



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 88/2025

Perfluoratut alkyylidisteet elintarviketeollisuuden käyttämässä silakassa ja kasvatetussa kalassa

Loppuraportti

**Panu Rantakokko, Jani Koponen, Merja Häkkinen, Päivi Ruokojärvi,
Mika Laakkonen, Pia Lindberg, Jari Raitaniemi, Hannu Harjunpää,
Jari Setälä ja Susanna Airaksinen**

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 88/2025

Perfluoratut alkyylilyhdisteet elintarviketeollisuuden käyttämässä silakassa ja kasvatetussa kalassa

Loppuraportti

**Panu Rantakokko, Jani Koponen, Merja Häkkinen, Päivi Ruokojärvi,
Mika Laakkonen, Pia Lindberg, Jari Raitaniemi, Hannu Harjunpää,
Jari Setälä ja Susanna Airaksinen**



Maa- ja metsätalousministeriö
Jord- och skogsbruksministeriet
Ministry of Agriculture and Forestry



Viittausohje:

Rantakokko, P., Koponen, J., Häkkinen, M., Ruokojärvi, P., Laakkonen, M., Lindberg, P., Raitaniemi, J., Harjunpää, H., Setälä, J. & Airaksinen, S. 2025. Perfluoratut alkyyliyhdisteet elintarviketeollisuuden käyttämässä silakassa ja kasvatetussa kalassa : Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 88/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 32 s.

Panu Rantakokko ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-8624-1387>



ISBN 978-952-419-134-0 (Verkkojulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-134-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Panu Rantakokko, Jani Koponen, Merja Häkkinen, Päivi Ruokojärvi, Mika Laakkonen, Pia Lindberg, Jari Raitaniemi, Hannu Harjunpää, Jari Setälä ja Susanna Airaksinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisuvuosi: 2025

Kannen kuva: Pia Lindberg

Tiivistelmä

Panu Rantakokko¹, Jari Koponen¹, Merja Häkkinen¹, Päivi Ruokojärvi¹, Mika Laakkonen², Pia Lindberg², Hannu Harjunpää², Jari Setälä³ ja Susanna Airaksinen⁴

¹ Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL), Kuopio

² Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki

³ Suomen kalatalouskehitys, Rymättylä

⁴ Alltech Fennoaqua Oy, Raisio

PFRAAKALA-hankkeessa tutkittiin perfluorattujen alkyyliryhmien (PFAS) esiintymistä elintarviketeollisuuden käyttämässä silakassa ja kasvatetussa kalassa. Hankkeen rahoittajana toimi Maa- ja metsätalousministeriö. Hankkeessa arvioitiin PFAS-yhdisteiden pitoisuuksia Selkämereltä pyydetyn erikokoisen silakan eri fraktioissa, kalajauhoissa, kalarehuissa ja vähittäismyynnistä ostetussa kasvatetussa kalassa. Lisäksi tutkittiin PFAS-yhdisteiden siirtymistä rehusta kasvatetun kalan lihaan, mätään ja sivutuotteisiin.

Silakkanäytteet saatiin kaupallisista troolisaaliista eri kokoluokista Selkämeren eri pyyntialueilta keväällä ja syksyllä 2024. Silakkanäytteet jaoteltiin käyttötarkoituksen mukaan: kalajauhotehtaalle, vientiin ja suoraan kuluttajille meneviin osiin. Silakan fraktioista mitattiin kokonaista silakkaa, filettä, perattua silakkaa ja fileointi-/perkuujätteitä. Kasvatetun kalan näytteet kerättiin markkinoilta ja lisäksi toteutettiin kontrolloitu kasvatuskoe kirjolohilla, joille syötettiin rehuja kolmella eri PFAS-pitoisuudella (matala, keskimääräinen ja korkea). Rehujen PFAS-pitoisuudet säädettiin rehun formulointiin käytetyn kalajauhon PFAS-pitoisuuksien perusteella. Kokeissa käytettiin myös ns. washout-jaksoa, jossa kasvatuksen lopussa käytettiin puhdasta rehua PFAS-pitoisuuksien laskun selvittämiseksi.

