



Loppuraportti

Ilmastonmuutoksen vaikutus järvikalojen ravintoarvoon ja kannanvaihteluihin – esimerkkinä Säkylän Pyhäjärven särjet, muikut ja kuoret -hanke

(Muuttuva kalasto)

10.3.2021.-31.8.2022

Hankenumero: 156919



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



EUROOPAN MERI- JA KALATALOUSRAHASTO
SUOMEN TOIMINTAOHJELMA
2014-2020

Sisällys

1.	Tiivistelmä hankkeen sisällöstä	3
2.	Tausta ja lähtötila	3
3.	Menetelmät ja toteutetut toimenpiteet	3
	Aineistojen käsittely ja analyysit	4
	Vedenlaatu, kasvi- ja eläinplanktonaineistot	4
	Kalojen (muikku, kuore, särki), eläinplanktonin ja sulkasääskentoukkien rasvahappoanalyysit vuonna 2021	4
	Näytteiden tuottaminen kalojen genetiikan tutkimiseen	4
	Kuoreen ravinnonkäyttö	4
	Hankkeen viestintä	4
4.	Tulokset	5
	Ravintoverkkoon vaikuttavat ympäristöpaineet	5
	Pyhäjärven vedenlaatu	8
	Ravintoverkon pohjatasojen koostumus	13
	Kasvi- ja eläinplankton	13
	Kalastotarkastelut	20
	Kalaston rasvahappokoostumus vuonna 2021	24
	Kuoreen ravinnonkäyttö	26
5.	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	27
	Pyhäjärven ravintoverkko muuttuvassa ilmastossa	27
	Mahdolliset vaikutukset saalislajistoon ja kalatalouteen	27
	Markkinointivaltit	28
	Ilmastonmuutokseen kytkeytyvät vaikutukset kalastuselinkeinoon ja jalostukseen	28
6.	Talous ja resurssit	30
	Aikataulu	30
	Raportointi ja seuranta	30
	Toteutusolehdutukset ja riskit	30
	Hankkeen organisaatio ja resurssit	30
	Yhteistyökumppanit	30
7.	Hankkeen vaikuttavuus ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi	30
	Kirjallisuusviitteet	31

1. Tiivistelmä hankkeen sisällöstä

Kotimainen kala on tärkeä proteiinien ja välttämättömien omega-3 rasvahappojen lähde, jonka merkitys omavaraisuuden kannalta korostuu 2020-luvun muuttuvassa toimintaympäristössä. Ilmastonmuutos luo kuitenkin potentiaalisen uhan kalojen hyvälle ravintoarvolle, kalalajiston monimuotoisuudelle, järvien kalatuotannolle ja lopulta myös kalastuselinkeinoille. Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset ovat pitkään tunnistettu, ja vaikuttavat niin kalastuselinkeinoon harjoittamiseen kuin myös saastuksen kohteena olevien kalakantojen kehittymiseen. Ilmastonmuutokseen liittyvät ilmiöt kuten vesien rehevöityminen ja tummuminen köyhdyttävät järvien ravintoverkkoa keskeisimpien ravintoaineiden suhteen. Hankkeessa tutkittiin Pyhäjärven pitkäaikaisseurantojen sekä hankkeessa laajennetun aineiston kautta muuttuvan ilmaston vaikutuksia järven ravintoverkkoon sekä potentiaalisia vaikutuksia ja riskejä tulevaisuuden kalatuotannolle ja kalataloudelle.

Hankkeen päätoimeksittäjänä ja hallinnoijana toimi Pyhäjärvi-instituutti. Hanketta rahoitti Varsinais-Suomen ELY-keskus Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Suomen toimintaohjelmasta (2014-2020) Selkämeren ja Pyhäjärven kalatalouden toimintaryhmän kautta.

2. Tausta ja lähtötila

Säkylän Pyhäjärvi on yksi Suomen tutkituimmista järvistä. Kattavia aikasarjoja eri vedenlaatumuuttujista sekä kasvi- ja eläinplanktonista on kerätty vuosikymmenten ajan. Läpi 2000-luvun hyvän ja tyydyttävän ekologisen tilaluokan rajalla keikkunut Pyhäjärvi on nykyisellään luokiteltu tyydyttävään tilaluokkaan. Ilmaston muuttuminen kiihdyttää järviökosysteemin muutosta niin biologisten kuin fysikaalisten tekijöiden osalta.

Elinkeinokalataloudella on perinteisesti ollut Pyhäjärvellä merkittävä ja näkyvä rooli. 1900-luvun alkupuolella järven kotiutetut siika ja muikku olivat pitkään Pyhäjärven kaupallisesti merkittävimmät saaliskalat. Varsinkin muikun rooli myös ravintoverkon säätelijänä on ollut merkittävä, ja kalastotutkimustietoa muikun osalta onkin kerätty merkittäviä määriä. Etenkin 2000-luvulla Pyhäjärven kalatalous ja kalasto ovat kuitenkin olleet murroksessa. Ilmastonmuutos on tunnistettu sekä ravintoverkon rakenteeseen, ja sen kautta kalaston koostumukseen potentiaalisesti vaikuttavaksi riskitekijäksi (Ahlgren ym. 2009, Taipale ym. 2016).

Hankkeessa tuotetun aineiston pohjalta tavoitteena on ennen kaikkea tarkastella ilmastonmuutoksesta riippuviksi tunnistettujen tekijöiden nykytilaa Säkylän Pyhäjärvessä sekä osaltaan arvioida niiden mahdollisia vaikutuksia ravintoverkkoon, kalastoon ja kalastuselinkeinoon. Hankkeessa kerätty ja käsitelty tutkimusaineisto myös osaltaan palvelee jatkotutkimusta kalaston ja ravintoverkon kehittymisen saralla. Tämä Muuttuva kalasto -hankkeessa tuotettu raportti toimii osaltaan kokoavana dokumenttina, joka valottaa ravintoverkkoon heijastuvien ympäristöpaineiden kehitystä sekä tiettyjen ravintoverkon osien tilaa Pyhäjärvellä.

3. Menetelmät ja toteutetut toimenpiteet

Hankkeen päätoimenpiteet jakautuivat jo kerätyn aineiston käsittelyyn (vedenlaatu-, plankton-, kalasto- ja rasvahappoaineistot), hankkeessa laajennettavien aineistojen keräämiseen ja analysointiin (kalanäytteenotto, planktonaineistojen laajentaminen) sekä viestintään.

Aineistojen käsittely ja analyysit

Vedenlaatu, kasvi- ja eläinplanktonaineistot

Hankkeessa hyödynnettiin Hertta-tietokannasta löytyvää aineistoa sekä Pyhäjärvi-instituutin omistamaa tutkimusaineistoa. Aineistot käsiteltiin Pyhäjärvi-instituutin omana työnä.

Kalojen (muikku, kuore, särki), eläinplanktonin ja sulkasääskentoukkien rasvahappoanalyysit vuonna 2021

Rasvahappoanalyysien näytekalat saatiin Pyhäjärven ammattikalastajien saaliista sekä hankehenkilöstön suorittamasta täydentävästä verkkokalastuksesta. Eläinplanktonnäytteet kerättiin 150 µm planktonhaavilla Pyhäjärven syvännepisteeltä (PJ93) noin kahden viikon välein Pyhäjärvi-instituutin muun näytteenoton yhteydessä. Eläinplanktonit poimittiin preparointimikroskooppia hyödyntäen. Kaloista otetut dorsaaliset lihasnäytteet säilöttiin eppendorf-putkiin Pyhäjärvi-instituutilla, josta ne toimitettiin pakastettuina kaasukromatografiseen laboratorioanalyysiin Jyväskylän yliopistolle ja Biopsense Oy:lle. Rasvahaponäytteiden tulokset laskettiin Pyhäjärvi-instituutin hanketyönä.

Sulkasääskinäytteenotto toteutettiin kesäkuussa 2022. Näytteenotto tehtiin pohjasedimentistä Ekman-noutimella sekä vertikaalisesti vesipatsaasta planktonhaavia hyödyntäen. Kolmesta järven eri osiin sijoittuneesta pisteestä ei kuitenkaan tavoitettu sulkasääsken toukkia, joten rasvahappoanalyysit sulkasääsken toukista jäivät toteuttamatta.

Näytteiden tuottaminen kalojen genetiikan tutkimiseen

Rasvahappojen tuottoa säätelevien geenien tutkimiseksi hankkeen rasvahappoanalyysiin kerätyistä kaloista otettiin lisäksi maksa näyte, joka esikäsiteltiin Pyhäjärvi-instituutilla. Näytteet toimitettiin Jyväskylän yliopistolle, jossa Dos. Sami Taipaleen tutkimusryhmä vastaa niiden jatkokäsittelystä muissa tutkimushankkeissa (muu rahoitus).

Kuoreen ravinnonkäyttö

Kuoreiden ravinnonkäyttötutkimuksen näytekalat kerättiin ammattikalastussaaliista. Mahanäytteet analysoitiin ostopalveluna.

Hankkeen viestintä

Hankkeelle avattiin lyhyesti hankkeen sisältöjä esittelevä hankesivu Pyhäjärvi-instituutin verkkosivujen alle. Hanketta on esitelty lisäksi asiakaskontaktien ja palaverien yhteydessä sidosryhmille. Hanke on ollut esillä seuraavissa tilaisuuksissa:

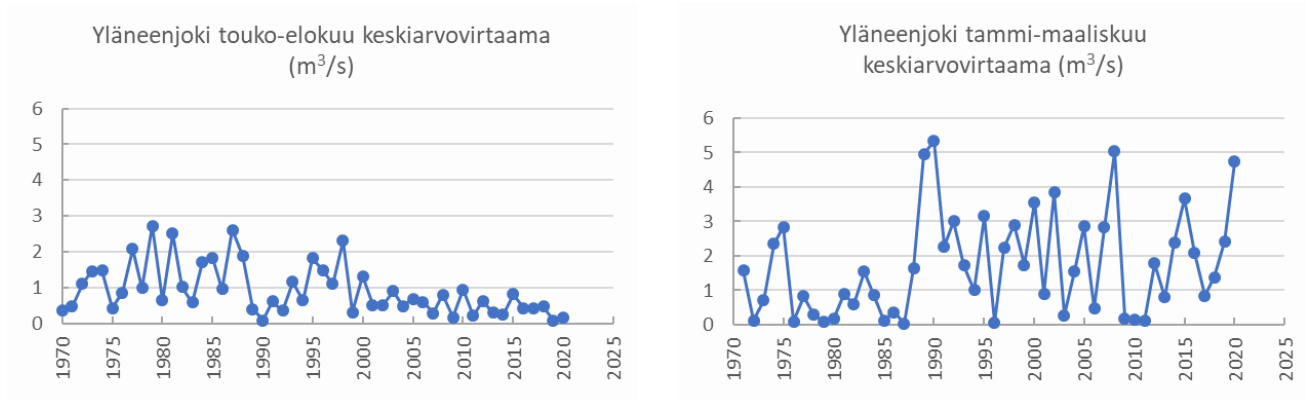
Päivämäärä	tilaisuus
19.4.2021	Valtakunnallisen ruokasektorin koordinaatioryhmän Kalatreffit, hanke-esittely
9.6.2021	Uudenmaan vesistökuunnostusverkoston sidosryhmätapaaminen, hanke-esittely
8.11.2021	Pyhäjärven suojeleohjelman ohjausryhmäkokous, hanke-esittely
23.11.2021	Kalatalouskokous, ELY, Säskylän Pyhäjärven hoitoyhdistys
1.12.2021	Sisä-Suomen kalatalousryhmän vierailu Satakunnassa, hanke-esittely
6.4.2022	Sisä-Suomen kalatalousryhmän Lähikalapäivä, hanke-esittely
28.4.2022	Eurajoki-Lapinjoen kalatalousalueen kokous, hanke-esittely
13.6.2022	Uutta arvoa silakalle ja kuorelle-työpaja

4. Tulokset

Hankkeen tuloksia hyödynnetään Pyhäjärvi-instituutin tutkimus- ja kehitystoiminnassa hankkeen jälkeen. Ravintoverkkotutkimusta jatketaan osana Pyhäjärvi-instituutin Pyhäjärven suojeluohjelman perustyötä sekä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen Säkylän Pyhäjärven hoitokalastusten seurannat-hankkeessa. Kalojen ravintoanalyysijä tullaan syventämään ja etsimään rahoitusta kuoreen ja edelleen sen ravintona olevan sulkasääsken merkityksen selvittämiseksi.

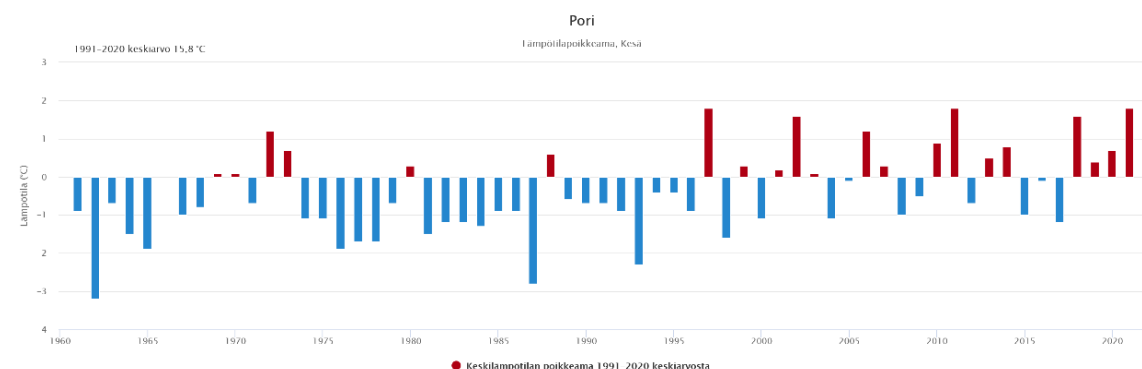
Ravintoverkkoon vaikuttavat ympäristöpaineet

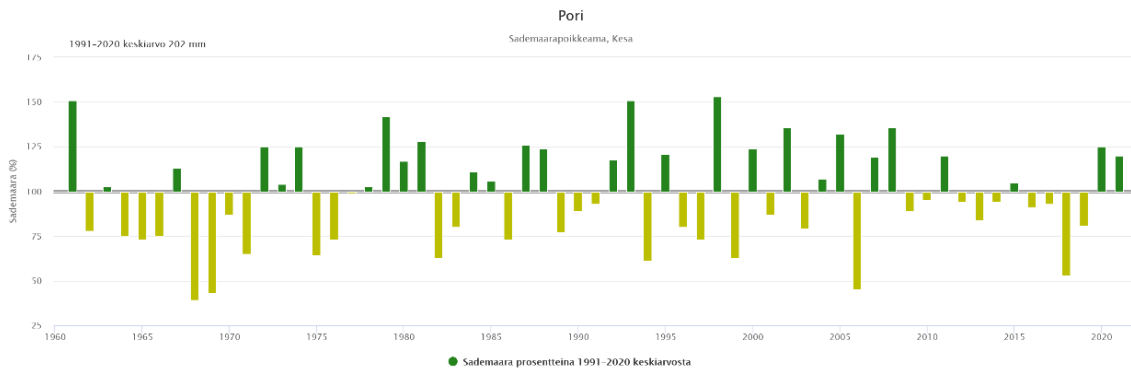
Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan erityisesti sadannan määrään ja sen vuodenaikaiseen jakautumiseen. Pyhäjärveen tulevasta virtaamasta pääosa tulee Yläneenjoesta, jonka virtaama-aineisto viittaa siihen, että kesäaikainen virtaama on vähenemässä ja alkutalven taas kasvamassa (Kuva 1). Kasvipeitteetön maa on alttiimpi eroosiolle, joten talvisateiden lisääntyminen nostaa kiintoaine- ja ravinnehuuhtouman riskiä.



Kuva 1. Yläneenjoen keskiarvovirtaama touko-elokuussa ja tammi-maaliskuussa. Aineisto Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset.

Ilmatieteen laitoksen Porin säätilaston mukaan pitkän ajan keskiarvoa korkeammat vuoden keskilämpötilat ovat lisääntymässä. Vuotuisessa sademäärässä näkyy vastaavasti aleneminen (Kuva 2). Pyhäjärvellä jääpeitteisyyden kestossa on selvästi aleneva trendi, vaikka vuosien välillä on suurta vaihtelua. Talvi 2019-2020 oli erityisen lyhyt.



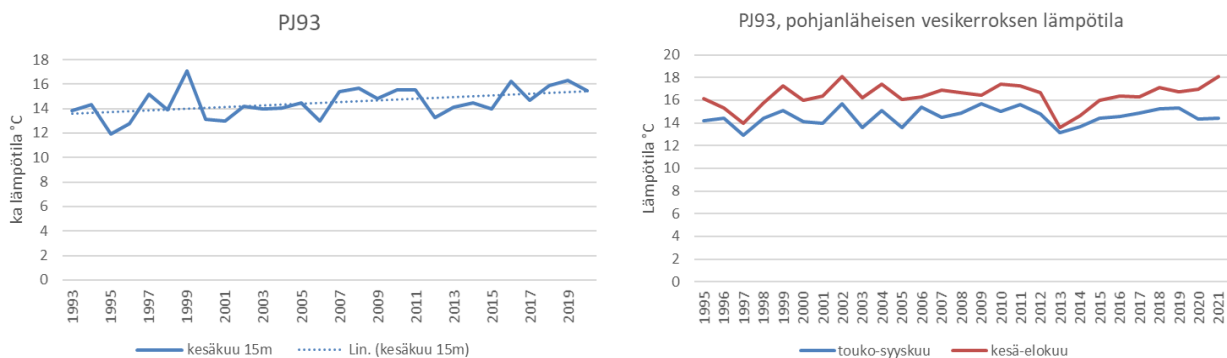


Kuva 2. Vuotuinen lämpötilapoikkeama ja sademääräpoikkeama Ilmatieteenlaitoksen Porin havaintoasemalla. Aineisto Ilmatieteenlaitos, www-sivut <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>.



Kuva 3. Jääpeitteisyyden vuotuinen kehitys. Aineisto Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin havaintoaineisto. Vuosi kuvastaa jäiden lähdön vuotta.

