. Conversion of α -alpha-linolenic acid to longer-chain polyunsaturated fatty acids in human adults. *Reproduction Nutrition Development*. 45(5): 581-597.
- Burns C. W. Brett M. & Schallenberg M. 2011. A comparison of the trophic transfer of fatty acids in freshwater plankton by cladocerans and calanoid copepods. *Freshwater Biology*. 56(5): 889-903.
- Christie W. 1993. Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. *Advances in lipid methodology*. 2(69): e111.
- Desvillettes C. H., Bourdier G., Amblard C. H. & Barth B. 1997. Use of fatty acids for the assessment of zooplankton grazing on bacteria, protozoans and microalgae. *Freshwater Biology*. 38(3): 629-637.
- Ederington M., McManus G., & Harvey H. 1995. Trophic transfer of fatty acids, sterols, and a triterpenoid alcohol between bacteria, a ciliate, and the copepod *Acartia tonsa*. *Limnology and Oceanography*. 40(5): 860-867.
- Eloranta A. 1975. *Kalojen iänmäärittäminen*. Suomen kalastusyhdistys, Vammala.
- Fairbairn D. Free fatty acids in animal tissues. 1945. *Journal of Biological Chemistry*. 157: 633.
- Fry B. 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and oceanography*. 33(5): 1182-1190.
- Gladyshev M. 2018. Quality and quantity of biological production in water bodies with different concentration of phosphorus: Case Study of Eurasian Perch. *Doklady Biochemistry and Biophysics* 478(1): 1-3.
- Goedkoop W., Sonesten L., Ahlgren G. & Boberg M. 2000. Fatty acids in profundal benthic invertebrates and their major food resources in Lake Erken, Sweden: seasonal variation and trophic indications. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 57(11): 2267-2279.
- Haakana H., Huuskonen H. & Karjalainen J. 2007. Predation of perch on vendace larvae: diet composition in an oligotrophic lake and digestion time of the larvae. *Journal of Fish Biology*. 70(4): 1171-1184.
- Helminen H. & Sarvala J. 1997. Responses of Lake Pyhäjärvi (southwestern Finland) to variable recruitment of the major planktivorous fish, vendace (*Coregonus albula*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54(1): 32-40.

- Henderson R. & Sargent, J. 1981. Lipid biosynthesis in rainbow trout, *Salmo gairdnerii*, fed diets of differing lipid content. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*. 69(1): 31-37.
- Henrotte E., Kpogu D., Mandiki, S., Wang N., Douxfils J., Dick J., Tocher D. & Kestemont P. 2011. n-3 and n-6 fatty acid bioconversion abilities in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) at two developmental stages. *Aquaculture nutrition*. 17(2): e216-e225.
- Hixson S., Sharma B., Kainz M., Wacker A. & Arts M. 2015. Production, distribution, and abundance of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids: a fundamental dichotomy between freshwater and terrestrial ecosystems. *Environmental Reviews*. 23(4): 414-424.
- Hull M. 2011. Omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Best practice & research Clinical gastroenterology*. 25(4-5): 547-554.
- 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 pelagic zones of a large lake. *Journal of fish biology*. 56(1): 51-72.
- Innis S. 2007. Fatty acids and early human development. *Early human development*. 83(12): 761-766.
- Jaakkola I. 2012. *Rasvahappojen kvantitatiivinen määrittäminen*. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu, Bio- ja elintarviketekniikka.
- Jankowska B., Zakoń Z., Żmijewski T. & Szczepkowski M. 2010. Fatty acid profile of muscles, liver and mesenteric fat in wild and reared perch (*Perca fluviatilis* L.). *Food Chemistry*. 118(3): 764-768.
- Kestemont P., Vandeloise E., Mélard C., Fontaine P. & Brown P. B. 2001. Growth and nutritional status of Eurasian perch *Perca fluviatilis* fed graded levels of dietary lipids with or without added ethoxyquin. *Aquaculture*. 203(1-2): 85-99.
- Koussoroplis A., Nussbaumer J., Arts M., Guschina I. & Kainz M. 2014. Famine and feast in a common freshwater calanoid: Effects of diet and temperature on fatty acid dynamics of *Eudiaptomus gracilis*. *Limnology and Oceanography*. 59(3): 947-958.
- Kris-Etherton P., Harris W. & Appel L. 2002. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*. 106(21): 2747-2757.
- Lau D., Vrede T., Pickova J. & Goedkoop W. 2012. Fatty acid composition of consumers in boreal lakes—variation across species, space and time. *Freshwater Biology*. 57(1): 24-38.
- Lauritze, L., Hansen H., Jørgensen M. & Michaelsen K. 2001. The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Progress in lipid research*. 40(1): 1-94.
- Makhutova O., Sushchik N., Gladyshev M., Ageev A., Pryanichnikova E. & Kalachova G. 2011. Is the fatty acid composition of freshwater zoobenthic

- invertebrates controlled by phylogenetic or trophic factors? *Lipids*. 46(8): 709-721.
- Martin-Creuzburg D., Beck B. & Freese H. M. 2011. Food quality of heterotrophic bacteria for *Daphnia magna*: evidence for a limitation by sterols. *FEMS Microbiology Ecology*. 76(3): 592-601.
- Müller-Navarra D., Brett M., Liston A. & Goldman C. 2000. A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers. *Nature*. 403(6765): 74.
- Müller-Navarra D., Brett M., Park S., Chandra S., Ballantyne A., Zorita E. & Goldman C. 2004. Unsaturated fatty acid content in seston and trophodynamic coupling in lakes. *Nature*. 427(6969): 69.
- Olin M., Lappalainen A., Sutela T., Vehanen T., Ruuhijärvi J., Saura A. & Sairanen, S. 2014. Ohjeet standardinmukaisesti koekalastuksiin. RKTL:n työraportteja 21/2014.
- Paloheimo A. 2010. Köyliönjärven tila, kuormitus ja kunnostus. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja. Sarja B: 15.
- Persson J. & Vrede T. 2006. Polyunsaturated fatty acids in zooplankton: variation due to taxonomy and trophic position. *Freshwater Biology*. 51(5): 887-900.
- Post D. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83(3): 703-718.
- Rask M. 1986. The diet and diel feeding activity of perch, *Perca fluviatilis* L., in a small lake in southern Finland. *Annales Zoologici Fennici*. 23: 49-56.
- Ravet J., Brett M. & Müller-Navarra D. 2003. A test of the role of polyunsaturated fatty acids in phytoplankton food quality for *Daphnia* using liposome supplementation. *Limnology and Oceanography*. 48(5): 1938-1947.
- Ravet J., Brett, M. & Arhonditsis G. 2010. The effects of seston lipids on zooplankton fatty acid composition in Lake Washington, Washington, USA. *Ecology*. 91(1): 180-190.
- Reynolds C. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Lontoo.
- Ruohonen T. 2006. Ahvenen ja hauen kasvu, ravinto ja ravinnonkulutuksen arviointi Säkylän Pyhäjärven vuosina 2002 ja 2004 – loppuraportti. D4213/3516/2001, hanke 134170. Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- Russell F. & Bürgin-Maunders C. 2012. Distinguishing health benefits of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Marine drugs*. 10(11): 2535-2559.
- Sairanen S. 2015a. Köyliönjärven verkkokoekalastukset vuonna 2015. Luonnonvarakeskus. Moniste 9 s.
- Sairanen S. 2015b. Säkylän Pyhäjärven verkkokoekalastukset vuonna 2015. Luonnonvarakeskus. Moniste 10s.