PFAS-analyysit suoritettiin akkreditoitulla LC-MS/MS-menetelmällä, joka kattoi EU-asetuksen 2023/915 mukaiset neljä PFAS-yhdistettä ja yhdeksän muuta kalanäytteissä yleisesti esiintyvää yhdistettä. Hankkeen aikana rehunäytteiden analytiikkaa kehitettiin erityisesti uuttotehokkuuden parantamiseksi, jotta tulokset vastaisivat paremmin kalajauhon PFAS-pitoisuuksien ja rehun massaosuuden perusteella laskettuja pitoisuuksia.

Tulosten mukaan silakan PFAS-pitoisuudet vaihtelivat alueittain ja kokoluokittain, mutta lähes kaikki suoraan kuluttajakäyttöön menevä perattu silakka ja silakkafile alitti EU:n enimmäismäärät. Kokonaisessa silakassa ja varsinkin fileointi-/perkuujätteissä pitoisuudet olivat suurempia kuin fileessä, mutta näille fraktioille ei ole enimmäismääriä. Pitoisuuksien alueelliset vaihtelut saman kokoluokan silakassa olivat yllättävän suuria, vaikka pyynti tapahtui lähes samaan aikaan. Kasvatetun kalan fileissä PFAS-pitoisuudet olivat erittäin matalia. Rehun PFAS-pitoisuudet vaikuttivat selvästi fileen pitoisuuksiin, mutta ne pysyivät enimmäismäärien alapuolella myös eniten PFAS-yhdisteitä sisältävää rehua käytettäessä. Verrattuna kirjolohen fileeseen sivutuotteiden PFAS-pitoisuudet olivat 2–3 kertaa korkeampia ja mädissä jopa 30–40 kertaa suurempia. Sivutuotteille ja mädille ei ole asetettu enimmäismääriä.

Asiasanat: PFAS-yhdisteet, Selkämeri, silakka, kasvatettu kala, kalajauho, kalarehu, mäti, elintarviketurvallisuus, LC-MS/MS-analyysi

Abstract

Panu Rantakokko¹, Jari Koponen¹, Merja Häkkinen¹, Päivi Ruokojärvi¹, Mika Laakkonen², Pia Lindberg², Hannu Harjunpää², Jari Setälä³ and Susanna Airaksinen⁴

¹ Finnish Institute for Health and Welfare (THL), Kuopio

² Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki

³ Suomen kalatalouskehitys, Rymättylä

⁴Alltech Fennoaqua Oy, Raisio

In the PFRAAKALA project, the occurrence of perfluoroalkyl substances (PFAS) was investigated in Baltic herring used by the food industry and in farmed fish. The project was funded by the Ministry of Agriculture and Forestry of Finland. The project assessed PFAS concentrations in different fractions of herring of various sizes caught in the Bothnian Sea, in fishmeal, in fish feeds, and in farmed fish purchased from retail markets. In addition, the transfer of PFAS from feed into farmed fish muscle, roe, and by-products was studied.

Herring samples were obtained from commercial trawl catches of different size classes from various fishing areas in the Bothnian Sea in spring and autumn 2024. The samples were divided according to end use: to fishmeal plants, for export, and for direct consumer use. The herring fractions analyzed included whole fish, fillets, gutted herring, and filleting/processing residues. Farmed fish samples were collected from the market, and in addition, a controlled feeding trial was conducted with rainbow trout, which were fed diets with three different PFAS concentrations (low, medium, and high). The PFAS concentrations of the feeds were adjusted based on the PFAS concentrations in the fishmeal used in feed formulation. The experiments also included a so-called washout period, during which clean feed was used at the end of the trial to examine the decrease in PFAS concentrations.