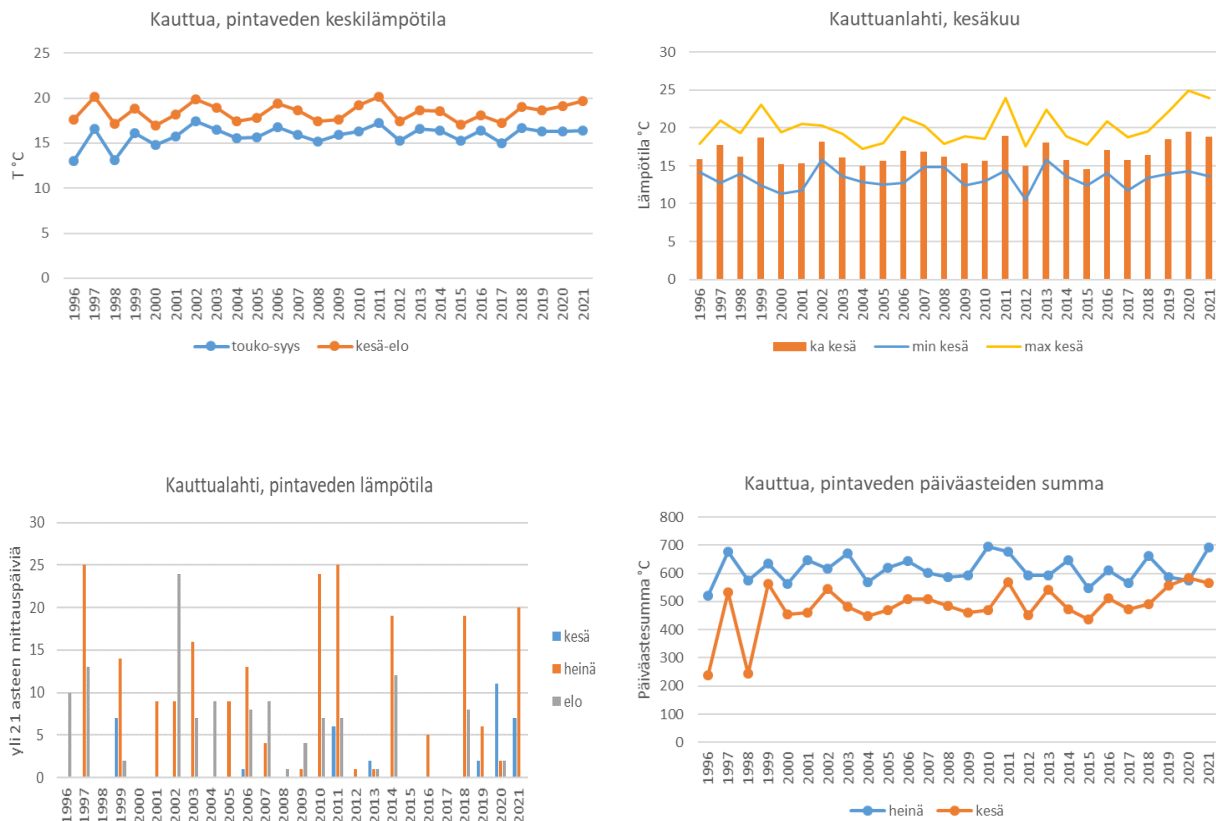
Pyhäjärven pienialaisella syvänteellä (maksimisyvyys 26 m) sijaitsee viranomaisten vedenlaadun pitkäaikaisseurannan tarkkailupiste, jossa myös Pyhäjärvi-instituutti tekee näytteenottoa kesäaikaan tiheimmillään kahden viikon välein. Syvänteen seurannassa vesinäyte lämpötilamittausta varten otetaan pinnasta pohjaan viiden metrin välein. Seuranta-aineiston mukaan pohjanläheisen (20-25m) vesikerrosten keskilämpötila on viime vuosina lähtenyt kohoamaan vuosien välisen vaihtelun tasaantuessa. Kasvukauden (touko-syyskuu) aineistossa ei ole havaittavissa yhtä selkeää trendiä. Välivedessä (15m) erityisesti kesäkuun keskilämpötilassa näkyy lievästi kohoavaa trendiä (Kuva 4).



Kuva 4. Pyhäjärven syvänteen vuosittainen lämpötilakehitys. Aineisto Pyhäjärvi-instituutti sekä Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset.

Samantyyppisiä päätelmiä voi tehdä Pyhäjärven Kauttuanlahden pintaveden lämpötila-aineistosta. Kauttuanlahden automaattinen mittari määrittää pintaveden lämpötilan kerran päivässä.

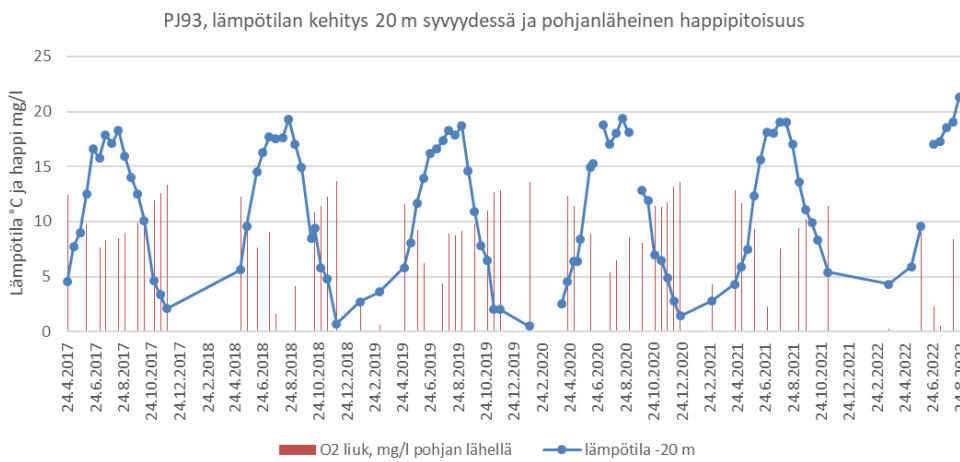
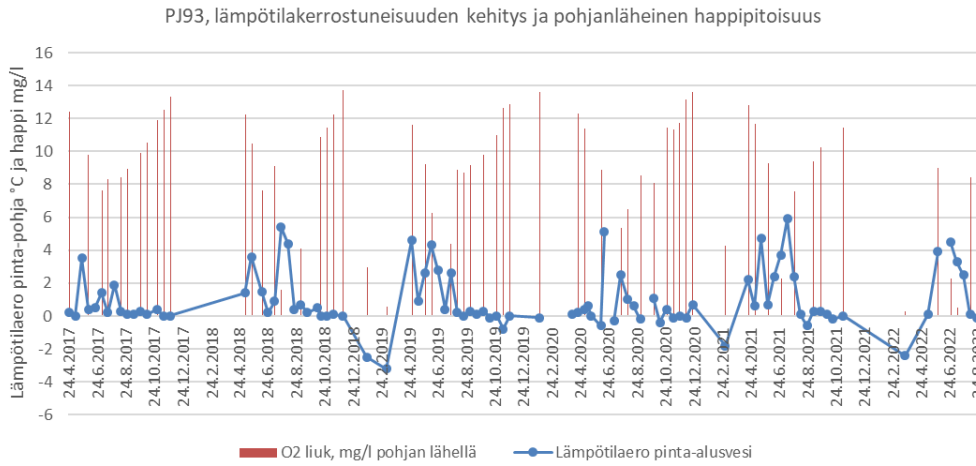
Kesäkauden (kesä-elokuu) päivittäisten havaintojen keskiarvona tarkasteltuna pintaveden lämpötilassa viime vuosina selkeä nouseva trendi samalla kun vuosien välinen vaihtelu on tasaantunut. Näyttää siltä, että erityisesti alkukesän veden lämpötila on nousut, sillä pintaveden lämpötila nousee säännöllisesti yli 21 asteen nykyään myös kesäkuussa ja viime vuosina kesäkuun lämpösomma (päiväasteiden summa) on lähentynyt heinäkuun lämpösommaa (Kuva 5).



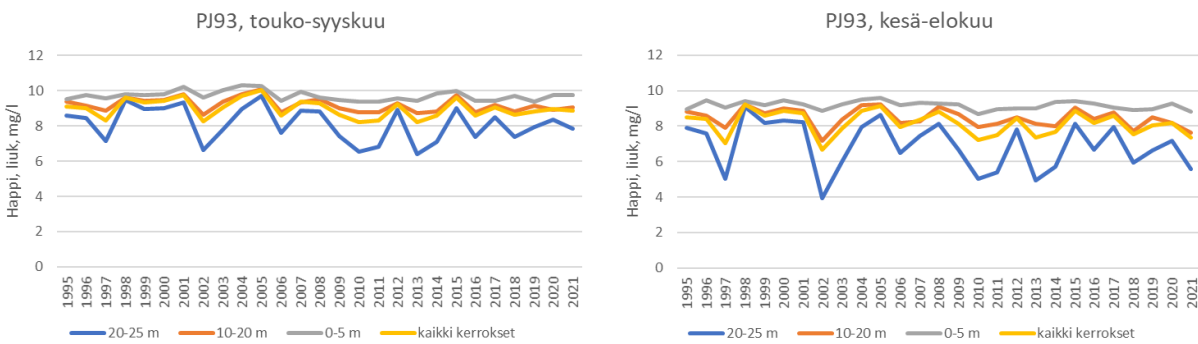
Kuva 5. Kauttuanlahden lämpötila-aineisto Varsinais-Suomen ELY-keskus.

Pyhäjärven vedenlaatua tarkkaillaan ELY-keskuksen toimesta syvänteen seurantapisteen näyttötoilla (PJ93), jossa vesinäyte fysikaalis-kemiallisia määrittämiä varten otetaan kuudesta eri vesikerroksesta. Lisäksi Pyhäjärvi-instituutti tekee järviseurantaa avovesikaudella tiheimmillään kahden viikon välein. Järviseurannassa otetaan klorofylli-, kasvi- ja eläinplanktonnäytteet kymmenestä seurantapistestä (PJ93 sisältyy näihin) ja lisäksi toteutetaan täydentävää fysikaalis-kemiallista näyttötoita syvänteellä.

Syvänteelle syntyy alkukesällä lämpötilakerrostuneisuus, joka alkaa tyypillisesti purkautua heinäkuussa alusveden lämmitessä lähelle pintaveden lämpötilaa (Kuva 6). Voimakas kerrostuneisuus estää vesikerrosten sekoittumista ja voi johtaa alusveden happipitoisuuden alenemiseen (Kuva 7). Pahimmillaan kesällä pohjanläheinen vesi on lähes hapetonta. Toisaalta loppukesän tasalämpöinen vesikerros edesauttaa happitilanteen heikentymistä, sillä lämpimään veteen liukenee vähemmän happea kuin viileään. Lämmin vesi toisaalta kiihdyttää hajoamisprosesseja ja kuluttaa happea. Kesän tasalämpöinen vesipatsas lisää lämpötilastressiä erityisesti viileän veden kaloille, mutta kiihdyttää metaboliaa muillakin lajeilla.



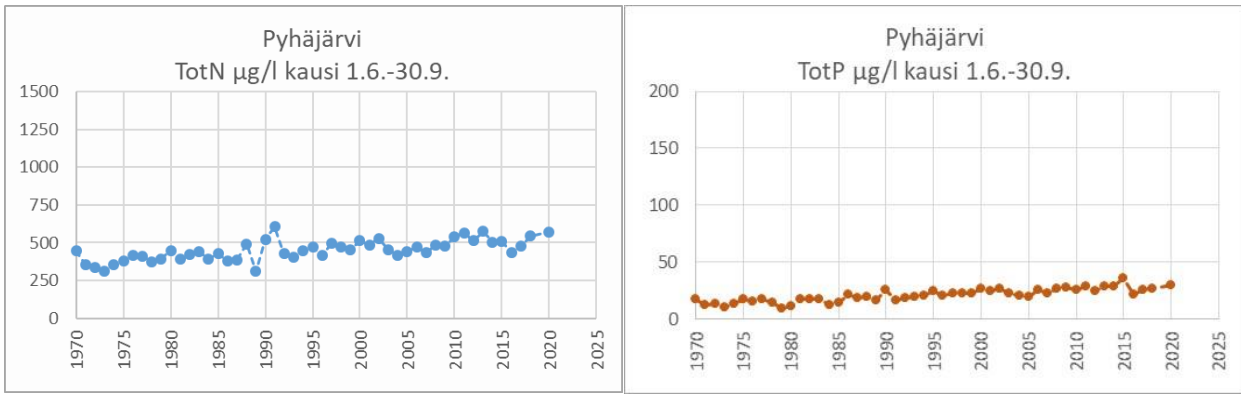
Kuva 6. Vesipatsaan lämpötilakehitys ja pohjanläheinen happitilanne Pyhäjärven syvänteellä 2017-2022. Pyhäjärvi-instituutin aineisto.



Kuva 7. Eri vesikerrosten keskimääräinen happitilanne Pyhäjärven syvänteellä 1995-2021. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. Herta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.

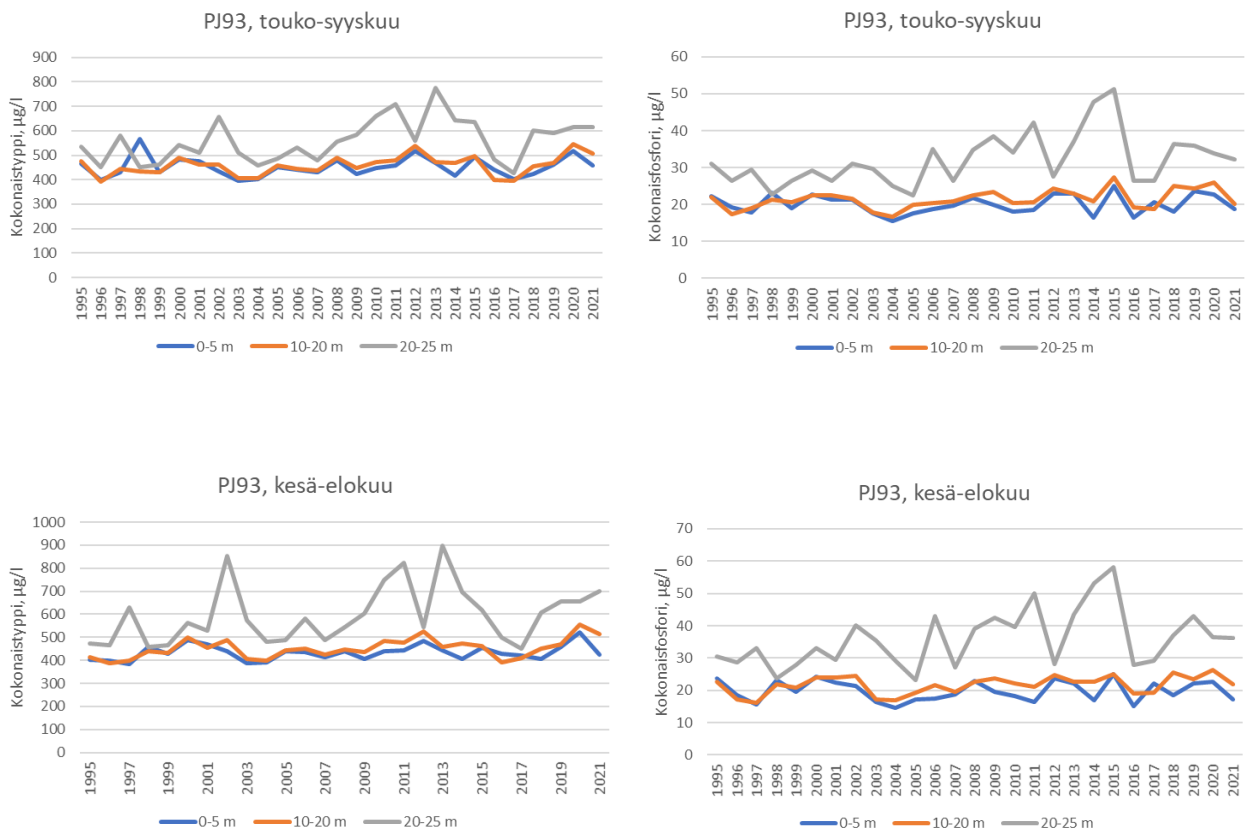
Pyhäjärven vedenlaatu

Pitkäaikaisaineistossa (syvänteen näytepiste, kesä-syyskuun näytteet, kaikki syvyydet) on havaittavissa Pyhäjärven ravinnepitoisuuden hidas nousu 2000-luvun alkuun saakka ja sittemmin kahdesti uusi nouseva kehitys (Kuva 8).



Kuva 8. Pyhäjärven ravinnepitoisuuden pitkäaikaiskehitys syvänteen näytepisteessä. Kausi kesä-syyskuu, kaikki syvyydet yhdistetty. Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset.

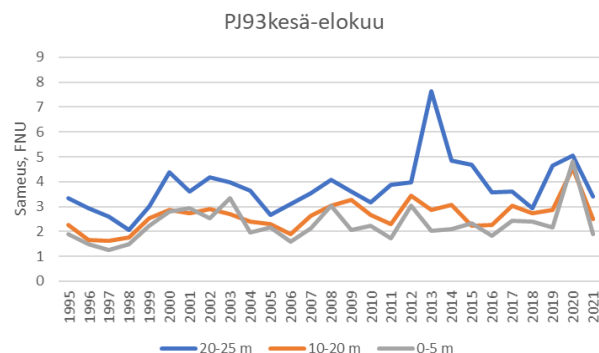
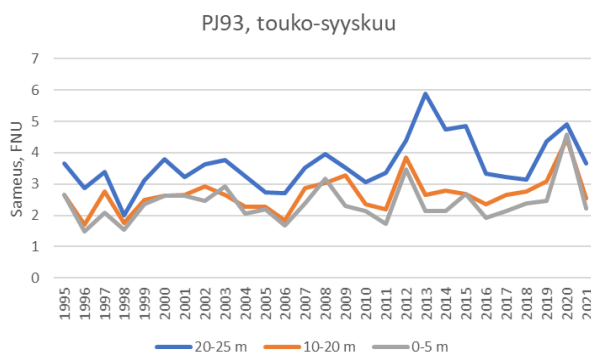
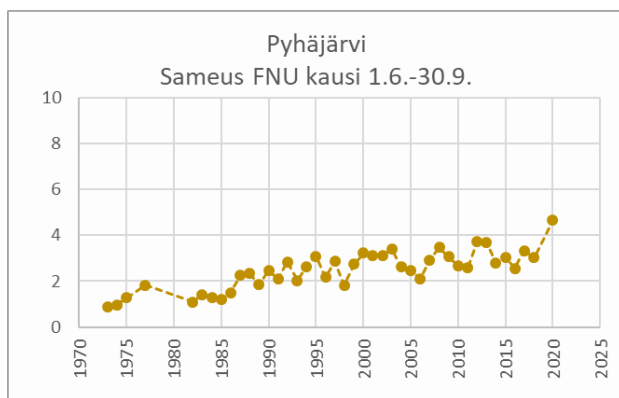
Lyhyemmän aikajakson ja syvyyssyöhykkeittäin tarkasteltuna tilanne näyttää hieman erilaiselta (Kuva 9). Syvänteen veden kokonaisfosforipitoisuuden kehitys on viime vuosina ollut nouseva alemmissa vesikerroksissa. Pintaveden ravinnepitoisuuden korkeimmasta tasosta 2000-luvun alussa ollaan tultu alaspäin. Kokonaistyyppipitoisuuden taso pintavedessä oli korkeimmillaan hieman myöhemmin, ja vuodesta 2005 sen kehityssuuntaus on aleneva. Syvempien vesikerrosten ravinteisuuden kehityskulku on viimeiset vuodet ollut aaltoliikettä, eikä datan kautta vielä pysty ennakoimaan onko alkanut laskusuunta tilapäistä vai vakiintunutta. Vuotuisissa kesäkauden (kesä-elokuu) ja kasvukauden (touko-syyskuu) ravinnepitoisuuksissa on joka tapauksessa huomattavia vuosien välisiä eroja.