- Sanders T. & Hochland M. 1983. A comparison of the influence on plasma lipids and platelet function of supplements of ω 3 and ω 6 polyunsaturated fatty acids. *British journal of nutrition*. 50(3): 521-529.
- Sarvala J., Helminen H., Saarikari V., Salonen S. & Vuorio K. 1998. Relations between planktivorous fish abundance, zooplankton and phytoplankton in three lakes of differing productivity. *Hydrobiologia* 363: 81-95.
- Simopoulos A. P. 2000. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry science*. 79(7): 961-970.
- Smyntek P., Teece M., Schulz K. & Storch A. 2008. Taxonomic differences in the essential fatty acid composition of groups of freshwater zooplankton relate to reproductive demands and generation time. *Freshwater Biology*. 53(9): 1768-1782.
- Strandberg U., Hiltunen M., Jelkänen E., Taipale S., Kainz M., Brett M. & Kankaala P. 2015. Selective transfer of polyunsaturated fatty acids from phytoplankton to planktivorous fish in large boreal lakes. *Science of the Total Environment*. 536: 858-865.
- Sushchik N., Gladyshev M., Moskvichova A., Makhutova O. & Kalachova G. 2003. Comparison of fatty acid composition in major lipid classes of the dominant benthic invertebrates of the Yenisei river. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 134(1): 111-122.
- Suomen ympäristökeskus. 2013. Vesikartta. paikkatieto.ymparisto.fi/vesikartta/. Hakupäivä 19.01.2019.
- Suomen ympäristökeskus 2018. Hertta-tietojärjestelmä. <https://www.ymparisto.fi/scripts/kirjaudu.asp>. Hakupäivä 20.11.2018.
- Suomi, I. 2018. *Lahna-, särki- ja ahvensaaliiden koostumus järvoikalastuksissa ja erikokoisten kalojen hyödynnettävyys kalanjalostuksessa*. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- Swanson D., Block R. & Mousa S. 2012. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. *Advances in nutrition*. 3(1): 1-7.
- Taipale S., Kainz M. & Brett M. 2011. Diet-switching experiments show rapid accumulation and preferential retention of highly unsaturated fatty acids in Daphnia. *Oikos*. 120(11): 1674-1682.
- Taipale S., Brett M., Pulkkinen K., & Kainz M. 2012. The influence of bacteria-dominated diets on Daphnia magna somatic growth, reproduction, and lipid composition. *FEMS Microbiology Ecology*. 82(1): 50-62.
- Taipale S., Strandberg U., Peltomaa E., Galloway A.W., Ojala A. & Brett M. 2013. Fatty acid composition as biomarkers of freshwater microalgae: analysis of 37 strains of microalgae in 22 genera and in seven classes. *Aquatic Microbial Ecology*. 71(2):165-78.
- Taipale S., Brett M., Hahn M. W., Martin-Creuzburg D., Yeung S., Hiltunen M., Strandberg U. & Kankaala, P. 2014. Differing Daphnia magna assimilation

- efficiencies for terrestrial, bacterial, and algal carbon and fatty acids. *Ecology*. 95(2): 563-576.
- Taipale S., Vuorio K., Strandberg U., Kahilainen K., Järvinen M., Hiltunen M., Peltomaa E. & Kankaala P. 2016. Lake eutrophication and brownification downgrade availability and transfer of essential fatty acids for human consumption. *Environment international*. 96:156-66.
- Taipale S., Kahilainen K., Holtgrieve G. & Peltomaa E. 2018. Simulated eutrophication and browning alters zooplankton nutritional quality and determines juvenile fish growth and survival. *Ecology and evolution*. 8(5): 2671-2687.
- Tocher D. 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in fisheries science*. 11(2): 107-184.
- Ventelä A. M., Wiackowski K., Moilanen M., Saarikari V., Vuorio K., & Sarvala J. 2002. The effect of small zooplankton on the microbial loop and edible algae during a cyanobacterial bloom. *Freshwater Biology*. 47(10): 1807-1819.
- Ventelä A.-M., Amsinck S.L., Kauppila T., Johansson L.S., Jeppesen E., Kirkkala T., Søndergaard M., Weckström J. & Sarvala J. 2016. Ecosystem change in the large and shallow Lake Säkylän Pyhäjärvi, Finland, during the past ~400 years: implications for management. *Hydrobiologia*. 778(1): 273-294.
- Ventelä A.-M., Forsman T. & Laine P. 2015. RAPU. Satakunta - Innovation and research network in changing climate - case crayfish. Rapuhankkeen 2011-2015 loppuraportti. Pyhäjärvi-instituutti, Eura.
- Véra A., Desvillettes C., Bec A., & Bourdier G. 2001. Fatty acid composition of freshwater heterotrophic flagellates: an experimental study. *Aquatic Microbial Ecology*. 25(3): 271-279.
- Walker C., Jebb S. & Calder P. 2013. Stearidonic acid as a supplemental source of ω -3 polyunsaturated fatty acids to enhance status for improved human health. *Nutrition*. 29(2): 363-369.
- Wenzel A., Bergström A. K., Jansson M., & Vrede T. 2012. Survival, growth and reproduction of *Daphnia galeata* feeding on single and mixed *Pseudomonas* and *Rhodomonas* diets. *Freshwater Biology*. 57(4): 835-846.
- Xu X., Fontaine P., Mélard C. & Kestemont P. 2001. Effects of dietary fat levels on growth, feed efficiency and biochemical compositions of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture International*. 9(5): 437-449.
- Xu X. & Kestemont P. 2002. Lipid Metabolism and FA Composition in Tissues of Eurasian Perch *Perca fluviatilis* as Influenced by Dietary Fats. *Lipids*. 37(3): 297-304
- Yashodhara B., Umakanth S., Pappachan J., Bhat S., Kamath R. & Choo B. 2009. Omega-3 fatty acids: a comprehensive review of their role in health and disease. *Postgraduate medical journal*. 85(1000): 84-90.