PFAS analyses were carried out using an accredited LC-MS/MS method, which covered the four PFAS compounds regulated under EU Regulation 2023/915 and nine other PFAS compounds commonly found in fish samples. During the project, feed sample analysis was further developed, particularly to improve extraction efficiency, so that the results would better reflect PFAS concentrations calculated from fishmeal PFAS levels and the proportion of fishmeal in the feed.

According to the results, PFAS concentrations in herring varied by area and size class, but almost all gutted herring and fillets intended for direct consumer use were below EU maximum levels. Whole herring, and especially filleting/processing residues, had higher concentrations than fillets, but no maximum levels have been set for these fractions. Regional variation in PFAS concentrations within the same size class of herring was surprisingly large, even though the fishing took place almost simultaneously. In farmed fish fillets, PFAS concentrations were very low. Feed PFAS concentrations clearly affected PFAS levels in fillet, but they remained below maximum limits even when the feed with the highest PFAS concentrations was used. Compared to rainbow trout fillets, PFAS levels in by-products were 2–3 times higher and in roe up to 30–40 times higher. No maximum levels have been set for by-products or roe.

Asiasanat: PFAS compounds, Bothnian Sea, Baltic herring, farmed fish, fishmeal, fish feed, roe, food safety, LC-MS/MS analysis

Lyhenteet

PFHxA	Perfluoriheksaanihappo
PFHpA	Perfluoriheptaanihappo
PFOA	Perfluorioktaanihappo
PFNA	Perfluorinonaanihappo
PFDA	Perfluoridekaanihappo
PFUnA	Perfluoriundekaanihappo
PFDoA	Perfluoridodekaanihappo
PFTTrA	Perfluoritridekaanihappo
PFTeDA	Perfluoritetradekaanihappo
PFHxS	Perfluoriheksaanisulfonihappo
PFHpS	Perfluoriheptaani sulfonihappo
PFOS	Perfluorioktaani sulfonihappo
PFDS	Perfluoridekaani sulfonihappo

Sisällys

1. Johdanto	7
1.1. PFAS-yhdisteet ja niiden terveysriskit.....	7
1.2. Kalan ja kalatuotteiden raja-arvot.....	7
1.3. Aikaisemmat silakan ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuuksia selvittävät hankkeet.....	8
1.4. PFAS-yhdisteiden siirtyminen rehusta kasvatettuun kalaan	10
1.5. PFRAAKALA-hankkeen tavoitteet.....	10
2. Näytteenotto, kasvatuskokeet ja analyysit.....	11
2.1. Silakan näytteenotto	11
2.2. Kasvatetun kalan näytteenotto kaupan olevasta kalasta	12
2.3. Kirjolohen kasvatuskokeet	12
2.4. Näytteiden esikäsittely.....	13
2.5. PFAS-analyysit ja tulosten käsittely	13
2.5.1. Kalan liha- ja mätinäytteiden PFAS-analyysit.....	13
2.5.2. Kalajauhon ja -rehun PFAS-analyysit	13
3. Tulokset.....	15
3.1. Silakan toteutunut näytteenotto ja kalojen ominaisuudet.....	15
3.2. Silakan PFAS-pitoisuudet.....	17
3.3. Kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet.....	21
3.4. Kalajauhon, -rehun ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet.....	22
4. Tulosten tarkastelu	26
4.1. Silakan PFAS-pitoisuuksien vaihtelu ja trendit	26
4.2. Kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet.....	27
4.3. Kalajauhon, kalarehun ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet kasvatuskokeissa.....	27
5. Yhteenveto ja johtopäätökset	28
Viitteet.....	30
Liite	32