Kuva 9. Pyhäjärven ravinnepitoisuuden kehitys eri syvyyssyöhykkeissä syvänteen näytepisteessä. Kausi touko-syyskuu ja kesä-elokuu. Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.

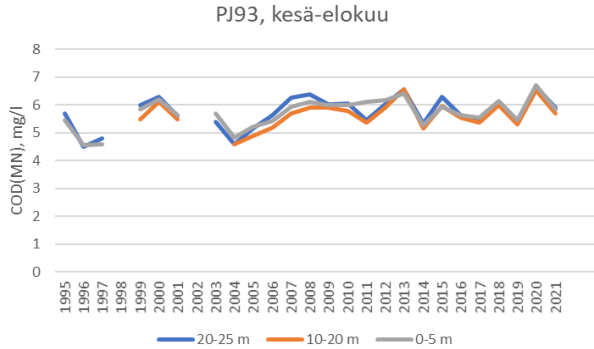
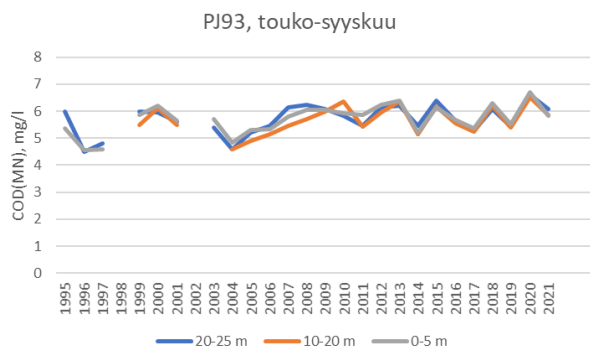
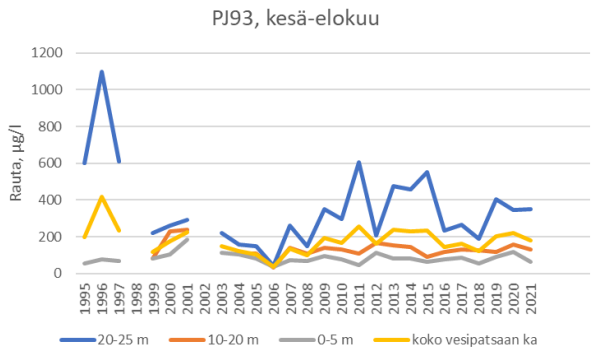
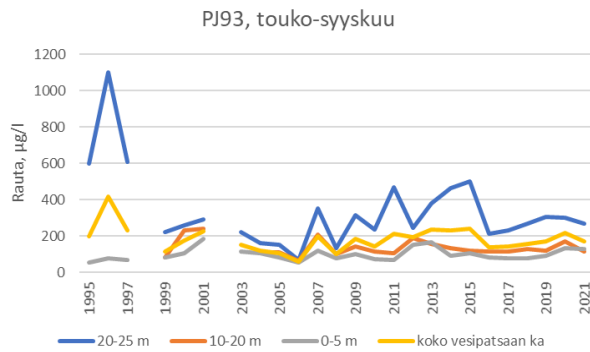
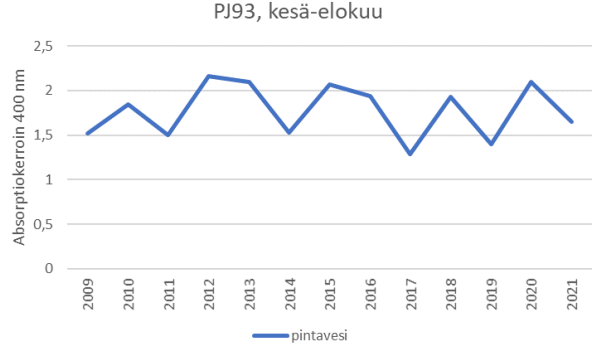
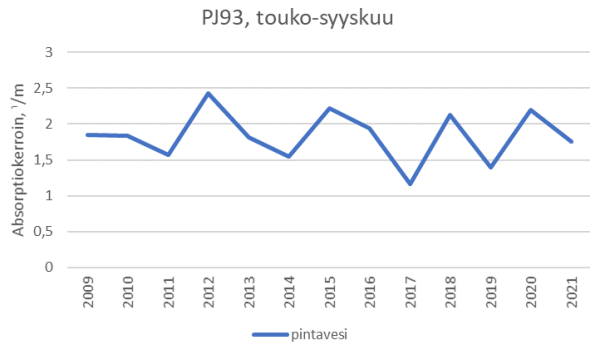
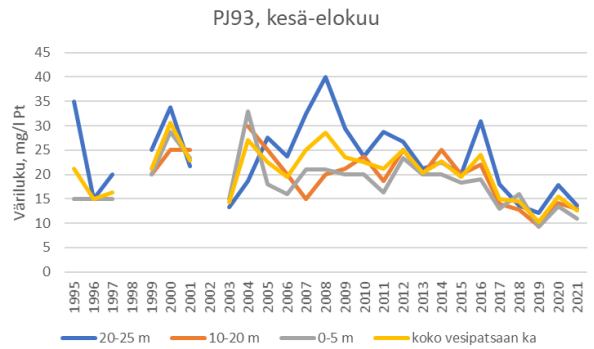
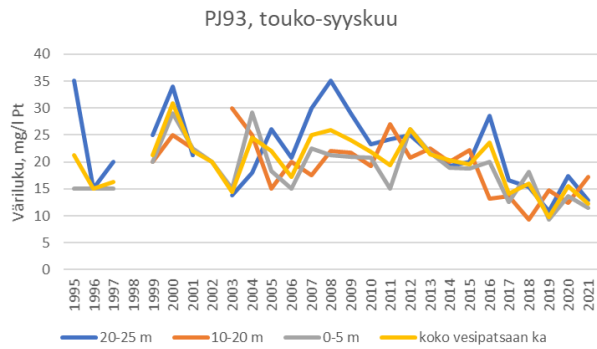
Koko vesipatsaan kesä-syyskuun aikainen sameus on pitkällä aikavälillä noussut, mutta lyhyemmän, 25 vuoden, aikasarjan eri vesikerroksia tarkastellen sameuden kehitys on eriytyneempää (Kuva 10). Ylempien vesikerrosten sameuskehitys touko-syyskuun vuosikeskiarvoina noudattaa järven klorofylli-a-pitoisuuden kehityssuuntaa (kuva 12). Syvänteen korkeat sameuspiikit voivat liittyä pohjasedimentin sekoittumiseen alempiin vesikerroksiin.

Useissa Suomen vesistöissä on viime vuosikymmeninä havaittu selvää veden tummumiskehitystä (brownification). Pintavesien tummumiskehityksen taustalla vaikuttaa lisääntynyt orgaanisen aineksen huuhtouma, johon kytkeytyvät hapan laskeuma, ilmastonmuutos, sadanta, valuma-alueen ominaisuudet ja siellä tapahtuva toiminta. Pyhäjärvellä ei ole havaittavissa selkeää tummumista (Kuva 11).



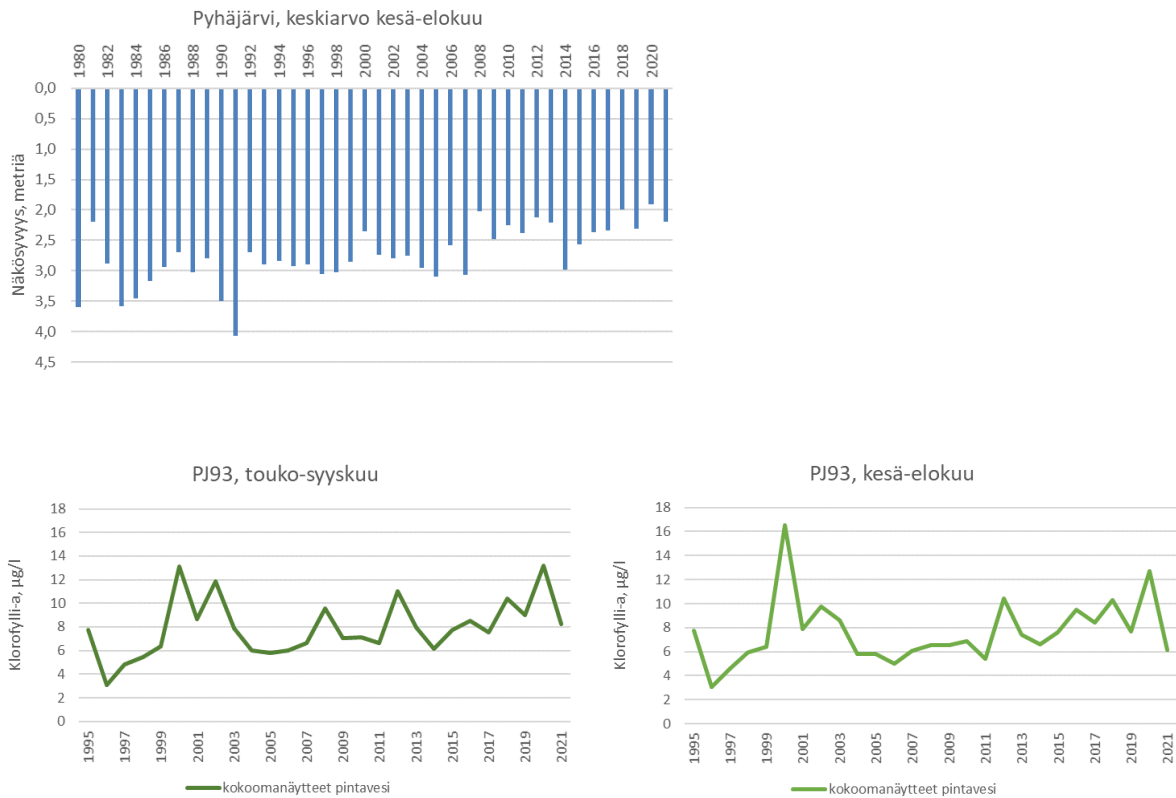
Kuva 10. Pyhäjärven sameuskehitys syvänteen näytepisteessä vedenlaadun pitkäaikaisseurannassa ja vuodesta 1995 eri syvyysvyöhykkeissä. Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.

Veden värilukuun vaikuttaa vedessä oleva humusaines ja se nousee tummumiskehityksessä. Pyhäjärven aikasarjassa väriluku vuodesta 1995 on pikemminkin laskusuunnassa kuin kohoamassa. Absorptiokertoimen mittausjakso on lyhyempi kuin muiden muuttujien ja alkaa vasta vuodesta 2009, mutta trendiin viittaavaa muutosta ei ole näkyvissä. Monilla vesialueilla veden rautapitoisuuden nousu kytkeytyy tummumiskehitykseen. Pyhäjärven vesinäytteissä rautapitoisuudessakaan ei ole nousevaa trendiä. Kemiallinen hapenkulutus sen sijaan saattaa olla hienoisessa nousussa, mutta voimakkaammin aineistossa näkyy vuosien välinen vaihtelu.

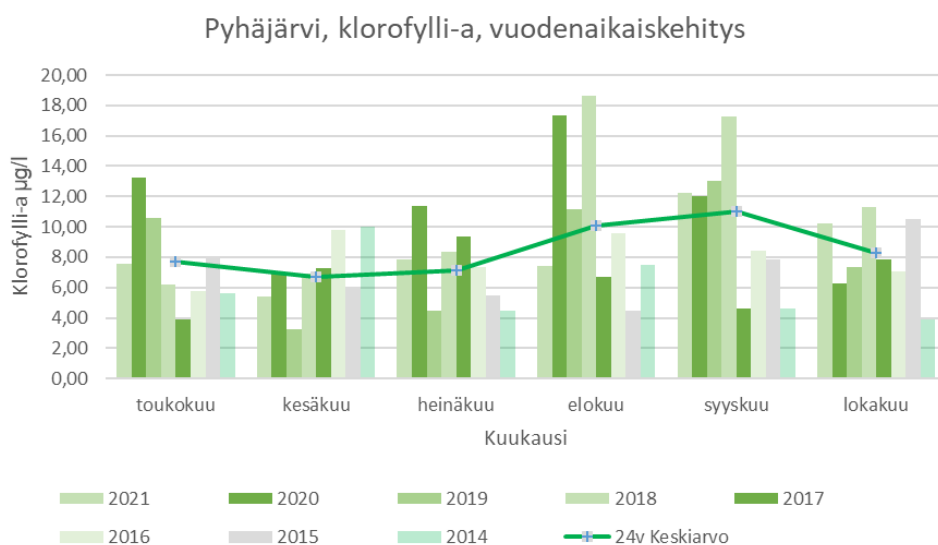


Kuva 11. Pyhäjärven tummumiskehityksen tarkastelun osalta oleelliset parametrit syväteen pitkäaikaisseurannassa ja vuodesta 1995 eri syvyyssyöhykkeissä. Absorptiokerroin osalta aikasarja alkaa vuodesta 2009. Herta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.

1980-luvun alusta lähtien keskimääräinen kesäaikainen näkösyvyys on selvästi pienentynyt. Syvänteen aineiston mukaan veden klorofyllipitoisuus on kasvanut 2000-luvun ensimmäisestä vuosikymmenestä, vaikka tässäkin muuttujassa vuosien välillä on kohtuullisen suurta vaihtelua (Kuva 12). Perustuotannon kasvu vaikuttaa alenevaan näkösyvyyteen, mutta ei ole sen ainoa tekijä. Klorofylli-a-pitoisuuden vuodenaikaiskehityksessä on jonkin verran vuosien välisiä eroja, mutta keskimäärin pitoisuus on korkeimmillaan elo-syyskuussa (Kuva 13).



Kuva 12. Kesä-elokuun keskimääräinen näkösyvyys Pyhäjärvellä 1980-2022 sekä kasvukauden ja kesäkauden klorofylli-a-pitoisuuden keskiarvot 1995-2021. Aineisto: Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.



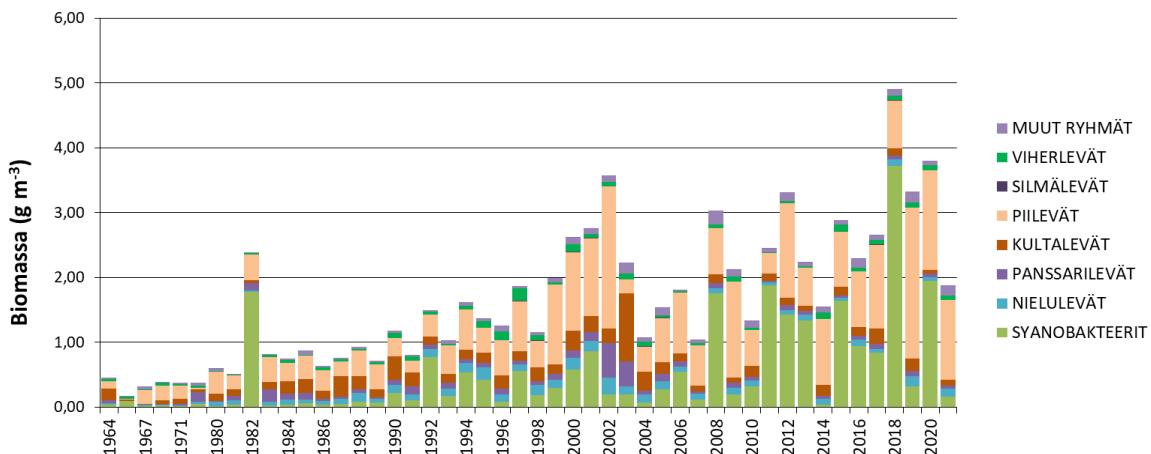
Kuva 13. Klorofylli-a-pitoisuuden vuodenaikaiskehitys Pyhäjärvellä. Aineisto: Hertta-tietopalvelu, SYKE ja ELY-keskukset, sekä Pyhäjärvi-instituutin aineisto.