LIITTEET

LIITE 1. Tutkimusaineiston perustiedot ja rasvahappokoostumus

Pitoisuudet ($\mu\text{g FA mg C}^{-1}$)																	
Järvi	Näyte	Päivämäärä	Pituus (mm)	Ikä (X+)	Sukupuoli	$\omega 3$	16 $\omega 3$	18 $\omega 3$	20 $\omega 3$	22 $\omega 3$	ALA+SDA	EPA	DHA	EPA+DHA	$\omega 6$	LIN	ARA
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	5.6.2017				1,8	0,1	0,9	0,3	0,5	0,8	0,3	0,2	0,5	0,9	0,7	0,1
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	20.6.2017				0,6	0,1	0,4	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	4.7.2017				2,0	0,1	1,0	0,3	0,5	0,9	0,3	0,2	0,5	0,6	0,4	0,1
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	17.7.2017				2,4	0,2	1,2	0,4	0,6	1,1	0,4	0,2	0,6	1,3	0,8	0,1
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	31.7.2017				2,2	0,2	1,2	0,3	0,5	1,1	0,3	0,2	0,5	0,8	0,5	0,1
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	28.8.2017				3,6	0,3	2,0	0,5	0,7	1,8	0,5	0,3	0,7	1,5	1,1	0,1
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	8.6.2017				1,5	0,1	0,8	0,3	0,3	0,8	0,2	0,1	0,3	0,5	0,3	0,0
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	21.6.2017				1,5	0,2	0,8	0,3	0,3	0,8	0,3	0,0	0,3	0,6	0,3	0,0
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	11.7.2017				1,4	0,2	0,8	0,2	0,2	0,8	0,2	0,0	0,2	0,7	0,4	0,0
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	27.7.2017				1,2	0,1	0,7	0,1	0,1	0,7	0,1	0,0	0,1	0,5	0,3	0,0
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	18.8.2017				0,7	0,1	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,0
Pyhäj.	Cladocera	5.6.2017				71,8	1,1	23,1	38,0	9,6	22,1	38,0	9,6	47,6	22,1	5,7	11,4
Pyhäj.	Cladocera	20.6.2017				85,4	1,7	41,8	31,9	10,0	41,2	31,9	10,0	41,9	24,3	7,3	12,2
Pyhäj.	Cladocera	4.7.2017				45,1	0,5	16,4	23,1	5,1	15,9	23,1	5,1	28,2	20,2	5,0	13,0
Pyhäj.	Cladocera	17.7.2017				101,9	1,7	44,6	44,3	11,3	42,2	44,3	11,3	55,5	49,4	22,3	21,1
Pyhäj.	Cladocera	31.7.2017				65,5	2,1	26,6	31,4	5,4	25,6	31,4	5,4	36,8	28,0	11,7	13,2
Pyhäj.	Cladocera	28.8.2017				73,6	1,4	30,2	38,6	3,5	29,0	38,6	3,5	42,1	21,3	11,4	9,1
Köyliönj.	Cladocera	8.6.2017				81,7	0,5	30,9	43,3	7,1	30,1	43,3	7,1	50,4	20,6	8,0	10,3
Köyliönj.	Cladocera	21.6.2017				55,1	0,5	21,2	32,3	1,2	20,7	32,3	1,2	33,5	18,1	7,1	9,0
Köyliönj.	Cladocera	11.7.2017				40,7	0,4	15,7	21,8	2,8	15,3	21,8	2,8	24,6	17,7	7,6	8,5
Köyliönj.	Cladocera	27.7.2017				50,2	0,8	20,8	25,4	3,2	20,6	25,4	3,2	28,5	18,1	7,2	8,8
Köyliönj.	Cladocera	18.8.2017				53,2	1,4	30,7	17,4	3,6	30,5	17,4	3,6	21,0	19,6	8,3	7,6
Pyhäj.	Chironomidae	2.9.2017				33,3	0,2	9,8	22,5	0,8	9,8	22,2	0,6	22,8	19,0	12,5	5,0
Köyliönj.	Chironomidae	2.9.2017				17,7	0,0	7,1	10,5	0,0	7,1	10,5	0,0	10,5	12,1	10,0	1,7

Pitoisuudet ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa)

Järvi	Näyte	Päivämäärä	Pituus (mm)	Ikä (X+)	Sukupuoli	$\omega 3$	16 $\omega 3$	18 $\omega 3$	20 $\omega 3$	22 $\omega 3$	ALA+SDA	EPA	DHA	EPA+DHA	$\omega 6$	LIN	ARA
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	50	0		20,0	0,0	1,4	3,7	14,9	1,4	3,5	14,1	17,6	4,9	1,1	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	53	0		15,7	0,0	1,0	3,5	11,1	1,0	3,4	10,4	13,8	4,3	0,9	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	55	0		15,5	0,0	0,8	3,0	11,7	0,8	2,9	11,0	13,9	4,2	0,8	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	56	0		15,3	0,0	0,9	3,2	11,2	0,9	3,1	10,6	13,7	3,8	0,7	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	57	0		17,8	0,0	1,0	3,3	13,4	1,0	3,2	12,7	15,9	4,5	0,9	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	58	0		19,8	0,0	1,2	3,5	15,0	1,2	3,4	14,2	17,6	4,9	1,0	2,3
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	59	0		15,7	0,0	1,2	3,6	10,9	1,2	3,5	10,0	13,6	4,6	0,9	2,4
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	61	0		19,7	0,0	1,4	4,6	13,7	1,4	4,5	12,7	17,2	5,2	1,2	2,5
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	63	0		18,6	0,0	1,2	3,8	13,7	1,2	3,6	12,8	16,5	4,6	1,0	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	65	0		13,1	0,0	1,1	4,4	7,6	1,1	4,3	6,3	10,6	4,5	1,0	2,5
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	66	0		16,2	0,0	0,9	3,1	12,2	0,9	3,0	11,5	14,4	4,1	0,8	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	68	0		14,7	0,0	0,9	3,9	9,9	0,9	3,8	9,1	12,9	3,9	0,7	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	70	1		13,8	0,0	1,5	4,5	7,8	1,5	4,4	5,8	10,2	3,8	0,9	2,0
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	78	1		14,3	0,0	0,8	4,2	9,2	0,8	4,2	7,9	12,0	4,2	1,0	2,3
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	88	1		13,3	0,0	0,7	4,1	8,5	0,7	4,0	7,1	11,2	3,9	0,9	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	101	2	♀	14,8	0,0	0,6	4,4	9,8	0,6	4,3	8,6	12,9	3,9	0,6	2,5
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	129	2	♂	13,3	0,0	0,6	3,6	9,1	0,6	3,5	8,0	11,5	3,9	0,7	2,3
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	139	2	♂	14,4	0,0	0,6	3,4	10,4	0,6	3,3	8,4	11,8	4,1	0,8	2,6
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	145	2	♂	12,3	0,0	0,6	3,0	8,7	0,6	2,9	8,0	10,9	3,7	0,6	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	147	2	♀	12,3	0,0	0,4	3,4	8,4	0,4	3,4	7,4	10,8	3,4	0,6	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	150	3	♂	13,8	0,0	0,5	4,1	9,2	0,5	4,0	6,9	10,9	4,5	0,8	2,7
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	150	3	♂	11,6	0,0	0,4	2,9	8,3	0,4	2,8	7,7	10,5	3,4	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	152	3	♂	13,0	0,0	0,4	4,2	8,5	0,4	4,1	6,5	10,6	3,9	0,7	2,6
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	153	3	♀	10,9	0,0	0,3	2,6	7,9	0,3	2,6	7,0	9,6	2,9	0,4	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	154	3	♀	11,6	0,0	0,4	2,6	8,7	0,4	2,6	7,3	9,9	3,0	0,6	1,8
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	155	2	♀	13,8	0,0	0,4	2,8	10,6	0,4	2,8	9,5	12,3	3,5	0,5	2,2

Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	158	3	♂	12,0	0,0	0,3	2,9	8,8	0,3	2,8	7,4	10,2	3,4	0,5	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	158	3	♀	11,6	0,0	0,3	3,2	8,1	0,3	3,1	7,0	10,1	3,0	0,5	1,8
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	164	3	♂	12,8	0,0	0,3	3,9	8,5	0,3	3,9	6,9	10,7	4,0	0,5	2,8
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	165	3	♂	13,3	0,0	0,4	3,8	9,1	0,4	3,8	7,3	11,1	3,9	0,6	2,6
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	167	3	♂	12,2	0,0	0,5	2,9	8,8	0,5	2,9	8,1	11,0	3,5	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	175	4	♀	12,3	0,0	0,4	2,5	9,5	0,4	2,4	8,8	11,2	3,2	0,4	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	185	4	♂	11,1	0,0	0,3	3,3	7,5	0,3	3,2	6,4	9,7	3,3	0,4	2,3
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	189	4	♂	14,8	0,0	0,3	2,8	11,8	0,3	2,7	10,4	13,1	4,2	0,6	2,7
Pyhäj.	Ahven lihas	13.9.2017	189	4	♀	11,3	0,0	0,5	2,7	8,1	0,5	2,7	7,4	10,0	3,4	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	193	4	♀	12,6	0,0	0,6	3,3	8,8	0,6	3,2	7,6	10,8	3,6	0,6	2,3
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	194	3	♀	11,5	0,0	0,4	3,5	7,6	0,4	3,5	6,6	10,1	2,9	0,4	2,0
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	196	4	♀	12,2	0,0	0,6	2,7	9,0	0,6	2,6	8,2	10,8	3,6	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	198	4	♀	11,3	0,0	0,5	3,5	7,2	0,5	3,5	6,3	9,8	3,3	0,6	2,2
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	212	5	♂	11,9	0,0	0,5	2,4	9,0	0,5	2,3	8,2	10,5	3,2	0,5	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	213	5	♀	13,3	0,0	0,4	2,3	10,6	0,4	2,2	9,7	12,0	3,3	0,4	2,0
Pyhäj.	Ahven lihas	12.9.2017	214	6	♀	11,9	0,0	0,3	2,6	9,0	0,3	2,6	8,1	10,6	3,2	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	233	6	♀	10,5	0,0	0,3	2,0	8,2	0,3	2,0	7,4	9,3	2,8	0,4	1,8
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	235	5	♂	10,0	0,0	0,3	1,8	7,9	0,3	1,7	7,3	9,0	2,6	0,4	1,7
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	240	5	♂	12,4	0,0	0,5	2,4	9,5	0,5	2,3	8,6	10,9	3,4	0,5	2,1
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	240	6	♀	11,4	0,0	0,2	1,8	9,3	0,2	1,8	8,5	10,3	2,9	0,3	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	241	6	♀	12,9	0,0	0,7	2,3	9,9	0,7	2,3	9,2	11,5	3,4	0,6	1,9
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	262	6	♀	12,5	0,0	0,4	1,9	10,1	0,4	1,9	9,2	11,1	2,9	0,5	1,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	56	0		16,8	0,0	1,0	4,2	11,6	1,0	4,0	10,7	14,7	4,0	0,7	2,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	60	0		14,7	0,0	0,9	3,7	10,1	0,9	3,6	9,3	12,8	3,4	0,6	1,9
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	61	0		13,1	0,0	1,1	3,3	8,7	1,1	3,2	7,9	11,1	3,4	0,8	1,6
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	62	0		16,5	0,0	1,0	4,2	11,4	1,0	4,0	10,4	14,4	3,5	0,6	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	63	0		13,9	0,0	0,7	3,3	9,8	0,7	3,2	9,0	12,2	3,2	0,5	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	82	1		11,7	0,0	0,4	2,5	8,8	0,4	2,5	8,3	10,8	2,6	0,4	1,3
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	84	1		11,5	0,0	0,5	4,2	6,8	0,5	4,1	6,0	10,1	3,2	0,4	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	85	1		12,1	0,0	0,4	2,4	9,3	0,4	2,4	8,8	11,2	2,4	0,4	1,3

Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	91	1		11,5	0,0	0,4	3,3	7,8	0,4	3,2	7,0	10,2	2,9	0,3	1,9
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	92	1		12,6	0,0	0,4	2,5	9,7	0,4	2,4	9,1	11,5	2,8	0,5	1,6
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	95	1		12,2	0,0	0,5	4,3	7,3	0,5	4,2	6,4	10,7	3,5	0,4	2,4
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	95	1		11,2	0,0	0,3	2,5	8,5	0,3	2,4	7,9	10,3	2,4	0,3	1,4
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	100	2	♀	9,6	0,0	0,3	3,3	6,0	0,3	3,2	5,2	8,4	2,7	0,3	2,0
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	104	2		12,1	0,0	0,4	3,7	8,0	0,4	3,6	7,1	10,7	3,1	0,3	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	106	2	♂	9,5	0,0	0,4	2,0	7,1	0,4	1,9	6,4	8,4	2,6	0,4	1,5
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	109	2	♀	12,1	0,0	0,5	4,3	7,4	0,5	4,2	6,2	10,4	3,9	0,4	2,8
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	111	2	♀	11,2	0,0	0,4	3,9	7,0	0,4	3,8	6,0	9,8	3,4	0,4	2,4
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	111	2	♀	10,2	0,0	0,2	2,0	8,0	0,2	1,9	7,0	8,9	3,0	0,2	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	115	2	♂	13,4	0,0	0,4	3,8	9,2	0,4	3,7	8,2	11,9	3,8	0,4	2,6
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	120	3	♀	10,7	0,0	0,3	2,4	8,0	0,3	2,3	7,3	9,7	3,1	0,4	1,9
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	122	2	♀	11,8	0,0	0,4	4,2	7,2	0,4	4,1	6,1	10,2	4,2	0,5	3,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	126	3	♀	10,9	0,0	0,4	3,5	7,1	0,4	3,4	6,1	9,5	3,2	0,3	2,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	130	3	♂	11,0	0,0	0,5	2,6	8,0	0,5	2,5	7,1	9,7	3,1	0,5	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	130	3	♀	9,7	0,0	0,4	2,0	7,3	0,4	1,9	6,6	8,5	2,8	0,4	1,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	132	3	♀	9,5	0,0	0,2	2,5	6,9	0,2	2,4	6,1	8,5	3,0	0,4	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	135	3	♂	10,7	0,0	0,2	2,4	8,1	0,2	2,4	7,5	9,9	2,6	0,2	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	136	3	♀	10,9	0,0	0,2	1,6	9,1	0,2	1,6	8,3	9,9	3,1	0,3	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	157	5	♀	8,1	0,0	0,2	1,5	6,4	0,2	1,5	5,8	7,3	2,9	0,3	2,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	164	4	♀	9,5	0,0	0,4	1,5	7,6	0,4	1,5	6,9	8,4	3,3	0,6	2,0
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	168	4	♀	9,9	0,0	0,6	2,5	6,8	0,6	2,4	5,9	8,3	3,3	0,4	2,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	172	4	♀	9,9	0,0	0,3	1,5	8,2	0,3	1,4	7,1	8,5	2,8	0,3	1,9
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	175	4	♂	10,1	0,0	0,1	1,2	8,8	0,1	1,2	8,2	9,4	2,5	0,2	1,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	190	5	♀	8,6	0,0	0,1	1,1	7,3	0,1	1,1	6,9	8,0	2,6	0,3	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	193	5	♀	9,2	0,0	0,2	1,2	7,8	0,2	1,2	7,1	8,3	2,5	0,2	1,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	198	6	♂	8,1	0,0	0,1	1,1	6,9	0,1	1,1	6,4	7,4	2,6	0,2	1,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	200	5	♀	10,7	0,0	0,3	1,7	8,7	0,3	1,7	8,0	9,7	2,4	0,3	1,5
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	205	6	♂	6,8	0,0	0,1	0,9	5,8	0,1	0,9	5,3	6,2	2,0	0,2	1,3