1. Johdanto

1.1. PFAS-yhdisteet ja niiden terveysriskit

PFAS-yhdisteitä eli per- ja polyfluorattuja alkyyliryhmiä käytetään lukemattomissa teollisuus- ja kuluttajatuotteissa esimerkiksi niiden kitkaa alentavien, vettä, likaa ja rasvaa hylkivien sekä kylmää, kuumaa ja erilaisia kemikaaleja kestävien ominaisuuksien vuoksi. Varsinaisten lopputuotteiden lisäksi PFAS-yhdisteillä ja ns. fluoripolymeereillä on suuri merkitys monien tuotteiden valmistuksessa. PFAS-yhdisteiden lukumäärä on määritelmästä riippuen (OECD 2021) jopa miljoonia (PubChem 2025). Yksi tärkein PFAS-yhdisteisiin ja fluoripolymeereihin liittyvistä huolenaiheista on, että huolimatta niiden suuresta määrästä ja useimpien pienistä pitoisuuksista, niiden oletetaan lopulta hajoavan huomattavasti pienemmäksi joukoksi erittäin pysyviä pienimolekyylisiä lopputuotteita, joiden pitoisuudet saattavat nousta huomattavan suuriksi. Tästä syystä viisi EU:n jäsenmaata jätti helmikuussa 2023 Euroopan Kemikaalivirastolle (ECHA) erittäin laajan PFAS-yhdisteiden rajoitusehdotuksen (ECHA 2023). Ehdotukseen tuli 5600 tieteellistä ja teknistä kommenttia, joiden läpikäynnin seurauksena se päivitettiin elokuussa 2025 (ECHA 2025).

Terveysvaikutusten osalta vain hyvin pientä määrää PFAS-yhdisteitä on tutkittu kunnolla. EFSA julkaisi 2020 riskinarvioinnin, joka koski neljän PFAS-yhdisteen saantia ravinnosta (EFSA 2020). Σ PFAS4:ään kuuluivat perfluorioktaanisulfonaatti (PFOS), perfluorioktaanihappo (PFOA), perfluorinonaanihappo (PFNA) ja perfluoriheksaanisulfonaatti (PFHxS). Arvion mukaan matalimilla pitoisuuksilla tapahtuva haittavaikutus oli 1-vuotiaan lapsen rokotevasta-aineiden muodostumisen heikentyminen, kun seerumin Σ PFAS4 ylittää 17,5 ng/ml. Tästä pitoisuudesta johdettiin aikuiselle siedettäväksi viikkosaanniksi (Tolerable Weekly Intake, TWI) 4,4 ng painokiloa kohti viikossa. Suomessa eri elintarvikeryhmistä kalanliha, hedelmät ja hedelmätuotteet ja kananmunat ovat tärkeimmät saantilähteet. THL mittasi yhteensä 300 vuoden 2019 aikana 1 vuotta täyttäneestä lapsesta Σ PFAS4 pitoisuudet. Pitoisuudet olivat keskimäärin vain 3,6 ng/ml ja koko aineistossa vain yhden lapsen Σ PFAS4 pitoisuus ylitti 17,5 ng/ml. Suomessa altistuminen 4 tutkitulle PFAS-yhdisteelle ei siis aiheuta terveyshuolia.

1.2. Kalan ja kalatuotteiden raja-arvot

EU asetti vuoden 2023 alusta asetuksessa (EU) 2023/915 enimmäismäärät tiettyjen elintarvikkeiden PFOA-, PFNA-, PFHxS- ja PFOS-pitoisuudelle sekä näiden summapitoisuudelle (Euroopan komissio 2023). Kalan lihalle asetettiin kolme erillistä raja-arvoa kalalajista ja kalan käyttökohteesta riippuen. Kasvatettu kala, kuten kirjolohi, kuuluu Taulukon 1 matalimpien enimmäismäärien ryhmään 1. Muut lajit kuuluvat ryhmään 2 tai 3 riippuen datasta, jonka jäsenmaat toimittivat komissiolle asetuksen (EU) 2023/915 laadintavaiheessa.

Taulukko 1. PFAS-yhdisteiden enimmäismääristä ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tuorepainoa) kalan lihaksessa. Taulukossa mainittu vain Suomen kannalta tärkeimmät kalalajit.