Ravintoverkon pohjatasojen koostumus

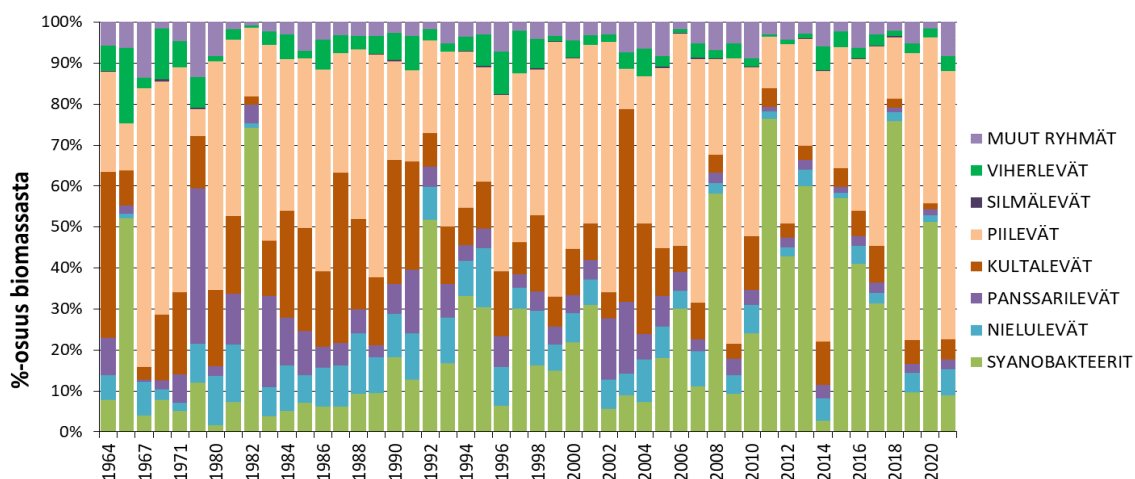
Kasvi- ja eläinplankton

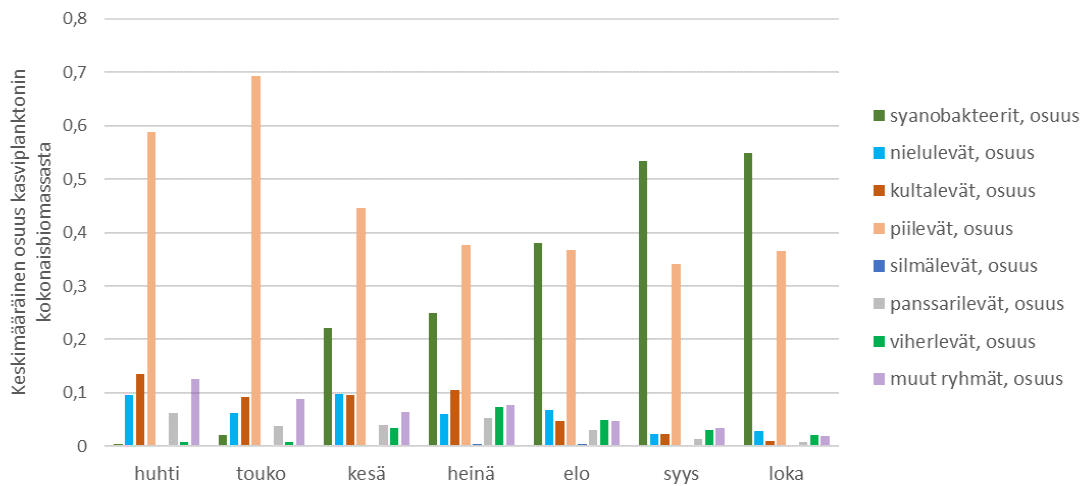
Kasviplanktonin pitkäaikaisseurannassa näkyy voimakkaana vuotuisen kokonaisbiomassan kasvu, josta valtaosan on aiheuttanut syanobakteerien ja myös piilevien määrän lisääntyminen. Kasviplanktonin koostumuksessa (vuosikeskiarvoina) on pitkällä aikavälillä tapahtunut muutoksia. Piilevien ja syanobakteerien keskinäinen osuus kokonaisbiomassasta vaihtelee vuosittain ja nykyään yleensä muodostaa siitä valtaosan. Aiemmin runsaampana esiintyneiden kultalevien osuus kokonaisbiomassasta on viime vuosina vähentynyt alle kymmeneen prosenttiin kokonaisbiomassasta. Kasviplanktonin eri ryhmien suhteelliset osuudet vaihtelevat jossain määrin kasvukauden kuluessa (Kuva 14). Keväällä yhteisö koostuu piilevistä, kultalevistä ja nielulevistä. Syanobakteerien ja viherlevien biomassaosuuden kasvu alkaa kesäkuussa. Alkusyksyllä yhteisön biomassasta valtaosa on syanobakteereita. Vuosien välinen vaihtelu on kuitenkin voimakasta, ja viime aikoinakin Pyhäjärven on esiintynyt satunnaisia vuosia, jolloin sinilevärunsaus on ollut hyvin niukkaa (Kuva 15). Kasviplanktonia ravintonaan käyttävän herbivorisen eläinplanktonin kasvun ja lisääntymisen kannalta tärkeitä kasviplanktoniryhmä ovat DHA- ja EPA-rasvahappoja syntetisoivat nielu-, kulta- ja silmälevät sekä EPA-rasvahappoja tuottavat piilevät. Viherlevät ja syanobakteerit ovat herbivoriselle eläinplanktonille huonolaatuista ravintoa (ei-EPA tai DHA:ta syntetisoivat levät), sillä ne sisältävät hyvin pieniä määriä pitkäketjuisia omega-3-rasvahappoja. Rehevöitymiskehitys ja sinilevien osuuden lisääntyminen näin ollen köyhdyttävät järven ravintoverkon pohjatason ravinnollista laatua (Ahgren ym. 1992, Taipale ym. 2016).

Kasviplankton touko-lokakuu 1964-2021

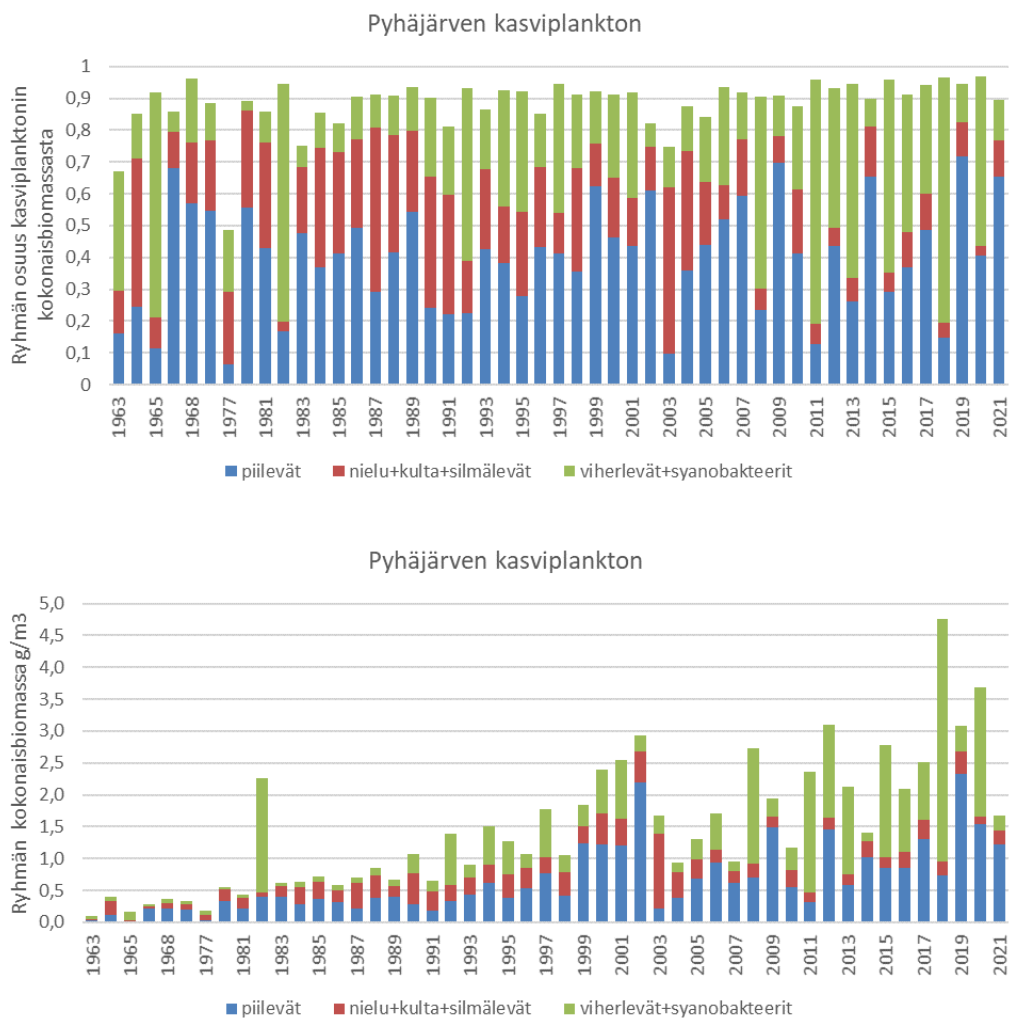


Kasviplankton touko-lokakuu 1964-2021



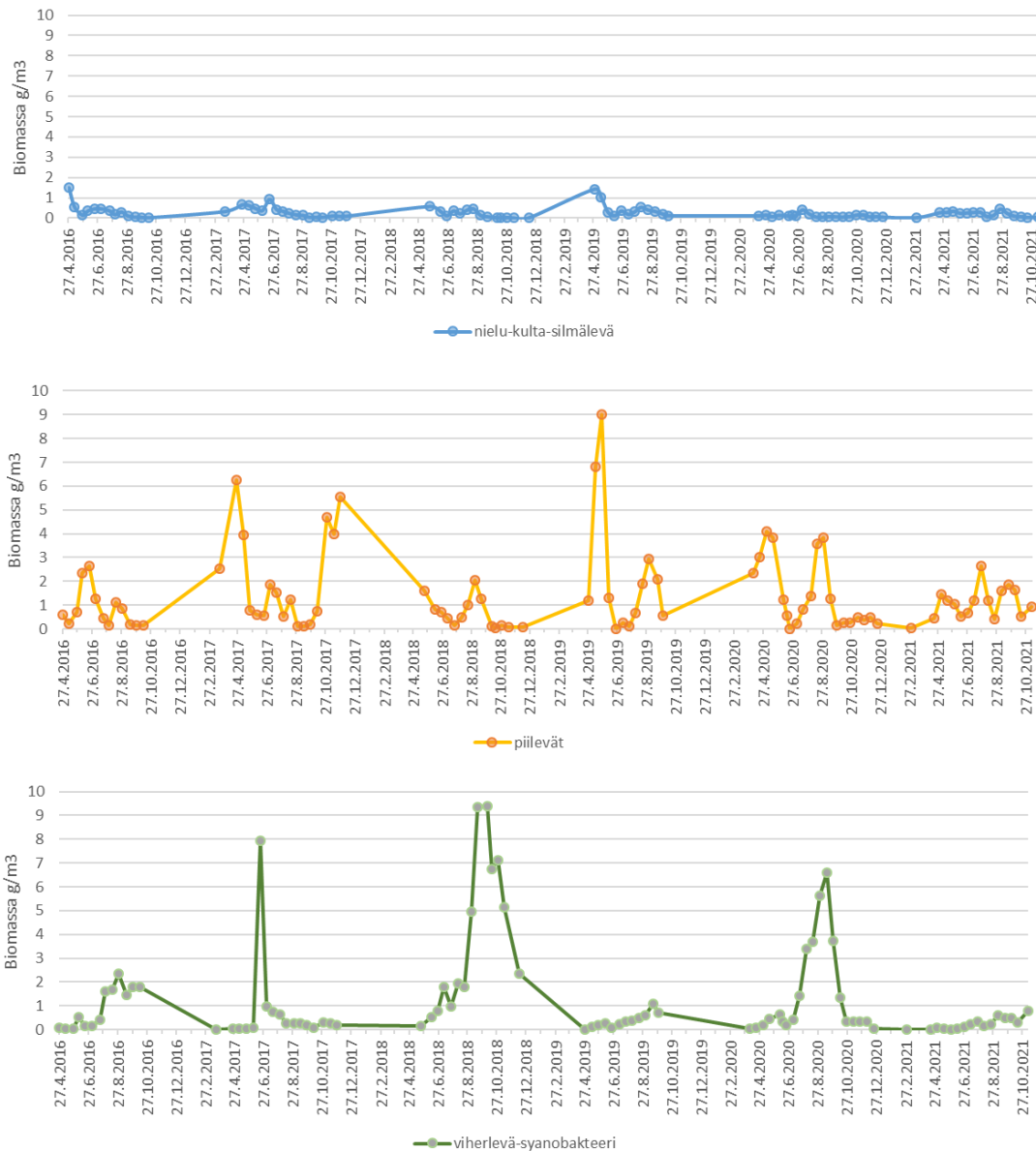


Kuva 14. Pyhäjärven kasviplanktonin kokonaisbiomassan ja ryhmien suhteellisen osuuden pitkäaikaiskehitys sekä kasviplanktonin keskimääräinen vuodenaikaisuus (vuodenaikaisuus laskettu keskiarvoina vuosien 2016-2021 aineistoista). Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).

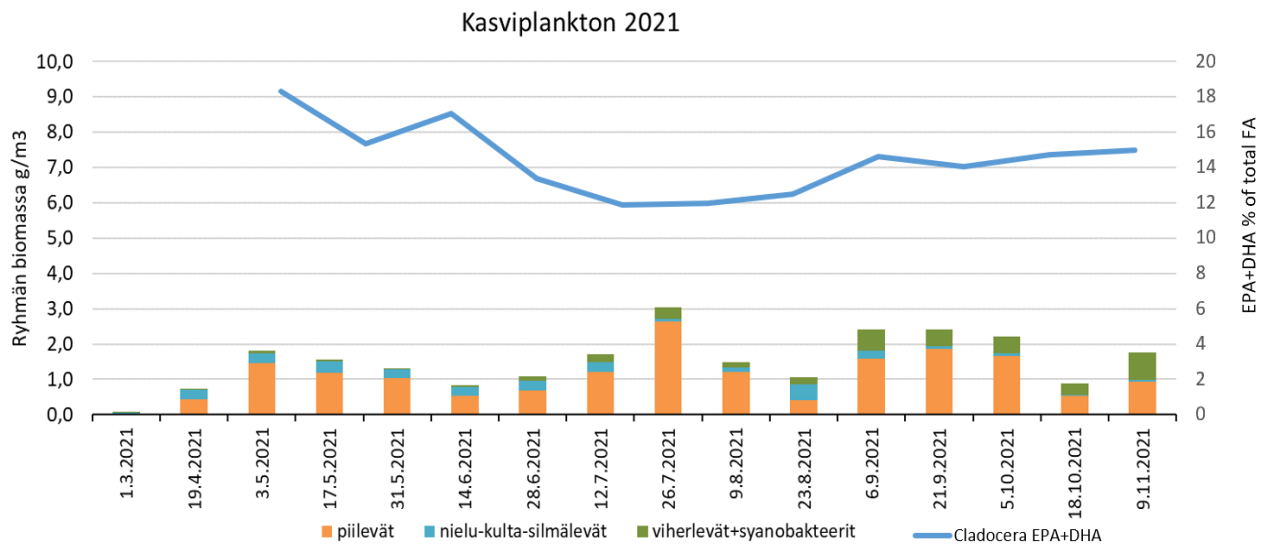
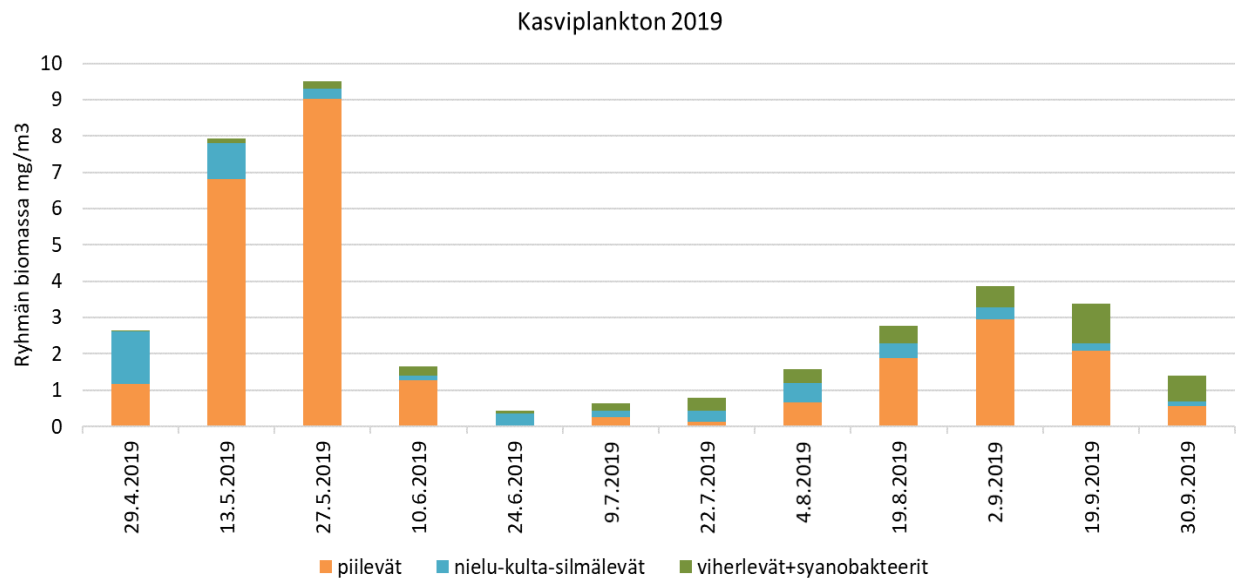


Kuva 15. Pyhäjärven kasviplanktonin rasvahappojen tuotannon kannalta merkityksellisten lajiryhmien kokonaisbiomassan ja ryhmien suhteellisen osuuden pitkäaikaiskehitys. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä jatkojalostus kielletty).

”Hyödyllisten” tai hyvinä ravintokohteina pidettävien EPA ja DHA -pitoisten kasviplanktonryhmien biomassa ja suhteellinen osuus kasviplanktonin kokonaisbiomassasta vaihtelee vuosittain. Myös ”hyödyttömän” ryhmän osuus vaihtelee vuosittain, esimerkiksi vuosina 2011 ja 2018 syanobakteeri-viherlevä-ryhmän osuus kokonaisbiomassasta muodostui huomattavan suureksi (Kuva 15, Kuva 16). Ryhmien biomassan kehityksessä on vuosien ja vuodenaikojen välistä vaihtelua, mutta yleensä hyödyllisimpien nielu-, kulta- ja silmälevien yhteenlaskettu biomassa on varsin pieni verrattuna piileviin tai ’hyödyttömien’ ei-EPA:a tai DHA:ta -syntetisoivien levien ryhmään (Kuva 17).

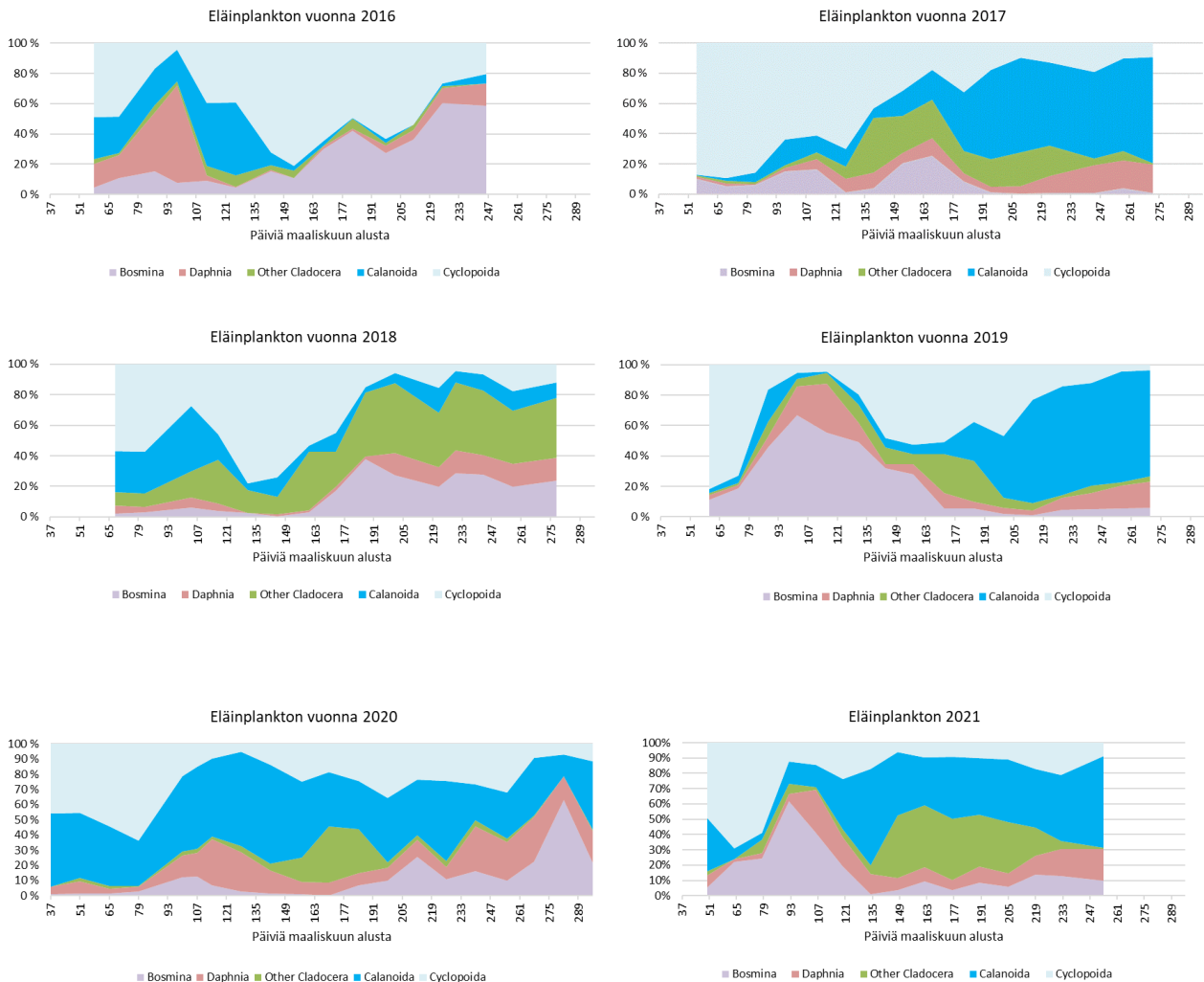


Kuva 16. Pyhäjärven omega-3-rasvahappotuotannon kannalta merkityksellisten kasviplanktonryhmien biomassan kehitys aikavälillä 2016-2021. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).