Suhteellinen osuus (% kokonaisrasvahapoista)																	
Järvi	Näyte	Päivämäärä	Pituus (mm)	Ikä (X+)	Sukupuoli	ω3	16 ω3	18 ω3	20 ω3	22 ω3	ALA+SDA	EPA	DHA	EPA+DHA	ω6	LIN	ARA
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	5.6.2017				11,3	0,9	5,6	1,8	3,0	5,0	1,7	1,3	3,0	5,5	4,1	0,4
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	20.6.2017				27,0	3,4	17,8	2,0	3,8	17,1	1,9	1,9	3,8	6,2	5,0	0,3
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	4.7.2017				22,5	1,6	11,3	3,5	6,1	10,3	3,3	2,8	6,1	7,1	4,1	0,9
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	17.7.2017				18,2	1,3	9,2	3,1	4,7	8,0	3,0	1,7	4,7	9,5	6,4	0,7
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	31.7.2017				17,9	1,3	9,8	2,8	4,0	8,7	2,7	1,4	4,1	6,4	4,4	0,6
Pyhäj.	Seston (<50 μm)	28.8.2017				15,4	1,4	8,6	2,2	3,2	7,7	2,0	1,2	3,2	6,4	4,6	0,5
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	8.6.2017				15,3	1,4	8,0	2,6	3,3	7,7	2,5	0,8	3,3	5,4	3,4	0,3
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	21.6.2017				16,7	1,8	8,8	2,9	3,2	8,6	2,8	0,5	3,2	6,1	3,1	0,4
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	11.7.2017				14,6	1,8	8,6	1,9	2,3	8,3	1,9	0,4	2,3	6,9	4,1	0,3
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	27.7.2017				14,9	1,8	9,6	1,8	1,7	9,5	1,4	0,3	1,7	7,0	4,4	0,2
Köyliönj.	Seston (<50 μm)	18.8.2017				11,6	1,4	7,6	1,2	1,3	7,5	1,1	0,3	1,3	4,8	3,4	0,2
Pyhäj.	Cladocera	5.6.2017				41,8	0,7	13,5	22,2	5,5	12,9	22,2	5,5	27,7	12,8	3,3	6,7
Pyhäj.	Cladocera	20.6.2017				44,9	0,9	21,9	16,7	5,3	21,6	16,7	5,3	22,0	12,8	3,8	6,4
Pyhäj.	Cladocera	4.7.2017				38,3	0,5	13,9	19,6	4,4	13,5	19,6	4,4	24,0	17,2	4,3	11,1
Pyhäj.	Cladocera	17.7.2017				37,4	0,6	16,4	16,2	4,1	15,5	16,2	4,1	20,4	18,1	8,2	7,7
Pyhäj.	Cladocera	31.7.2017				37,8	1,2	15,3	18,1	3,1	14,8	18,1	3,1	21,2	16,2	6,8	7,6
Pyhäj.	Cladocera	28.8.2017				32,8	0,6	13,3	17,5	1,5	12,8	17,5	1,5	19,0	9,4	5,1	4,0
Köyliönj.	Cladocera	8.6.2017				42,4	0,3	16,0	22,5	3,7	15,6	22,5	3,7	26,2	10,7	4,1	5,3
Köyliönj.	Cladocera	21.6.2017				38,2	0,3	14,7	22,4	0,8	14,3	22,4	0,8	23,2	12,5	4,9	6,2
Köyliönj.	Cladocera	11.7.2017				34,0	0,4	13,1	18,0	2,5	12,8	18,0	2,5	20,5	14,6	6,3	6,9
Köyliönj.	Cladocera	27.7.2017				37,8	0,7	16,0	18,7	2,5	15,8	18,7	2,5	21,2	13,4	5,4	6,5
Köyliönj.	Cladocera	18.8.2017				37,3	1,0	21,6	12,2	2,5	21,5	12,2	2,5	14,8	13,8	5,8	5,4
Pyhäj.	Chironomidae	2.9.2017				32,0	0,2	9,4	21,6	0,8	9,4	21,3	0,6	21,9	18,3	12,0	4,9
Köyliönj.	Chironomidae	2.9.2017				27,0	0,0	10,8	16,2	0,0	10,8	16,0	0,0	16,1	18,6	15,2	2,5
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	50	0		50,9	0,0	3,6	9,3	37,9	3,6	8,8	35,8	44,6	12,4	2,8	5,5
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	53	0		48,2	0,0	3,1	10,8	34,3	3,1	10,5	31,8	42,4	13,3	2,7	6,8
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	55	0		49,4	0,0	2,7	9,6	37,2	2,7	9,2	35,0	44,2	13,3	2,6	6,7
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	56	0		50,7	0,0	3,0	10,5	37,2	3,0	10,2	35,3	45,5	12,5	2,4	6,3

Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	57	0		50,8	0,0	3,0	9,5	38,4	3,0	9,1	36,3	45,4	12,9	2,6	6,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	58	0		47,3	0,0	3,6	10,9	32,8	3,6	10,6	30,2	40,8	13,9	2,8	7,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	59	0		51,2	0,0	3,2	9,1	38,9	3,2	8,8	36,8	45,6	12,6	2,6	5,9
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	61	0		49,4	0,0	3,5	11,5	34,4	3,5	11,2	31,8	43,0	13,0	2,9	6,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	63	0		50,9	0,0	3,3	10,3	37,3	3,3	9,9	35,0	45,0	12,4	2,7	5,7
Pyhäj.	Ahven lihas	30.8.2017	65	0		43,7	0,0	3,8	14,5	25,4	3,8	14,3	21,2	35,5	14,9	3,4	8,3
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	66	0		50,7	0,0	2,9	9,6	38,1	2,9	9,3	35,8	45,1	12,8	2,6	6,0
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	68	0		49,8	0,0	3,2	13,2	33,4	3,2	12,9	30,8	43,7	13,1	2,5	7,2
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	70	1		46,5	0,0	5,0	15,2	26,3	5,0	14,9	19,6	34,5	12,8	3,1	6,7
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	78	1		45,4	0,0	2,6	13,4	29,3	2,6	13,2	25,0	38,2	13,4	3,3	7,3
Pyhäj.	Ahven lihas	2.9.2017	88	1		46,2	0,0	2,3	14,2	29,7	2,3	14,0	24,9	38,8	13,7	3,3	7,4
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	101	2	♀	49,1	0,0	2,0	14,6	32,5	2,0	14,4	28,6	42,9	13,0	1,9	8,2
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	129	2	♂	47,5	0,0	2,3	12,9	32,4	2,3	12,6	28,5	41,1	14,0	2,6	8,4
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	139	2	♂	47,2	0,0	2,0	11,2	34,0	2,0	11,0	27,6	38,5	13,6	2,7	8,4
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	145	2	♂	44,8	0,0	2,3	10,8	31,7	2,3	10,6	29,2	39,8	13,7	2,2	7,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	147	2	♀	48,4	0,0	1,8	13,5	33,1	1,8	13,4	29,3	42,7	13,5	2,2	8,6
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	150	3	♂	46,1	0,0	1,6	13,6	30,9	1,6	13,4	23,0	36,4	15,1	2,8	9,1
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	150	3	♂	48,0	0,0	1,8	11,9	34,3	1,8	11,6	31,7	43,3	13,9	1,9	8,7
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	152	3	♂	48,9	0,0	1,3	15,7	31,9	1,3	15,5	24,6	40,1	14,8	2,5	9,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	153	3	♀	50,1	0,0	1,5	12,1	36,5	1,5	11,9	32,4	44,4	13,5	1,7	8,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	154	3	♀	50,6	0,0	1,6	11,3	37,8	1,6	11,2	31,8	43,0	13,3	2,5	7,8
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	155	2	♀	51,6	0,0	1,6	10,5	39,5	1,6	10,3	35,5	45,8	13,1	2,0	8,1
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	158	3	♂	48,8	0,0	1,3	11,6	35,8	1,3	11,4	30,0	41,5	13,7	2,1	8,9
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	158	3	♀	50,2	0,0	1,4	13,7	35,1	1,4	13,5	30,2	43,7	12,9	2,1	8,0
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	164	3	♂	48,8	0,0	1,3	15,0	32,5	1,3	14,7	26,3	41,0	15,2	2,1	10,7
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	165	3	♂	48,8	0,0	1,4	14,1	33,3	1,4	13,9	26,9	40,8	14,5	2,3	9,6
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	167	3	♂	47,0	0,0	1,8	11,3	33,9	1,8	11,1	31,1	42,2	13,4	1,8	8,1
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	175	4	♀	49,2	0,0	1,7	9,8	37,7	1,7	9,6	35,1	44,6	12,6	1,6	7,6
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	185	4	♂	48,3	0,0	1,2	14,4	32,7	1,2	14,2	28,2	42,4	14,3	1,8	10,1
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	189	4	♂	48,3	0,0	0,9	9,0	38,4	0,9	8,8	33,9	42,7	13,7	1,9	8,7

Pyhäj.	Ahven lihas	13.9.2017	189	4	♀	44,8	0,0	2,0	10,8	32,0	2,0	10,6	29,3	39,8	13,4	1,8	8,3
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	193	4	♀	45,7	0,0	2,2	11,8	31,7	2,2	11,6	27,5	39,1	13,1	2,3	8,2
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	194	3	♀	49,4	0,0	1,7	15,1	32,7	1,7	14,9	28,5	43,4	12,6	1,7	8,5
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	196	4	♀	46,5	0,0	2,1	10,1	34,2	2,1	9,9	31,4	41,3	13,7	2,0	8,1
Pyhäj.	Ahven lihas	24.9.2017	198	4	♀	48,0	0,0	2,2	15,0	30,8	2,2	14,8	26,8	41,6	14,2	2,4	9,4
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	212	5	♂	47,6	0,0	2,1	9,5	36,0	2,1	9,3	32,6	41,9	12,8	1,9	7,7
Pyhäj.	Ahven lihas	11.9.2017	213	5	♀	49,5	0,0	1,7	8,5	39,4	1,7	8,3	36,3	44,6	12,2	1,7	7,5
Pyhäj.	Ahven lihas	12.9.2017	214	6	♀	48,4	0,0	1,2	10,7	36,6	1,2	10,5	32,9	43,4	13,1	1,9	8,6
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	233	6	♀	48,1	0,0	1,4	9,2	37,5	1,4	9,0	33,7	42,6	12,8	1,8	8,0
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	235	5	♂	48,4	0,0	1,6	8,6	38,2	1,6	8,4	35,0	43,4	12,6	1,8	8,0
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	240	5	♂	47,4	0,0	1,7	9,1	36,6	1,7	8,9	33,0	41,9	12,8	1,8	8,1
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	240	6	♀	48,6	0,0	1,0	7,8	39,7	1,0	7,7	36,2	43,9	12,5	1,4	8,2
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	241	6	♀	42,7	0,0	2,3	7,8	32,7	2,3	7,6	30,5	38,0	11,1	2,1	6,3
Pyhäj.	Ahven lihas	27.8.2017	262	6	♀	49,6	0,0	1,7	7,7	40,2	1,7	7,5	36,6	44,0	11,6	2,0	6,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	56	0		47,7	0,0	2,9	11,8	33,0	2,9	11,4	30,6	41,9	11,3	1,9	6,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	60	0		47,9	0,0	2,9	12,1	33,0	2,9	11,6	30,3	41,9	11,1	1,8	6,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	61	0		45,9	0,0	3,9	11,6	30,4	3,9	11,1	27,8	38,9	11,8	2,9	5,8
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	62	0		48,5	0,0	2,9	12,3	33,3	2,9	11,9	30,5	42,4	10,1	1,8	5,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	63	0		48,6	0,0	2,5	11,6	34,5	2,5	11,2	31,5	42,7	11,2	1,7	6,3
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	82	1		50,8	0,0	1,7	11,0	38,1	1,7	10,7	36,0	46,8	11,1	1,9	5,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	84	1		46,8	0,0	1,9	17,1	27,8	1,9	16,8	24,2	41,0	13,1	1,8	8,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	85	1		52,2	0,0	1,6	10,5	40,1	1,6	10,3	37,9	48,2	10,4	1,6	5,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	91	1		49,3	0,0	1,6	14,2	33,4	1,6	13,9	30,0	43,9	12,5	1,4	8,3
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	92	1		51,7	0,0	1,5	10,2	40,0	1,5	9,9	37,4	47,3	11,6	2,0	6,4
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	95	1		48,5	0,0	1,9	17,3	29,3	1,9	16,9	25,7	42,6	13,8	1,6	9,6
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	95	1		52,0	0,0	1,4	11,4	39,2	1,4	11,2	36,5	47,6	11,1	1,2	6,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	100	2	♀	49,0	0,0	1,7	16,8	30,5	1,7	16,4	26,7	43,1	13,9	1,4	10,0
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	104	2		49,6	0,0	1,8	15,3	32,5	1,8	14,9	28,9	43,8	12,8	1,4	8,6
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	106	2	♂	47,6	0,0	2,1	10,0	35,5	2,1	9,7	32,4	42,1	13,1	2,0	7,6
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	109	2	♀	46,8	0,0	1,8	16,7	28,4	1,8	16,4	23,9	40,3	14,9	1,7	10,7

Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	111	2	♀	48,6	0,0	1,6	16,7	30,2	1,6	16,4	25,9	42,3	14,7	1,8	10,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	111	2	♀	48,7	0,0	1,2	9,4	38,1	1,2	9,1	33,7	42,7	14,2	1,0	10,2
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	115	2	♂	49,8	0,0	1,5	14,1	34,2	1,5	13,8	30,4	44,2	14,1	1,6	9,8
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	120	3	♀	47,8	0,0	1,5	10,7	35,6	1,5	10,5	32,8	43,3	13,9	1,8	8,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	122	2	♀	45,7	0,0	1,5	16,3	27,8	1,5	16,1	23,5	39,6	16,4	1,8	12,0
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	126	3	♀	49,3	0,0	1,7	15,8	31,8	1,7	15,5	27,5	43,0	14,3	1,6	10,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	130	3	♂	48,0	0,0	2,0	11,3	34,7	2,0	10,9	31,2	42,1	13,7	2,1	8,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	130	3	♀	48,0	0,0	1,9	9,7	36,4	1,9	9,4	32,7	42,1	14,0	2,0	8,2
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	132	3	♀	47,3	0,0	1,1	12,2	34,0	1,1	12,0	30,0	42,0	14,6	2,0	10,3
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	135	3	♂	51,3	0,0	1,0	11,5	38,8	1,0	11,2	35,9	47,1	12,3	0,9	8,7
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	136	3	♀	46,7	0,0	0,8	7,0	38,9	0,8	6,8	35,6	42,4	13,3	1,4	8,9
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	157	5	♀	47,3	0,0	1,0	8,8	37,4	1,0	8,5	34,1	42,7	17,0	1,6	12,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	164	4	♀	43,7	0,0	1,7	7,1	34,9	1,7	6,9	31,6	38,4	15,1	3,0	9,1
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	168	4	♀	43,5	0,0	2,7	10,9	29,9	2,7	10,4	26,0	36,4	14,6	1,9	9,7
Köyliönj.	Ahven lihas	12.9.2017	172	4	♀	47,0	0,0	1,4	6,9	38,7	1,4	6,8	33,5	40,3	13,3	1,5	8,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	175	4	♂	49,6	0,0	0,6	5,9	43,1	0,6	5,7	40,3	46,0	12,3	0,9	8,2
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	190	5	♀	49,2	0,0	0,8	6,4	42,0	0,8	6,2	39,6	45,8	15,1	1,6	10,1
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	193	5	♀	48,3	0,0	1,0	6,4	40,9	1,0	6,1	37,3	43,4	13,1	1,3	8,8
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	198	6	♂	48,6	0,0	0,7	6,6	41,3	0,7	6,3	38,2	44,5	15,8	1,4	11,0
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	200	5	♀	50,6	0,0	1,4	8,2	40,9	1,4	7,9	37,6	45,5	11,5	1,4	7,2
Köyliönj.	Ahven lihas	28.7.2017	205	6	♂	46,3	0,0	0,9	6,2	39,2	0,9	5,9	36,1	42,0	13,4	1,3	9,0

LIITE 2. Ahventen lipidiprosentin tilastollinen testaus tutkimusjärvien sisällä

Tukey HSD		Pyhäjärvijärvi lipidi %			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	0,699	0,252	0,107	
	2	1,473	0,252	0,000	
	3	1,497	0,182	0,000	
	4	1,350	0,200	0,000	
	5	1,871	0,252	0,000	
	6	1,949	0,233	0,000	
1	0	-0,699	0,252	0,107	
	2	0,774	0,309	0,185	
	3	0,798	0,255	0,047	
	4	0,651	0,268	0,211	
	5	1,172	0,309	0,008	
	6	1,250	0,293	0,002	
2	0	-1,473	0,252	0,000	
	1	-0,774	0,309	0,185	
	3	0,024	0,255	1,000	
	4	-0,123	0,268	0,999	
	5	0,398	0,309	0,853	
	6	0,476	0,293	0,669	
3	0	-1,497	0,182	0,000	
	1	-0,798	0,255	0,047	
	2	-0,024	0,255	1,000	
	4	-0,147	0,203	0,990	
	5	0,374	0,255	0,764	
	6	0,452	0,236	0,483	
4	0	-1,350	0,200	0,000	
	1	-0,651	0,268	0,211	
	2	0,123	0,268	0,999	
	3	0,147	0,203	0,990	
	5	0,521	0,268	0,464	
	6	0,598	0,249	0,224	
5	0	-1,871	0,252	0,000	
	1	-1,172	0,309	0,008	
	2	-0,398	0,309	0,853	
	3	-0,374	0,255	0,764	
	4	-0,521	0,268	0,464	
	6	0,078	0,293	1,000	
6	0	-1,949	0,233	0,000	
	1	-1,250	0,293	0,002	
	2	-0,476	0,293	0,669	
	3	-0,452	0,236	0,483	
	4	-0,598	0,249	0,224	
	5	-0,078	0,293	1,000	

Tukey HSD		Köyliönjärvi lipidi %			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	1,239	0,250	0,000	
	2	1,185	0,250	0,001	
	3	1,845	0,265	0,000	
	4	1,955	0,277	0,000	
	5	2,043	0,320	0,000	
	6	2,566	0,367	0,000	
1	0	-1,239	0,250	0,000	
	2	-0,054	0,219	1,000	
	3	0,606	0,237	0,175	
	4	0,716	0,250	0,095	
	5	0,805	0,297	0,130	
	6	1,327	0,347	0,010	
2	0	-1,185	0,250	0,001	
	1	0,054	0,219	1,000	
	3	0,660	0,237	0,112	
	4	0,770	0,250	0,059	
	5	0,859	0,297	0,089	
	6	1,381	0,347	0,007	
3	0	-1,845	0,265	0,000	
	1	-0,606	0,237	0,175	
	2	-0,660	0,237	0,112	
	4	0,110	0,265	1,000	
	5	0,199	0,310	0,995	
	6	0,721	0,358	0,426	
4	0	-1,955	0,277	0,000	
	1	-0,716	0,250	0,095	
	2	-0,770	0,250	0,059	
	3	-0,110	0,265	1,000	
	5	0,089	0,320	1,000	
	6	0,611	0,367	0,642	
5	0	-2,043	0,320	0,000	
	1	-0,805	0,297	0,130	
	2	-0,859	0,297	0,089	
	3	-0,199	0,310	0,995	
	4	-0,089	0,320	1,000	
	6	0,523	0,400	0,844	
6	0	-2,566	0,367	0,000	
	1	-1,327	0,347	0,010	
	2	-1,381	0,347	0,007	
	3	-0,721	0,358	0,426	
	4	-0,611	0,367	0,642	
	5	-0,523	0,400	0,844	

LIITE 3. Ahventen EPA+DHA -pitoisuuden tilastollinen testaus tutkimusjärvien sisällä