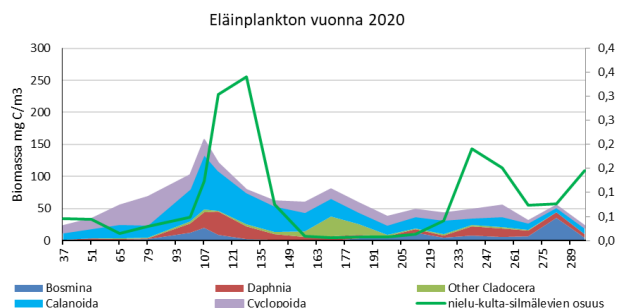
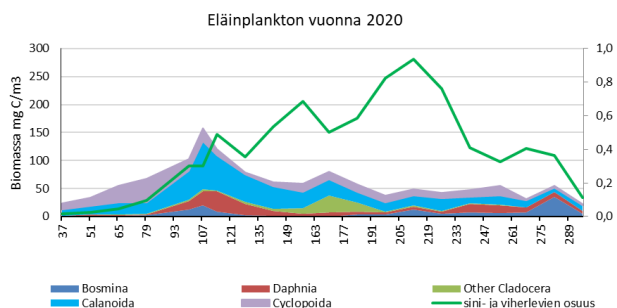
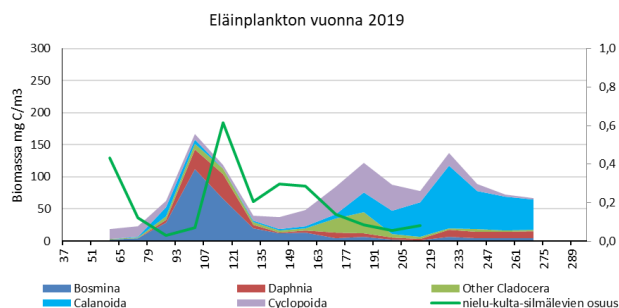
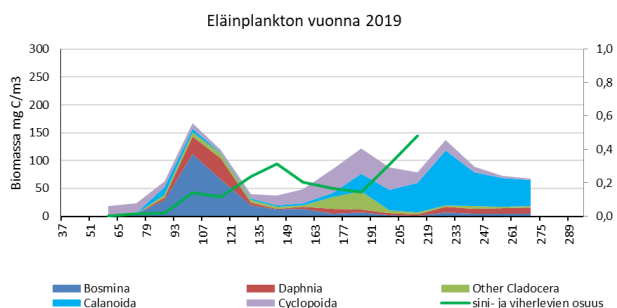
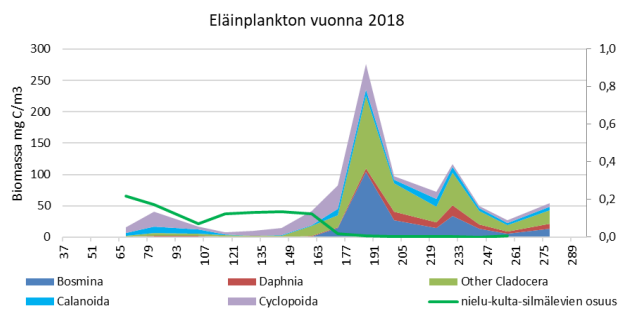
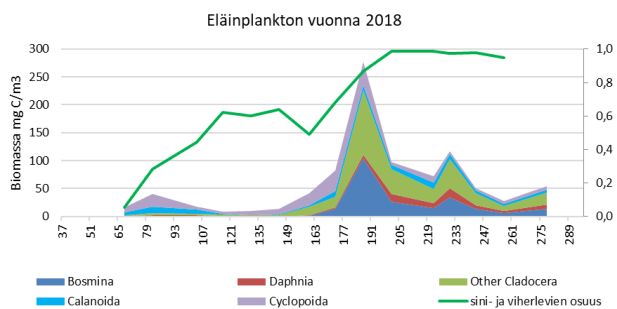
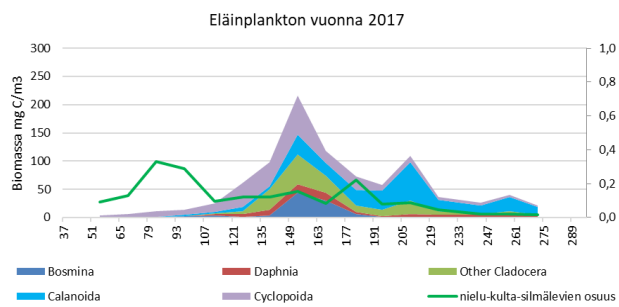
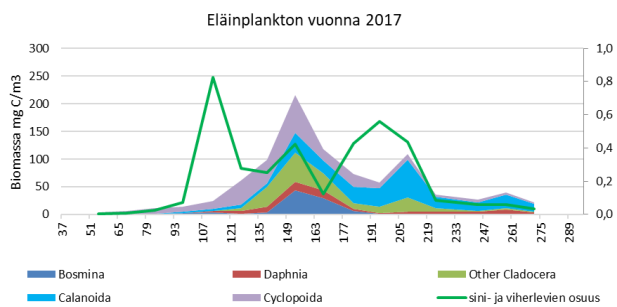
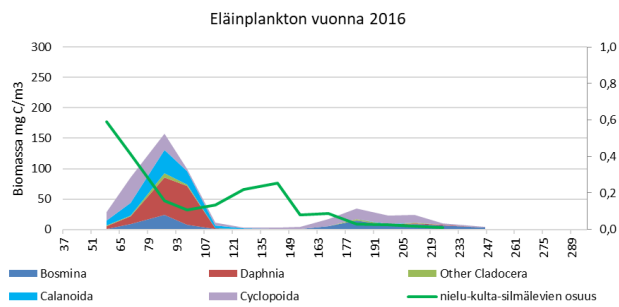
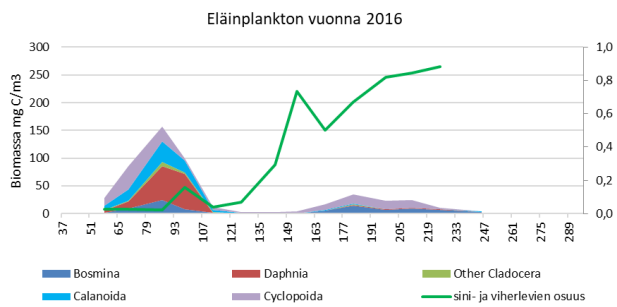
Kuva 17. Pyhäjärven kasviplanktonsuikessioon vuosien välisiä eroja kuvaavan esimerkkikaaviot vuosilta 2019 ja 2021. Erot kokonaisbiomassassa huomattavia. Vuoden 2021 kuvaajassa on lisäksi vesikirppujen (cladocera) EPA+DHA pitoisuus avovesikauden näytteenoissa. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).

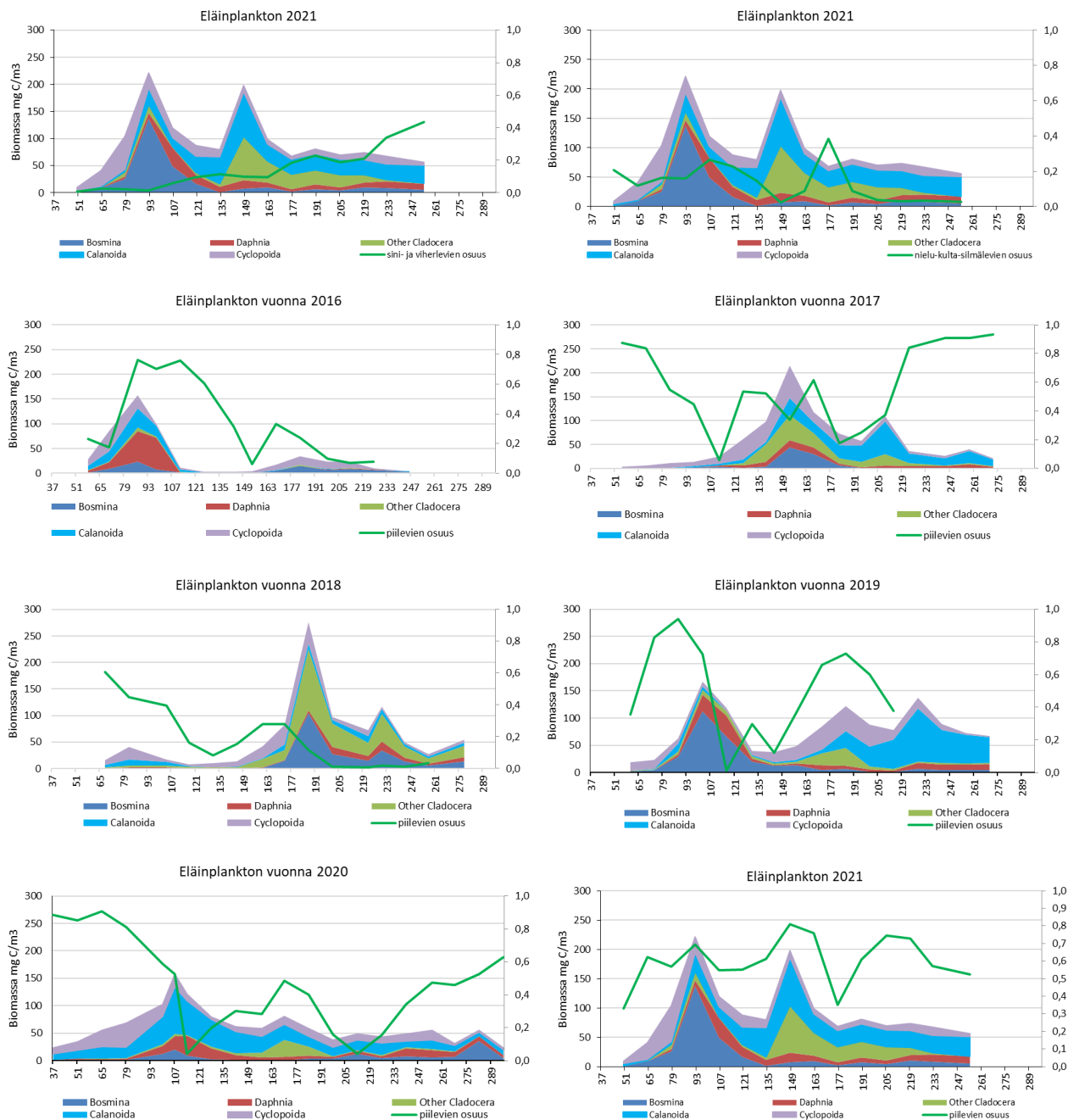
Eläinplanktonin vuosisykli alkaa *Bosmina* ja *Daphnia* -vesikirppujen alhaisesta määrästä, joka tyypillisesti nousee huippuunsa keskikesällä. Eläinplanktonin määrässä on kuitenkin suurta vuosien välistä vaihtelu ja myös kokonaisbiomassan jakautuminen ja ajoittuminen eri ryhmien välillä vaihtelee vuodesta toiseen (Kuva 18). Esimerkiksi vuosina 2017 ja 2019 hankajalkaisten (ryhmä Calanoida) osuus keväällä oli huomattavan alhainen muihin vuosiin verrattuna ja eläinplanktonbiomassa valtaosa koostui petomaisista kyklooppiäyriäisistä (ryhmä Cyclopoida).



Kuva 18. Pyhäjärven eläinplanktonin koostumus osuutena eläinplanktonin kokonaisbiomassasta vuosina 2016–2021. X-akseli kuvaa päiviä maaliskuun alusta: arvo 37= 6.4. Toukokuun alku= 61; kesäkuun alku= 92; heinäkuun alku= 122; elokuun alku= 153; syyskuun alku= 184; lokakuun alku= 214. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).

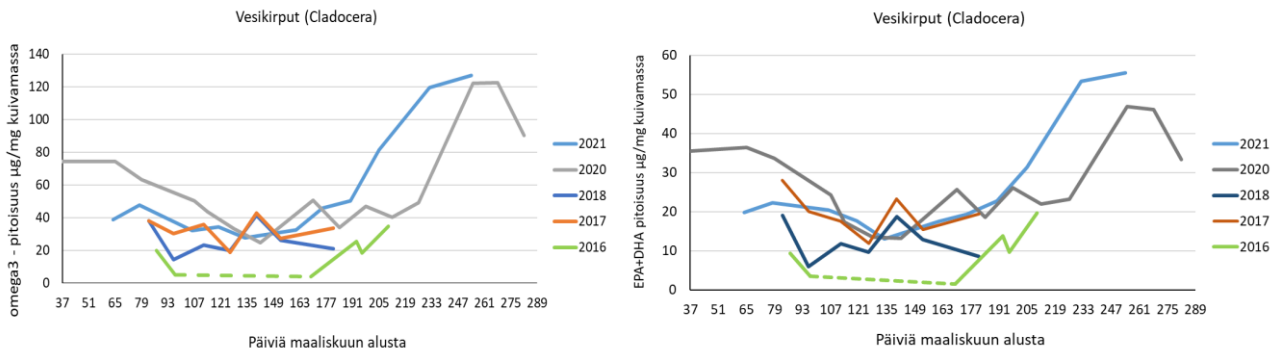
Eläinplanktonsukcession alkaessa kasviplanktonissa EPA- ja DHA-synteesiin kykenevien nielu-, kulta- ja silmälevien osuus on yleensä suhteellisen korkea ja eläinplanktonbiomassan kasvaessa nielu-kulta-silmälevien osuus laskee eläinplanktonin oletettavasti suosissa näitä ravintorikkaita ravintokohteita. Vuonna 2021 kerätty aineisto vesikirppujen EPA+DHA:n kehityksestä antaa viitteitä leväkoostumuksen heijastumisesta herbivoristen vesikirppujen ravinnolliseen arvoon (Kuva 17). Silmämääräisen tarkastelun perusteella sini- ja viherlevien suhteellisen osuuden noustessa eläinplanktonin biomassa alkaa alentua (Kuva 19).





Kuva 19. Pyhäjärven eläinplanktonbiomassa vuosina 2016-2021 yhdistettynä tiettyjen kasviplanktonryhmien suhteelliseen osuuteen kasviplanktonin kokonaisbiomassasta (vihherlevien ja syanobakteerien yhteenlaskettu biomassa, nielu-, kulta- ja silmälevien yhteenlaskettu biomassa sekä piilevien biomassa). X-akseli kuvaa päiviä maaliskuun alusta: arvo 37= 6.4.; toukokuun alku= 61; kesäkuun alku= 92; heinäkuun alku= 122; elokuun alku= 153; syyskuun alku= 184; lokakuun alku= 214. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).

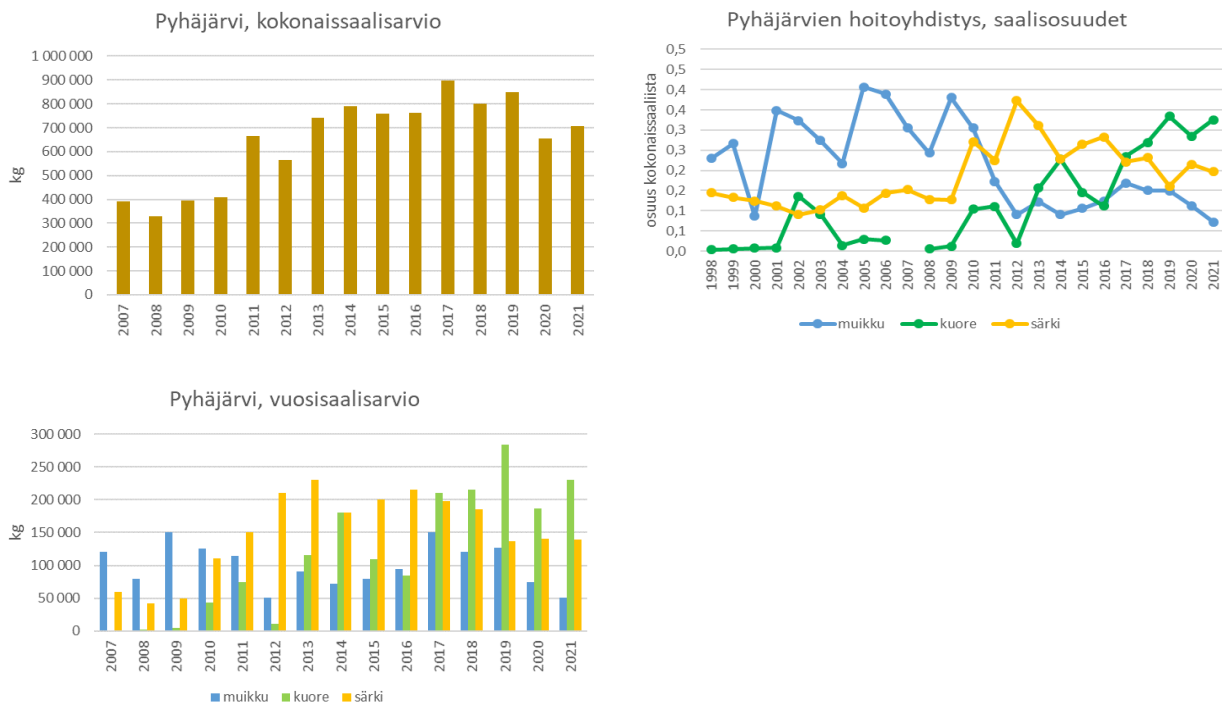
Pyhäjärven suojeleuhelman perustyönä vuosina 2016-2020 ja Muuttuva kalasto -hankkeessa vuodella 2021 täydennetty aineisto osoittaa vesikirppujen ravintoarvon pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen osalta olevan tyypillisesti matalimmillaan heinä-elokuussa (Kuva 20). Eläinplankton tarvitsee näitä pitkäketjuisia rasvahappoja kasvuun ja lisääntymiseen. Eläinplanktonaineistoista tehtävien silmämääräisten havaintojen pohjalta vaikuttaisi siltä, että huonolaatuisen leväbiomassan lisääntyminen vähentää herbivoristen vesikirppujen (*Daphnia* spp. & *Bosmina* spp.) biomassa ja tarjoaa kilpailuedun muita ravintolähteitä käyttäville (esim. *Chydorus* sp., *Ventelä* ym. 2002) tai aktiivisemmin laadukasta ravintoa leväravintoa etsiville eläinplanktoniryhmille (*Calanoida*) (Kleppel 1993).



Kuva 20. Pyhäjärven vesikirppujen kokonaisomega-3 rasvahappopitoisuus sekä EPA+DHA pitoisuuksien kehitys avovesikaudella vuosina 2016-2019 ja 2020-2021. Vuonna 2016 käytössä ollut erilainen esikäsittelymenetelmä, joka voi osaltaan vaikuttaa tuloksiin. X-akseli kuvaa päiviä maaliskuun alusta: arvo 37= 6.4.; toukokuun alku= 61; kesäkuun alku= 92; heinäkuun alku= 122; elokuun alku= 153; syyskuun alku= 184; lokakuun alku= 214. Pyhäjärvi-instituutin aineisto. (Kaavioiden editointi ja käyttö irrallaan raportista sekä aineiston jatkojalostus kielletty).

Kalastotarkastelut

Pyhäjärven hoitoyhdistyksen ylläpitämän kalastuksen saalisarviotilaston mukaan Pyhäjärven kokonaissaalis oli kasvusuunnassa vuoteen 2017 saakka, minkä jälkeen kokonaissaalis on hieman laskenut. Muikun saalisosuuden laskiessa kuoreen ja särjen saalisosuudet ovat kasvaneet, mutta särkisaaliinkin kehitys on taittunut alaspäin (Kuva 21). Muikkusaaliin vaihtelu liittyy osittain talvunuottauksen olosuhteiden vaihteluun, mutta taustalla voi olla myös populaatiokoon vaihtelu. Keväisin tehtävän poikaspynnin tulosaiteiston perusteella muikun poikastuotannossa esiintyy melko suurtakin vuosien välistä vaihtelua (Kuva 22). 2010-luvun alusta lähtien on ollut vain kaksi erittäin runsaan poikastuotannon vuotta.

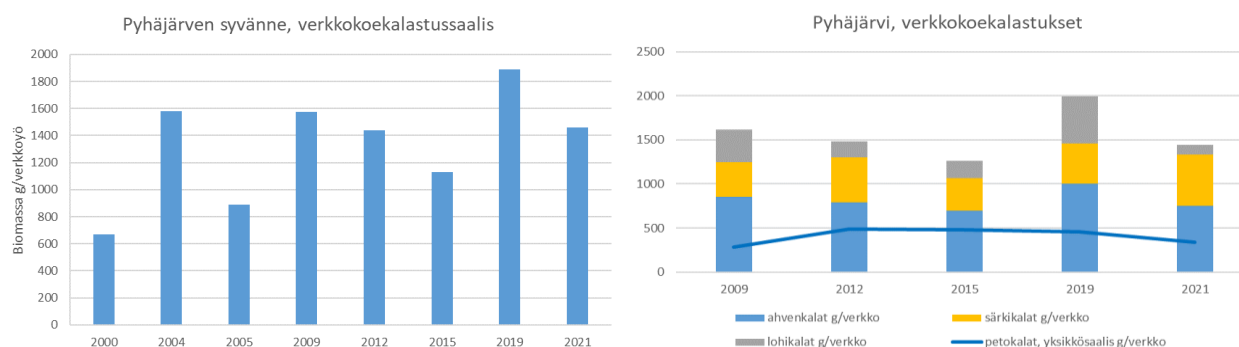


Kuva 21. Arvio Pyhäjärven kalastuksen kokonaissaaliista ja muikun, kuoreen ja särjen osuudet kokonaissaaliista. Aineisto: Pyhäjärven hoitoyhdistyksen saalisarviotilasto.



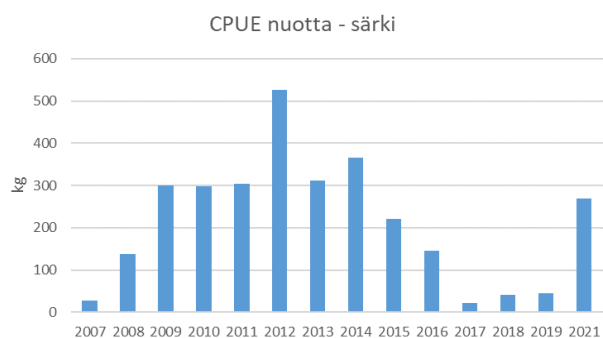
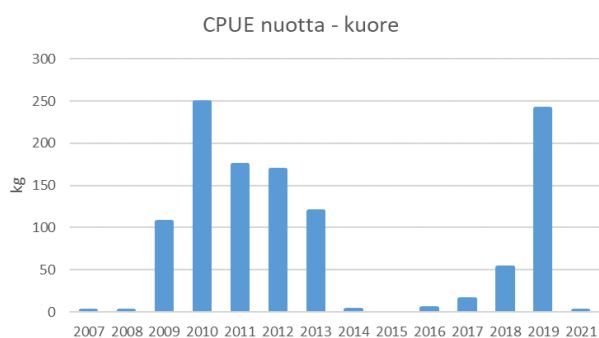
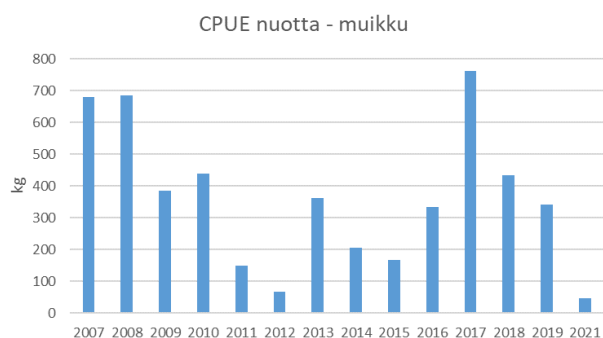
Kuva 22. Muikun poikastiheydet jäiden lähdön jälkeen tehdyn poikaspyynnin mukaan. Aineisto: Jyväskylän yliopisto ja Pyhäjärvi-instituutti.

Pyhäjärvellä aikavälillä 2000-2021 tehdyissä verkkokoekalastuksissa yksikkösaalis on vaihdellut jonkin verran (Kuva 23). 2009-2015 yksikkösaaliissa oli laskeva suuntaus, mutta vuonna 2019 saatiin aikajakson korkein yksikkösaalis (Sairanen ym. 2019). Vuoden 2019 saaliissa sekä ahven- että lohikalajien (Luken aineistossa lohikalajien ryhmään sisältyy kuore, joka kuitenkin kuuluu kuorekalajien lahkoon) saalis kasvoi aiempiin koekalastusvuosiin verrattuna. Vuoden 2021 koekalastuksessa saalistaso aleni vuoden 2012 tasolle ja erityisesti kuoreen osuus pieneni (Pyhäjärvi-instituutin aineisto). Verkkokoekalastusaineisto on kuitenkin liian harva ja aikajakso liian lyhyt, jotta sen perusteella voisi kattavasti ennakoida tulevaa pitkänajan kehitystä. Pyhäjärven vuoden 2022 koekalastuksen saalistietoja ei ole ollut vielä käytettävissä tätä raporttia kirjoitettaessa.



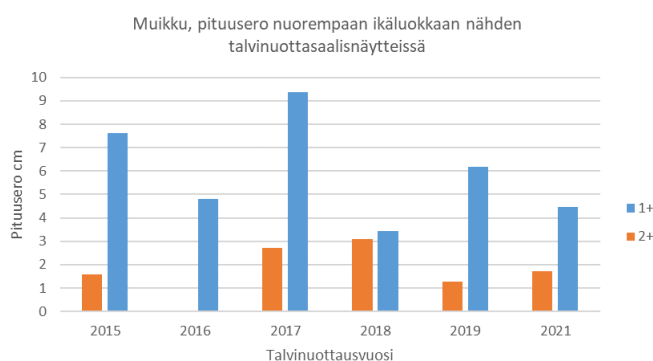
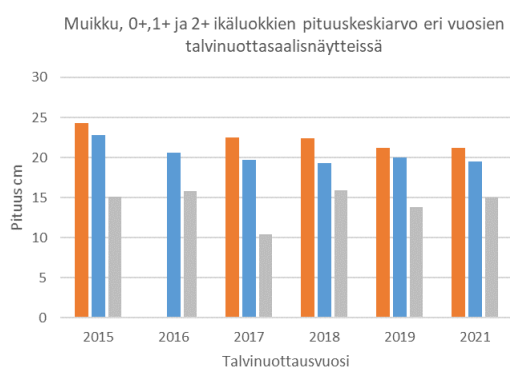
Kuva 23. Pyhäjärvellä aikavälillä 2000-2021 tehtyjen verkkokoekalastusten yksikkösaalis sekä ahven-, särki-, lohikalajien ja petokalajien yksikkösaaliit verkkokoekalastussaaaliissa. Aineisto Luonnonvarakeskuksen raportit ja Pyhäjärvi-instituutti.

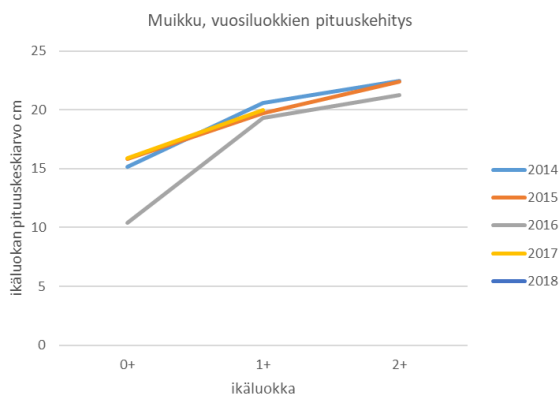
Pyhäjärven kalastuksessa talvинуottauksella on ollut merkittävä osuus saaliin muodostuksessa. Nuottakuntien väheneminen, jäätalvien lyheneminen ja muikkusaaliin pieneneminen ovat vaikuttaneet talvинуottauksen toimintaedellytyksiin, esimerkiksi vuonna 2020 ei talvинуottausta tehty lainkaan heikon jäätilanteen vuoksi. Talvella 2022 järvellä kalasti enää yksi nuottakunta. Pyhäjärvi-instituutti on tehnyt näytteenottoa nuottasaaliista 2000-luvun alusta lähtien ja näyteaineiston perusteella on vuonna 2021 tehty kooste, jossa on arvioitu kalastuksen yksikkösaaliin kehitystä lajeittain (Kuva 24). Särjen korkeimmat yksikkösaaliit on talvинуottauksessa saatu 2010-luvun alussa. Kuoreen saaliskehitys on saman tyyppinen, joskin vuonna 2019 yksikkösaalis nousi uudelleen huippuvuoden 2010 tasolle. Muikun suurin yksikkösaalis saatiin 2017, mutta muutoin viime vuosikymmenen yksikkösaalistasot ovat olleet keskimääräisiä tai selkeästi alhaisia (2012, 2021).



Kuva 24. Pyhäjärven talvinuottanäytteenoton perusteella arvioitu muikun kuoreen ja särjen yksikkösaalis. Aineisto Pyhäjärvi-instituutti.

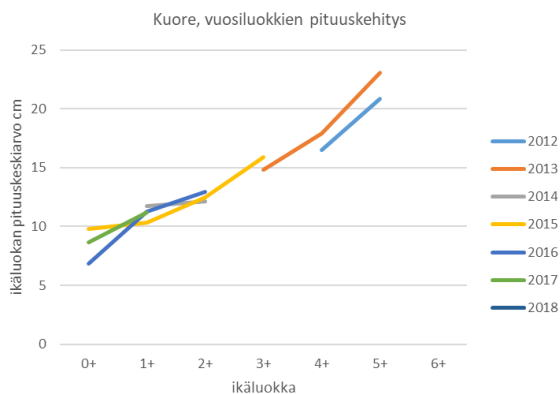
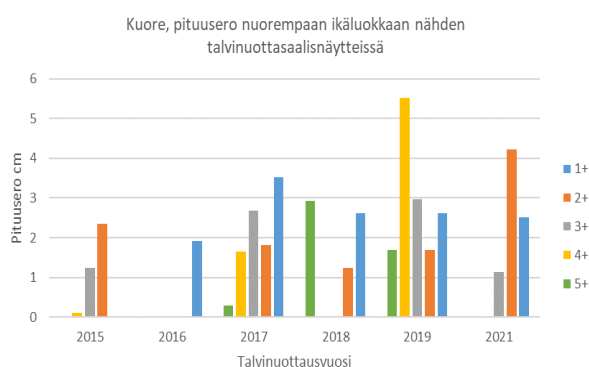
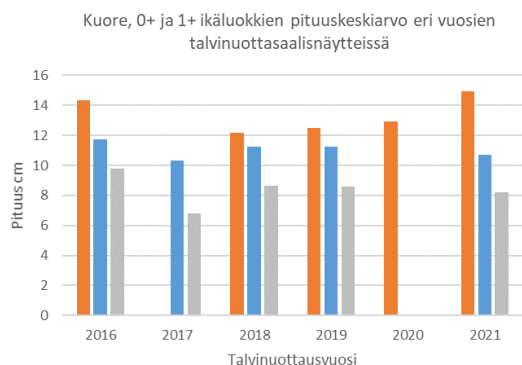
Talvinuottasaaliista otetuista näytteistä on myös tehty ikä- ja kokomäärityksiä kalojen kasvun ja populaatorakenteen arvioimiseksi. Muikulla vuoden 2017 talvinuottanäytteissä 0+-ikäluokan keskipituus on selvästi pienempi kuin muina vuosina, joten 2016 kuoriutuneiden poikasten ensimmäinen kasvukauden kasvu on jäänyt tavallista alhaisemmaksi. Ikäluokkien pituuservertailussa näkyy, että vuoden 2017 talvella 1+ ja 0+ ikäluokkien pituusero on ollut yli 9 cm. Seuraavana vuonna 2+ ja 1+ ikäluokkien välinen ero oli kuitenkin jo tasoittunut, eli vuoden 2017 kasvukauden kasvuolosuhteet olivat olleet suotuisimmat ja huonosta alkukasvusta kärsinyt ikäluokka on saavuttanut 'normaalin' kokoluokan. Vanhemmilla ikäluokilla vastaavia huonoja kasvuvuosia ei ole erotettavissa. Vuosiluokkien pituuskehityskaaviossa näkyy vuosiluokan 2016 nopea kasvu 0+ ja 1+ ikävuosien välillä. Muiden vuosiluokkien pituuskehitys kulkee melko yhtenevää linjaa (Kuva 25).





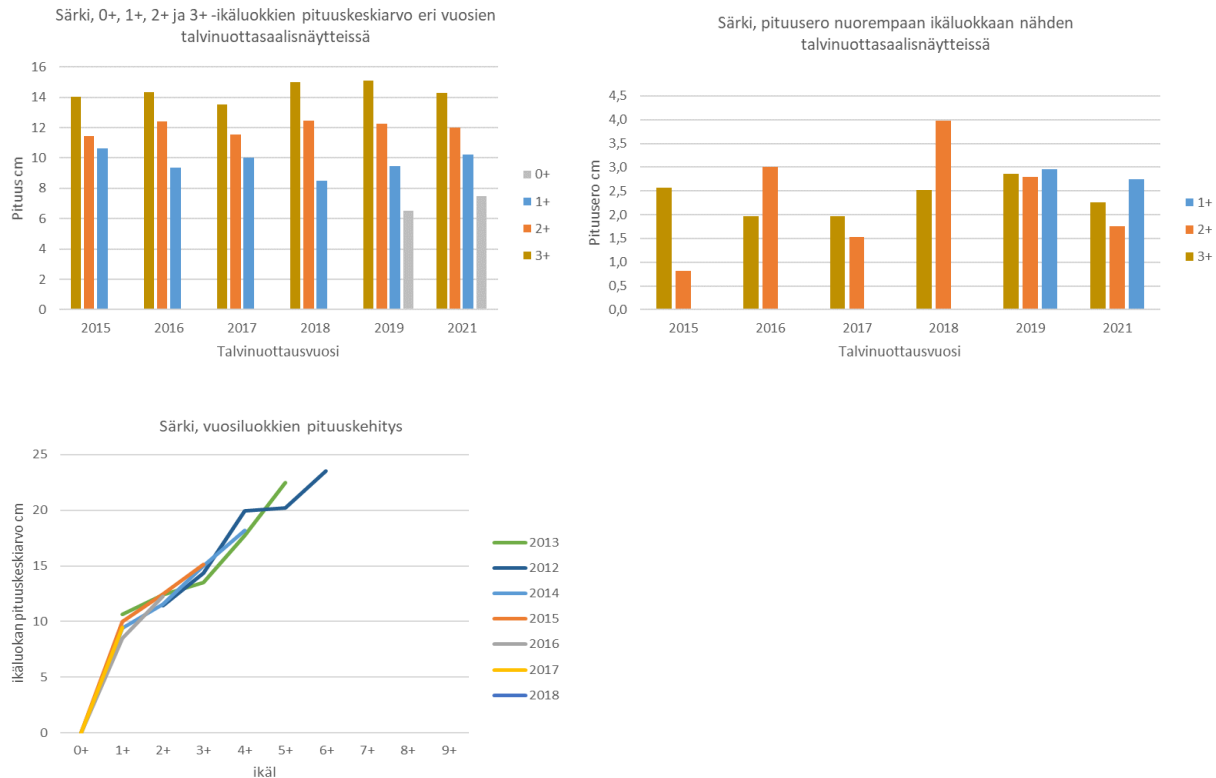
Kuva 25. Muikun ikäluokkien kesiarvopituudet, pituuserot ikäluokkien välillä ja vuosiluokkien pituuskehitys talvinuottasaaliista otetuissa näytteissä.