Dunnett T3		Pyhäjärvi EPA+DHA ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa)			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	3,214	0,849	0,054	
	2	3,547	0,662	0,002	
	3	4,177	0,656	0,000	
	4	4,112	0,734	0,001	
	5	4,195	0,873	0,014	
	6	4,222	0,721	0,001	
1	0	-3,214	0,849	0,054	
	2	0,333	0,625	1,000	
	3	0,963	0,619	0,847	
	4	0,898	0,701	0,953	
	5	0,981	0,846	0,977	
	6	1,008	0,688	0,893	
2	0	-3,547	0,662	0,002	
	1	-0,333	0,625	1,000	
	3	0,630	0,317	0,646	
	4	0,565	0,456	0,975	
	5	0,648	0,658	0,989	
	6	0,675	0,436	0,869	
3	0	-4,177	0,656	0,000	
	1	-0,963	0,619	0,847	
	2	-0,630	0,317	0,646	
	4	-0,065	0,448	1,000	
	5	0,018	0,652	1,000	
	6	0,045	0,427	1,000	
4	0	-4,112	0,734	0,001	
	1	-0,898	0,701	0,953	
	2	-0,565	0,456	0,975	
	3	0,065	0,448	1,000	
	5	0,083	0,730	1,000	
	6	0,110	0,539	1,000	
5	0	-4,195	0,873	0,014	
	1	-0,981	0,846	0,977	
	2	-0,648	0,658	0,989	
	3	-0,018	0,652	1,000	
	4	-0,083	0,730	1,000	
	6	0,027	0,717	1,000	
6	0	-4,222	0,721	0,001	
	1	-1,008	0,688	0,893	
	2	-0,675	0,436	0,869	
	3	-0,045	0,427	1,000	
	4	-0,110	0,539	1,000	
	5	-0,027	0,717	1,000	

Tukey HSD		Köyliönjärvi EPA+DHA ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$ kuivamassa)			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	2,662	0,576	0,001	
	2	3,063	0,576	0,000	
	3	3,738	0,612	0,000	
	4	4,696	0,639	0,000	
	5	4,418	0,738	0,000	
	6	6,256	0,846	0,000	
1	0	-2,662	0,576	0,001	
	2	0,401	0,505	0,984	
	3	1,077	0,546	0,452	
	4	2,034	0,576	0,021	
	5	1,757	0,684	0,172	
	6	3,594	0,799	0,002	
2	0	-3,063	0,576	0,000	
	1	-0,401	0,505	0,984	
	3	0,675	0,546	0,874	
	4	1,633	0,576	0,101	
	5	1,355	0,684	0,447	
	6	3,193	0,799	0,006	
3	0	-3,738	0,612	0,000	
	1	-1,077	0,546	0,452	
	2	-0,675	0,546	0,874	
	4	0,958	0,612	0,705	
	5	0,680	0,715	0,960	
	6	2,518	0,825	0,064	
4	0	-4,696	0,639	0,000	
	1	-2,034	0,576	0,021	
	2	-1,633	0,576	0,101	
	3	-0,958	0,612	0,705	
	5	-0,278	0,738	1,000	
	6	1,560	0,846	0,530	
5	0	-4,418	0,738	0,000	
	1	-1,757	0,684	0,172	
	2	-1,355	0,684	0,447	
	3	-0,680	0,715	0,960	
	4	0,278	0,738	1,000	
6	6	1,838	0,923	0,441	
	0	-6,256	0,846	0,000	
	1	-3,594	0,799	0,002	
	2	-3,193	0,799	0,006	
	3	-2,518	0,825	0,064	
	4	-1,560	0,846	0,530	
	5	-1,838	0,923	0,441	

Tukey HSD		Pyhäjärvi EPA+DHA (% rasvahapoista)			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	4,769	1,437	0,029	
	2	2,859	1,437	0,436	
	3	1,382	1,039	0,834	
	4	1,530	1,136	0,826	
	5	0,430	1,437	1,000	
	6	0,985	1,325	0,989	
1	0	-4,769	1,437	0,029	
	2	-1,910	1,760	0,929	
	3	-3,387	1,453	0,255	
	4	-3,240	1,524	0,358	
	5	-4,340	1,760	0,199	
	6	-3,784	1,670	0,285	
2	0	-2,859	1,437	0,436	
	1	1,910	1,760	0,929	
	3	-1,477	1,453	0,947	
	4	-1,330	1,524	0,975	
	5	-2,429	1,760	0,809	
	6	-1,874	1,670	0,918	
3	0	-1,382	1,039	0,834	
	1	3,387	1,453	0,255	
	2	1,477	1,453	0,947	
	4	0,147	1,157	1,000	
	5	-0,953	1,453	0,994	
	6	-0,397	1,342	1,000	
4	0	-1,530	1,136	0,826	
	1	3,240	1,524	0,358	
	2	1,330	1,524	0,975	
	3	-0,147	1,157	1,000	
	5	-1,100	1,524	0,990	
	6	-0,544	1,419	1,000	
5	0	-0,430	1,437	1,000	
	1	4,340	1,760	0,199	
	2	2,429	1,760	0,809	
	3	0,953	1,453	0,994	
	4	1,100	1,524	0,990	
6	6	0,556	1,670	1,000	
	0	-0,985	1,325	0,989	
	1	3,784	1,670	0,285	
	2	1,874	1,670	0,918	
	3	0,397	1,342	1,000	
	4	0,544	1,419	1,000	
	5	-0,556	1,670	1,000	

Tukey HSD		Köyliönjärvi EPA+DHA (% rasvahapoista)			
Ikäluokka (ahven)	Verrattava ikäluokka	Keskiarvojen erotus	Keskihajonta	p	
0	1	-3,482	1,326	0,154	
	2	-0,728	1,326	0,998	
	3	-1,548	1,409	0,924	
	4	0,809	1,471	0,998	
	5	-3,322	1,699	0,462	
	6	-1,685	1,946	0,975	
1	0	3,482	1,326	0,154	
	2	2,754	1,163	0,247	
	3	1,934	1,256	0,719	
	4	4,291	1,326	0,042	
	5	0,160	1,575	1,000	
	6	1,797	1,839	0,955	
2	0	0,728	1,326	0,998	
	1	-2,754	1,163	0,247	
	3	-0,820	1,256	0,994	
	4	1,537	1,326	0,904	
	5	-2,594	1,575	0,654	
	6	-0,957	1,839	0,998	
3	0	1,548	1,409	0,924	
	1	-1,934	1,256	0,719	
	2	0,820	1,256	0,994	
	4	2,357	1,409	0,638	
	5	-1,774	1,645	0,930	
	6	-0,137	1,899	1,000	
4	0	-0,809	1,471	0,998	
	1	-4,291	1,326	0,042	
	2	-1,537	1,326	0,904	
	3	-2,357	1,409	0,638	
	5	-4,131	1,699	0,221	
	6	-2,494	1,946	0,855	
5	0	3,322	1,699	0,462	
	1	-0,160	1,575	1,000	
	2	2,594	1,575	0,654	
	3	1,774	1,645	0,930	
	4	4,131	1,699	0,221	
6	6	1,637	2,124	0,986	
	0	1,685	1,946	0,975	
	1	-1,797	1,839	0,955	
	2	0,957	1,839	0,998	
	3	0,137	1,899	1,000	
	4	2,494	1,946	0,855	
	5	-1,637	2,124	0,986	