Kuoreella 0+ ja 1+ -ikäluokkien keskipituudet ovat olleet alhaisimmillaan vuoden 2017 talvinuottanäytteissä, jolloin myös 1+ ja 0+ ikäluokkien välinen pituusero oli suurimmillaan. Kesällä 2016 syntyneellä vuosiluokalla on ollut hidas lähtö kasvuun ja myös edellisen vuosiluokan kalat ovat kasvaneet tuolloin hitaammin. Seuraavana vuonna (talvinuottavuosi 2018) pituusero 2+ ja 1+ -vuotiaiden välillä oli vain noin 1 cm ja 2+-ikäluokan keskipituus oli aikasarjan lyhin. Heikompi pituuskasvu vaikuttaa jatkuneen vuoden 2016 huonot kasvuolot juveniilivaiheessa kohdanneella vuosiluokalla, kun taas vuonna 2016 poikasvaiheessa olleet kalat ovat pystyneet kompensoimaan pituuskasvua myöhempinä kasvukausina. 2016 vuosiluokkaa lukuun ottamatta kuoreen vuosiluokkien kasvukäyrät ovat melko hyvin toisiaan täydentäviä (Kuva 26).



Kuva 26. Kuoreen ikäluokkien kesiarvopituudet, pituuserot ikäluokkien välillä ja vuosiluokkien pituuskehitys talvinuottasaaliista otetuissa näytteissä.

Särjellä keskipituuden kehitys ikäluokasta toiseen näyttää melko tasaiselta. Särki ei ole reagoanut vuoden 2016 heikkoihin kasvu olosuhteisiin, mutta näyttää siltä, että vuonna 2018 1- ja 2-vuotiaiden kasvu on ollut keskimääräistä vähäisempää. 0+-ikäluokan kaloja on saatu näytteisiin vain vuosina 2019 ja 2021 (vuonna 2020 ei ollut talvinuottausta), joten olosuhteiden vaikutusta poikasvaiheen pituuskehitykseen ei pystytä laajemmin arvioimaan. Särjen vuosiluokkien pituusikäyrät muodostavat melko yhtenevän jatkumon (Kuva 27).

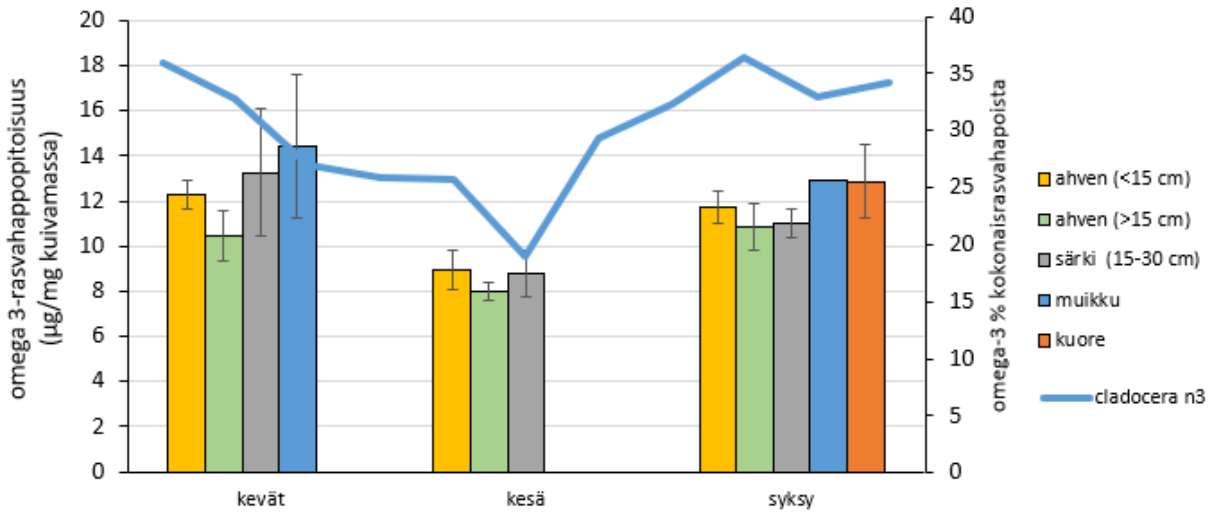


Kuva 27. Särjen ikäluokkien kesiarvopituudet, pituuserot ikäluokkien välillä ja vuosiluokkien pituuskehitys talvinuottasaaliista otetuissa näytteissä.

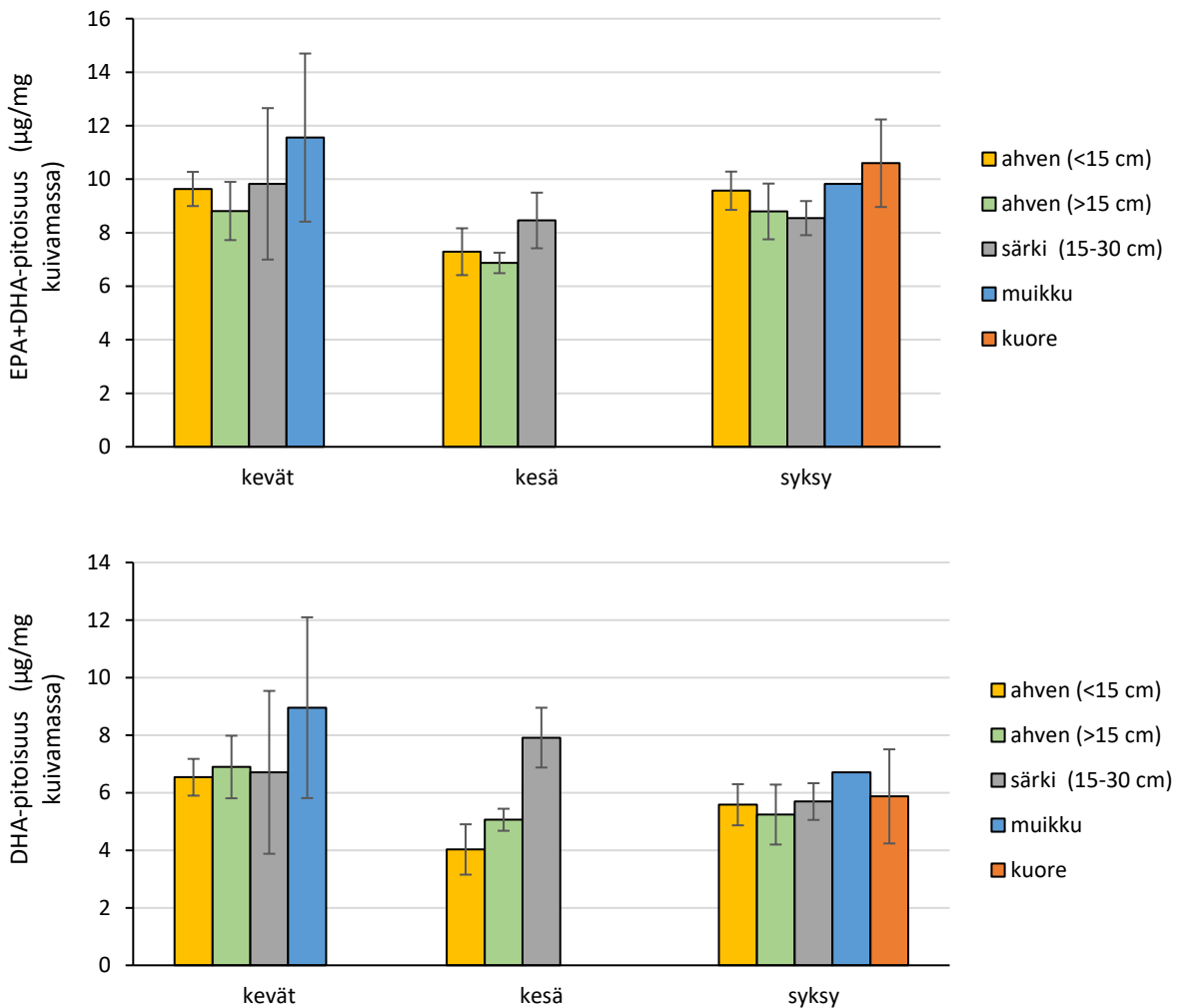
Kalaston rasvahappokoostumus vuonna 2021

Muuttuva kalasto -hankkeessa kerätyt lihasnäytteet osoittavat kalojen pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen pitoisuuksien vaihtelevan vuodenajan ja käytettävissä olevan ravinnon laadun mukaan (Kuva 28). Pitoisuudet ovat korkeimmillaan keväällä ja syksyllä, kun hyvälaatuista planktonravintoa on saatavilla. Havainnot ovat yhdenmukaisia erityyppisen leväyhteisön omaavien järvien välillä tehtyjen tutkimusten kanssa, rehevöitymistä indikoivien lajien lisääntyessä myös kalojen ravintoarvo laskee (Taipale ym. 2016, Taipale ym. 2022).

Korkeimmat rasvahappopitoisuudet havaittiin muikulla ja kuoreella (kuva x). Muikulla havaittiin olevan hieman DHA-pitoisempi kuoreeseen verrattuna, kun taas kuoreen korkea pitkäketjuisten rasvahappojen pitoisuus selittyy muihin lajeihin verrattuna korkeammalla EPA-pitoisuudella. Tutkittujen näytteiden perusteella särki omaa hyvän kyvyn puskuroida ravintoverkon pohjatasolla tapahtuvaa ravinnon laadullista köyhtymistä (Kuva 29). Särjen monipuolinen ravinnon käyttö sekä eräiden pohjaeläinten sisältämät korkeat EPA- ja DHA-pitoisuudet ovat todennäköisesti havainnon taustalla (Taipale ym.). Lisäksi särjen kesänaikaista korkeaa DHA-pitoisuutta voi selittää vesikirppuihin nähden runsaammin DHA:ta sisältävien hankajalkaisten käyttö ravintona (Brett ym. 2009, Strandberg ym. 2016).



Kuva 28. Pyhäjärven särjen, muikun, kuoreen ja ahvenen omega-3 rasvahappojen pitoisuudet sekä vesikirppujen omega-3 rasvahappokoostumuksen suhteellinen kehitys avovesikaudella 2021.



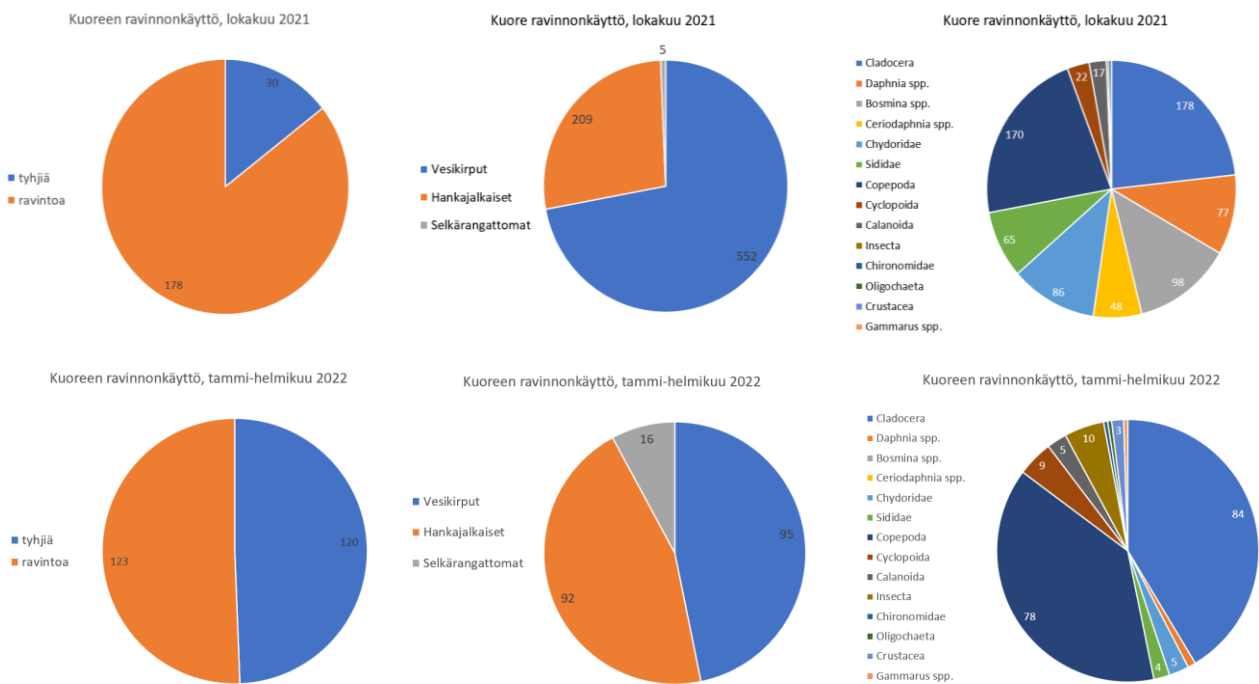
Kuva 29. Pyhäjärven särjen, muikun ja kuoreen rasvahappokoostumuksen vaihtelu avovesikaudella 2021. Hankkeen kohdelajeina olevien lajien lisäksi ahvenesta teetettiin vertailuaineistoksi omat rasvahappoanalyytit.

Kuoreen ravinnonkäyttö

Kuoreen pyynti Pyhäjärvellä keskittyy pitkälti avovesi- ja talvinuotta pyyntiin, jolloin kalojen saatavuudessa kesällä on haasteita ammattikalastajien keskittyessä pääasiassa verkkopyyntiin ja ravustukseen. Muuttuva kalasto -hankkeen ravinnonkäyttötutkimuksen näytteet kuoreen osalta kerättiin avovesinuotasta lokakuussa sekä talvinuotasta tammi-helmikuussa. Mahoista tutkittiin ravintokohteiden esiintyminen (kyllä–ei) tutkimuskaloissa ja lopulliset tulokset ovat kuvattu esiintymisefrekvensseinä tutkimuskaloissa (kuva X). Näytteet analysoi latvialainen Saldūdeņū risinājumi (SIA).

Lokakuun saalista tutkittiin yhteensä 208 kuoretta, joiden mahoista 30 oli tyhjiä. Selvästi runsaimpana kuoreen ravinnon käytössä erottuivat eri eläinplanktonryhmät. Vesikirppujen (cladocera) osuus ravintokohteista oli yli 70 %. Heimo ja sukutasolle määritetyistä vesikirpuista yleisimpinä esiintyivät Daphnia- ja Bosmina-sukujen sekä Chydoridae-heimon vesikirput. Eläinplanktonin lisäksi havaittiin kolmen kalan sisällä Chironomidae-heimon surviaissäksen toukkia sekä kahdessa kalassa tunnistamattomia selkärangattomia (Kuva 30).

Talvella kerätystä nuottanäytteestä tutkittiin yhteensä 243 kuoretta. Kylmä vesi sekä vähäinen ravinnon tarve näkyi tutkimuskaloissa, sillä mahoista 120 oli tyhjiä. Verrattuna syksyyn hankajalkaisten ja makroskoopisten selkärangattomien osuus ravinnossa kasvoi (Kuva x). Eläinplankton kattoi kuitenkin yhä yli 90 % havaituista ravintokohteista, ja käytännössä vesikirppujen ja hankajalkaisten esiintyvyys ravinnossa oli yhtä suuri. Makroskoopisten selkärangattomien esiintyvyys kattoi noin 8 % ravintokohteista (Kuva 30).



Kuva 30. Kuoreen ravinnonkäyttöä tutkittiin lokakuussa sekä tammi-helmikuussa nuottasaalista kerätystä otoksista.

Sulkasääski (*Chaoborus flavicans*) ja kalaravinto

Yksi kuoreen ravinnonkäyttötutkimuksen tavoitteista oli selvittää kalaravinnon sekä sulkasääsken (*Chaoborus flavicans*) merkitystä kuoreen ravinnossa. Kalojen heikosta saatavuudesta johtuen tutkimusajankohdat eivät olleet otollisimmat kyseisten ravintoryhmien osalta, mutta varsinkin lokakuussa eräiden särkikalanpoikasten sekä sulkasääsken toukkien voisi olettaa näkyvän kuoreen ravinnossa. Tutkituista kuoreen mahoista ei kuitenkaan löytynyt merkkejä kalanpoikasista tai sulkasääskeä. On siis oletettavaa, etteivät nämä ainakaan syksyllä muodosta merkittävää osaa kuoreen ravinnosta Pyhäjärvellä. Tutkimusotoksen painottuminen

kohtalaisen pienikokoisiin kaloihin (keskipituus 11,3 cm) todennäköisesti osaltaan selittää kalaravinnon puuttumista. Tutkimusta tulisi kuitenkin jatkossa laajentaa kiihkeimmän kasvukauden aikaan, jolloin pienikokoista kalaravintoa sekä kuoriutuvia sulkasäskien toukkia on oletettavasti runsaammin saatavilla vesipatsaassa.

5. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Pyhäjärven ravintoverkko muuttuvassa ilmastossa

Pitkäaikainen tutkimusaineisto vahvistaa ilmastonmuutokseen yhdistettyjen ilmiöiden pitkälti näkyvän Pyhäjärven vedenlaadussa ja ravintoverkossa. Järveen päätyvien tulovirtaamien vähittäinen ajallinen muuttuminen, jääpeitteisen ajan selkeä lyhentymisen, avovesikauden alkuun painottuva lämpötilojen nousu sekä pitkäaikainen ravinnepitoisuuksien nousukehitys heijastuvat Pyhäjärven perustuotannon laatuun sekä sitä kautta laajemminkin järven ekologiaan. Ravintoverkon köyhtyminen rehevöitymis- tai tummumiskehityksen kautta on havaittu uhaksi sisävesien kalatuotannolle ja kalaravinnon laadulle (Taipale ym. 2016, Taipale ym. 2018, Anttila 2019). Vedenlaatu- ja kasviplanktonaineistot osoittavat Pyhäjärven vähittäisen rehevöitymiskehityksen, joka ilmenee klorofyllipitoisuuksien nousuna sekä sini- ja viherlevien biomassaosuuden kasvuna. Tarkastellun aineiston perusteella tummumiskehitys ei kuitenkaan näyttäisi olevan merkittävä uhka Pyhäjärvelle, sillä järven syvännepisteeltä kerätyssä pitkänajan vesinäyteaineistossa väriluvussa havaittiin nousun sijaan laskeva kehitys.

Ravintoverkon ylempien tasojen kasvulle ja menestymiselle keskeisiä ravintoaineita (EPA, DHA, sterolit) heikosti tuottavien leväryhmien lisääntyminen vaikuttaa Pyhäjärven ravintoverkon pohjatason laatuun ja yhteisökoostumukseen. Eläinplanktonin, erityisesti herbivoristen vesikirppujen, runsaus vaikuttaisi olevan matalimmillaan sini- ja viherleväbiomassan ollessa järvessä suuri. Ravinnon laadun ja runsauden kautta tapahtuvan bottom up -säätelyn lisäksi eläinplanktonin runsauteen vaikuttaa siihen ravintoketjun ylemmiltä tasoilta kohdistuva saalistus (top-down sääntely). Aineistojen perusteella eläinplanktonrunsauden vaihtelut ovatkin voimakkaita ja selkeiden vuorovaikutussuhteiden havaitseminen eri linkkien välillä vaikeaa. Laajemmat johtopäätökset kaipaavatkin tilastollisia analyysieja tuekseen.

Hankkeessa tuotetun rasvahappoaineiston (biomarkkimolekyylien) jatkoanalysointi kasviplankton-eläinplankton vuorovaikutussuhteiden selvittämiseksi voi tuottaa arvokasta lisätietoa Pyhäjärven ravintoverkon toiminnasta (Taipale ym. 2022). Vuodesta 2016 alkaen kerätty aineisto Pyhäjärven vesikirppujen rasvahappokoostumuksesta osoittaa monen kalalajin keskeisenä ravintona esiintyvien vesikirppujen ravinnollisen laadun olevan heikommillaan kesäkuukausina, jolloin kalojen ravinnon tarve on suurin. Kerätty tutkimustieto antaakin viitteitä siitä, että ilmastonmuutokseen kytkeytyvä vesien lämpeneminen sekä tästä johtuva sini- ja viherlevien runsastuminen voi johtaa eläinplanktonravinnon rajalliseen saantiin kesken kalojen kiihkeimmän kasvukauden. Ravinnekuituksen vähentämisen merkitys korostuu, jotta ilmaston ja vesien lämpenemisestä suoraan johtuvaa rehevöitymiskehitystä voidaan osaltaan vaihtoehtoisilla keinoilla hillitä.

Mahdolliset vaikutukset saalisajistoon ja kalatalouteen

Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymiskehityksen aikaansaamat muutokset suosivat lämpimiin vesiin ja reheville järville tyypilliseen lajistoon sopeutuvia kalalajeja. Pyhäjärven kalatalouden merkittävimpana talouslajina vuosikymmenet olleen muikun merkitys on lähivuosina vähentynyt, eikä Pyhäjärven ympäristötekijöissä havaitut muutokset enteile muikulle valoisampaa tulevaisuutta. Korkeiden kesälämpötilojen myötä viileää, kasvulle optimaalista vettä on vaikea löytää. Muikulle akuutisti letaalien maksimilämpötilojen esiintymisen todennäköisyys myös kasvaa ilmaston lämmitessä. On mahdollista, että syyskutuisena kalana kesäkuukausina esiintyvä heikkolaatuinen ravinto heijastuu muikun lisääntymismenestykseen. Loppukesällä 2016 havaitun kaltainen eläinplanktonbiomassan totaalinen

puuttuminen vaikuttaa voimakkaimmin muikun kaltaiseen, lähes yksipuolisesti planktonravintoa syövään kalaan. Toisaalta myöskään jääpeitteisen ajan lyhentymisen vaikutusta muikun lisääntymismenestykseen ei tunneta, ja kattavaa lisätutkimusta tämän aiheen tiimoilta tulisi toteuttaa.

Muuttuvassa ympäristössä monipuolista ravintoa käyttävien ja aktiivisesti sopiviin kasvuolosuhteisiin hakeutuvien kalalajien merkitys kasvaa. Hankkeessa toteutetun ravinnonkäyttöselvityksen perusteella kuoreen ravinnosta valtaosa on eläinplanktonia. Kuoreen kuitenkin tiedetään lajina toisinaan suosivan myös huomattavasti monipuolisempaa ravintoa, esimerkiksi sulkasääskiä ja kalanpoikasia, mikä voikin helpottaa etenkin vanhempien ikäluokkien osalta sen menestymistä huonoina eläinplanktonvuosina (Northcole & Hammar 2006, Malinen ym. 2011). Kalojen lihasnäytteiden rasvahappotulokset antavat viitteitä särjen korkeasta sopeutuvuudesta vaihtelevaan ravintotilanteeseen joko biomuuntamalla tehokkaasti lyhyempiketjuisia rasvahappomuotoja pitkäketjuisiksi omega-3 rasvahapoiksi tai suosimalla monipuolisesti ravintorikasta ravintoa. Aiempi Pyhäjärven ja Köyliönjärven ahvenia tarkasteleva tutkimus osoittaa niin ikään ravintoverkon ja kalayksilöiden korkeaa kykyä lieventää ravintoverkon pohjatason köyhää ravinnollista laatua (Taipale ym. 2022). Lisätietoa hankkeen kohdelajien sopeutumiskyvystä ja pitkäketjuisten rasvahappojen biomuuntokyvystä voidaan saada Muuttuva kalasto -hankkeessa jatkotutkimuksia varten kerättyjen geeninäytteiden kautta. Pyhäjärvi-instituutin talvinuottasaaliista kerätyt kasvu- ja iänmääritysaineistot kuitenkin osoittavat niin särjen, muikun kuin kuoreenkin osalta korkeaa kykyä kompensoida huonoa vuosikasvua tulevana kasvukausina.

Markkinointivaltit

Viimeisen kymmenen vuoden aikana kotimaisen järvikalan arvostus suomalaisten ruokapöydissä on kohonnut. ”Särkikalabuumista” huolimatta kotimaisen luonnonkalan osuus suomalaisten kalaravinnossa on kuitenkin vain noin kolmannes verrattuna ulkomaiseen tuontikalaan (LUKE tietokanta, vuosi 2020). Muuttuvassa toimintaympäristössä laadukkaan ja ekologisen kotimaisen ravinnon merkitys kuitenkin entisestään korostuu. Viimeisimmät vuodet ovat osoittaneet, että omavaraisuuteen proteiinien ja välttämättömien ravintoaineiden kuten pitkäketjuisten omega-3 rasvahappojen osalta olisi hyvä pyrkiä.

Tuotteen hinnan lisäksi hyvin moni muu asia vaikuttaa kuluttajien ostopäätöksiin. Kotimaisessa järvikalassa yhdistyy moni kuluttajien ostopäätöstä puoltava tekijä. Valtavirta kuluttajista arvostaa tuotetta, joka on terveellinen, ekologisesti kestävä sekä lähellä tuotettu. Proteiinien ohella pitkäketjuiset omega-3 rasvahapot mielletään yleensä kalaravinnon merkittävimmäksi terveyshyödyksi. Muuttuva ilmasto voi heijastua kalan saatavuuteen, niin pyyntiaikoihin, menetelmiin kuin kalaston rakenteeseenkin vaikuttamalla. Pyhäjärvellä vuonna 2021 kerätty kala-aineisto kuitenkin osoittaa, että talouskalalajeina merkitystään jo kasvattaneet ja tulevaisuudessa todennäköisesti yhä paremmin menestyvät lajit, kuten kuore ja särki, ovat omega-3 rasvahappojen osalta laadukasta ravintoa.

Ilmastonmuutokseen kytkeytyvät vaikutukset kalastuselinkeinoon ja jalostukseen

Hankkeessa luotiin yleisluontoinen taulukko toimintamalleista, jossa on listattu tunnistettuja kalastukseen ja kalan jalostukseen sekä toimintaympäristöön kohdistuvia ilmiöitä, toimijoiden mahdollisia toimia haittojen ehkäisyyn ja vaikuttamismahdollisuuksia (Taulukko 1). Taulukossa listatut keinot ja vaikutusmahdollisuudet ovat suuntaa-antavia ja taulukon tarkoituksena on toimia toimintaa, suunnittelua ja kehittämistä tukevana listauksena. Monet listatuista ilmiöistä ovat moniulotteisia ja niiden taustalla on yleensä useita syitä. Ilmastonmuutoksen ja edelleen rehevöitymisen aiheuttamat haasteet ja niihin sopeutuminen aiheuttavat kalastus- ja jalostuselinkeinoille jatkuvaa muutos- ja sopeutumispainetta sekä jossain tapauksissa tarvetta uusille investoinneille. Taloudellisen joustavuuden lisäksi toimijoilta vaaditaan aiempaa enemmän ennakkointia nopeisiin muutoksiin. Toiminnan hajauttaminen monelle vesialueelle ja yhteistyö muiden toimijoiden ja kalastajien kanssa vahvistaa elinkeinojen sopeutumiskykyä useampiin tässä kuvattuihin haasteisiin. Viestinnän rooli korostuu, koska aikainen tiedon saanti uusien ongelmien syntyhetkellä antaa enemmän aikaa varautua ja muuttaa toimintaa tarvittaessa. Vuoropuhelu kaikkien sidosryhmien välillä

mukaan lukien kalastuksen säätelystä vastaavat toimijat, viranomaiset ja tutkimustahot, on tärkeää. Kalastuksesta saatavat perustiedot esim. saalista ja yleisistä havainnoista ovat tärkeässä roolissa. Tutkimustiedon ja sen soveltamiskelpoisuuden kasvattamiseksi viestintä takaisin käytännön toimijoille on tärkeää. Tutkimustietoa tulisi jatkuvasti ”kansantajuistaa” käytännön toimijoiden käyttöä parhaiten tukevaan helposti sovellettavaan muotoon.

Taulukko 1. Taulukossa on listattu tunnistettuja kalastukseen ja kalan jalostukseen sekä toimintaympäristöön kohdistuvia ilmiöitä ja haasteita, toimijoiden mahdollisia toimia haittojen ehkäisyyn sekä vaikuttamismahdollisuuksia yleisellä tasolla.

Ilmiö / asia	Kalastajan/jalostajan mahdolliset toimet haittojen ehkäisyksi	Miten ilmiöön / asiaa voidaan vaikuttaa
Makuhaitat kalassa	Esiintymisen aistihavainnointi ja kalastuksen keskeytys tavattaessa, kalastuksen välttäminen esim. lämpimän veden aikaan	Vähäiset vaikuttamismahdollisuudet, mahdollisesti rehevöitymisen hillintä
Kalakuolemat	Tarvittaessa kalastuksen keskeyttäminen kaloihin kohdistuvan stressin vähentämiseksi	Vähäiset vaikuttamismahdollisuudet, ilmastonmuutoksen hillitsemisen yleiset keinot
Pyydysten limoittuminen ja likaantuminen	Pyyntijaksojen keston mukauttaminen	Rehevöitymisen hillintä
Tiedonpuute kalakannoista (kalaston muuttuessa tiedon tarve kasvaa)	Yhteistyö tutkimustahojen kanssa, kalastuspäiväkirjan pitäminen	Lisätään resursseja kalastuksen säätelyyn ja kalataloudelliseen tutkimukseen ja viestintään
Lisääntyneet sään ääri-ilmiöt haittaavat kalastusta	Kaluston ja pyydysten mitoittaminen, eri vesistöt	Ilmaston muutoksen hillitsemisen yleiset keinot
Vaihtelu jääpeitteisen ajan kestossa kalastuksen kannalta	Mukautuvat kalastusmenetelmät ja kalusto, laajat hankintaverkostot ja pyyntialueet	Ilmaston muutoksen hillitsemisen yleiset keinot
Vaihtelu jääpeitteisen ajan kestossa syyskutuisten kalalajien pyynnin kannalta	Mukautuvat kalastusmenetelmät ja kalusto, laajat hankintaverkostot ja pyyntialueet. Kalastuksen kohdentaminen hajautetusti.	Ilmaston muutoksen hillitsemisen yleiset keinot
Muuttuvien lämpötilojen vaikutukset kalojen käyttäytymiseen ja pyyntiin	Uuden tiedon hankkiminen ja soveltaminen käytäntöön, toiminnan sopeuttaminen, lämpötilojen noususta hyötyvien lajien hyödyntäminen	Tutkimustiedon kerääminen ja uuden tiedon tuottaminen, tutkimustiedon kansantajuistaminen, ilmaston muutoksen hillintä
Muuttuvien lämpötilojen vaikutukset kaloihin ja kalastoon	Uuden tiedon hankkiminen ja soveltaminen käytäntöön, toiminnan sopeuttaminen, lämpötilojen noususta hyötyvien lajien hyödyntäminen	Tutkimustiedon kerääminen ja uuden tiedon tuottaminen, tutkimustiedon kansantajuistaminen, ilmaston muutoksen hillintä
Ravintoverkon laadulliset vaikutukset kalastoon	Kalastuksen ja jalostuksen sopeuttaminen ja hajauttaminen kohdelajien osalta sekä pyyntialueiden / vesistöjen osalta	rehevöitymisen ja tummumisen hillitseminen
Taloukalalajien vähentynyt osuus kalastossa	Kalastuksen kohdentaminen myös muihin kuin taloukalalajeihin	Kalastuksen säätelyn keinot, voi olla hankalaa, jos ei taloudellista kannustinta

6. Talous ja resurssit

Aikataulu

Hanke käynnistyi 10.3.2021 päättyi 31.8.2022.

Raportointi ja seuranta

Kustannukset ja hankkeen talouden toteuma on esitetty Hyrrään täydennetyssä loppumaksatushakemuksessa. Määrällisten tulosindikaattoreiden seurantaraportti tehtiin niin ikään Hyrräjärjestelmään eikä niitä esitetä tässä raportissa.

Toteutusolelutukset ja riskit

Hankkeelle ei tunnistettu erityisiä riskejä. Laajamittaisiin tutkimuksiin kalojen saaminen on kuitenkin pitkälti riippuvaista ammattikalastajien saaliista, ja tämän vuoksi hankkeen kalanäyteenotto ei aivan toteutunut suunnitelman mukaisena. Näyteaineiston täydentämiseksi osa näytehankinnasta toteutettiin hankehenkilöstön omana pyyntinä. Hankkeen toteutusta lyhennettiin rahoittajan toimesta, joka toi omat haasteensa hankkeen toteuttamiselle vaaditussa aikataulussa.

Hankkeen organisaatio ja resurssit

Hankkeen toteuttaja oli Pyhäjärvi-instituuttisäätiö sr. Hankkeessa työskentelivät toiminnanjohtaja Teija Kirkkala, kehittämisspäällikkö Tero Forsman, talousasiantuntija Jaana Luojus, asiantuntijat Lauri Anttila, Päivi Laine ja Henna Ryömä, erikoistutkija Anne-Mari Ventelä sekä toimistosihteeri Elina Suonpää.

Yhteistyökumppanit

Hanketta täydentävää tutkimustietoa tuotettiin Jyväskylän yliopiston (Dos. Sami Taipaleen tutkimusryhmä) tutkimusrahoituksella lisäten tietoa Pyhäjärven ravintoverkon toiminnasta. Yhteistyö jatkuu hankkeen päättymisen jälkeen. Hankkeessa tehtiin yhteistyötä myös Säskylän Pyhäjärven hoitoyhdistyksen, kalastajien kanssa ja muiden keskeisten sidosryhmien kanssa.

7. Hankkeen vaikuttavuus ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

Hankkeessa on koottu yhteen huomattava määrä keskeistä tietoa Pyhäjärven veden ja eliöstön nykytilasta ja siihen johtaneesta keskipitkän ajan kehityskulusta. Hyvä tietopohja luo perustan tulevan kehityksen ennakoinnille ja joustavien reagointimahdollisuuksien etsimiselle. Hankkeessa tuotettiin uutta tietoa Pyhäjärven eläinplanktonin laadun vaihtelusta kalojen ravintona, kasviplanktonista eläinplanktonille välttämättömien rasvahappojen tuottajana, sekä kalojen rasvahappokoostumuksesta. Lisäksi selvitettiin kuoreen merkitystä ravintoverkon saalistajana. Järven ja sen ravintoverkon tilan ja niihin vaikuttavien tekijöiden tunteminen ja seuraaminen muodostavat kalastoseurannan ja kalataloudenkin pohjan muospaineiden alla olevassa toimintaympäristössä. Hankkeessa myös koostettiin yhteen käytännön tason sopeutumiskeinoja tai ratkaisuehdotuksia ilmastomuutoksen ja rehevöitymiskehityksen mukanaan tuomiin kalatalouden ongelmakohtiin.

Pyhäjärven ravintoverkon vuorovaikutusten syvempi ymmärrys toisi keskeistä tietoa kalastuksen kehittämisen tueksi, kalastuselinkeinon käyttöön ja olisi apuna hoitokalastuksen tulevaisuuden suuntaviivojen määrittämisessä. Esimerkiksi kuoreen saalistuksen vaikutus paikallisesti rehevöitymistä edistävän sulkasääsken kannan vaihteluihin ja populaatorunsauteen olisi tärkeää selvittää hoitokalastuksen vaikutusten ja suunnittelun ymmärtämiseksi.

Ilmastonmuutoksen luomassa elinkeinojen muutospaineessa tietopohjan jatkuva päivittäminen luo edellytyksiä resurssien kestävä ja mukautuvan hyödyntämisen turvaamiselle. Muuttuva kalatalous – hankkeen tulosten perusteella tärkeitä näkökohtia ja jatkotoimenpiteitä ovat esimerkiksi:

- laaja ravintoverkkotason mallinnus esimerkiksi Ecopath-ohjelmistoa käyttäen
- ravintoverkon pohjatasojen laatuun liittyvän tutkimuksen laajentaminen steroleita ja välttämättömiä aminohappoja koskevaksi
- hankkeessa tuotetun aineiston jatkokäyttö tilastollisin analyysein täydennetyksi tutkimusartikkeliksi
- kalojen ravinnonkäyttötutkimusten laajentaminen kattavasti eri vuodenaikoina otetuilla näytteillä
- laajan perustiedonkeruun jatkuvuuden turvaaminen

Kirjallisuusviitteet

- Anttila, L. (2019). Järven rehevyyden vaikutus ahvenen (*Perca fluviatilis*) eri kehitysvaiheiden omega-3 rasvahappokoostumukseen. Pro gradu. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- 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., 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.
- 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.
- 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.
- Kleppel, G. S. (1993). On the diets of calanoid copepods. *Marine Ecology-Progress Series*, 99, 183.
- Luonnonvarakeskus. 2020. Tilastotietokanta, kalankäyttö elintarvikkeeksi. Hakupäivä 31.8.2022.
- Northcote, T. G., & Hammar, J. (2006). Feeding ecology of *Coregonus albula* and *Osmerus eperlanus* in the limnetic waters of Lake Mälaren, Sweden. *Boreal environment research*, 11(3), 229-246.
- Malinen, T., Antti-Poika, P., & Vinni, M. (2011). Sulkasääsken esiintyminen Maarian altaassa. Helsingin yliopisto. Ympäristötieteiden laitos.
- Sairanen S. 2019. Säkylän Pyhäjärven ja Euran Turajärven verkkokoekalastukset vuonna 2019. Luonnonvarakeskus.
- 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.
- 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., 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.
- Taipale, S. J., Ventelä, A. M., Litmanen, J., & Anttila, L. (2022). Poor nutritional quality of primary producers and zooplankton driven by eutrophication is mitigated at upper trophic levels. *Ecology and evolution*, 12(3), e8687.
- 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.