PFAS-yhdiste	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	ΣPFAS4
Ryhmä 1: Yleinen kalanlihan enimmäismäärä, sekä kalanliha imeväisten ja pikkulapsien elintarvikkeiden valmistukseen	2,0	0,20	0,50	0,20	2,0
Ryhmä 2: Silakka, kilohaili, jne., kun se ei ole tarkoitettu imeväisten ja pikkulapsien elintarvikkeiden valmistukseen	7,0	1,0	2,5	0,20	8,0
Ryhmä 3: Lahna, kuha, ahven, särki, kuore, siika, jne., kun se ei ole tarkoitettu imeväisten ja pikkulapsien elintarvikkeiden valmistukseen	35	8,0	8,0	1,5	45

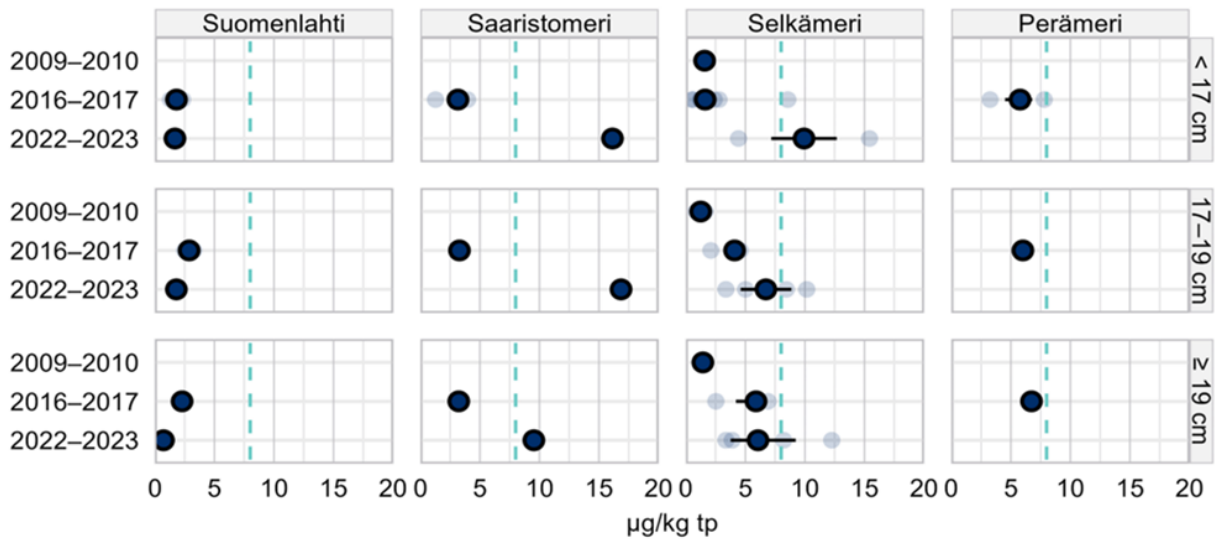
Asetuksen (EU) 2023/915 mukaan kalaa, joka ei ole sen liitteessä I vahvistettujen enimmäismäärien mukaista, ei saa käyttää elintarvikkeena eikä elintarvikkeiden ainesosina. Kalatuotteisiin (kuivattuihin, laimennettuihin, jalostettuihin ja/tai useista ainesosista koostettuihin elintarvikkeisiin) sovelletaan asetuksen 3 artiklan 1 ja 2 kohtaa, jonka mukaan kalatuotteiden enimmäismäärä lasketaan kalanlihan enimmäismääristä mm. kuivatus- tai laimennusprosessista tai jalostamisesta aiheutuvat vierasainepitoisuuden muutokset huomioiden.

Kalajauholla ja kalan rehulle ei ole asetettu vielä raja-arvoa. Komissio kerää dataa raja-arvoja asettamista varten.

1.3. Aikaisemmat silakan ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuuksia selvittävät hankkeet

EU-kalat IV hankkeen mukaan silakan PFAS-pitoisuudet vaihtelevat huomattavasti merialueesta ja kokoluokasta riippuen. Saaristomerellä ja Selkämerellä pitoisuudet ovat myös nousseet jatkuvasti vuoden 2009 jälkeen.

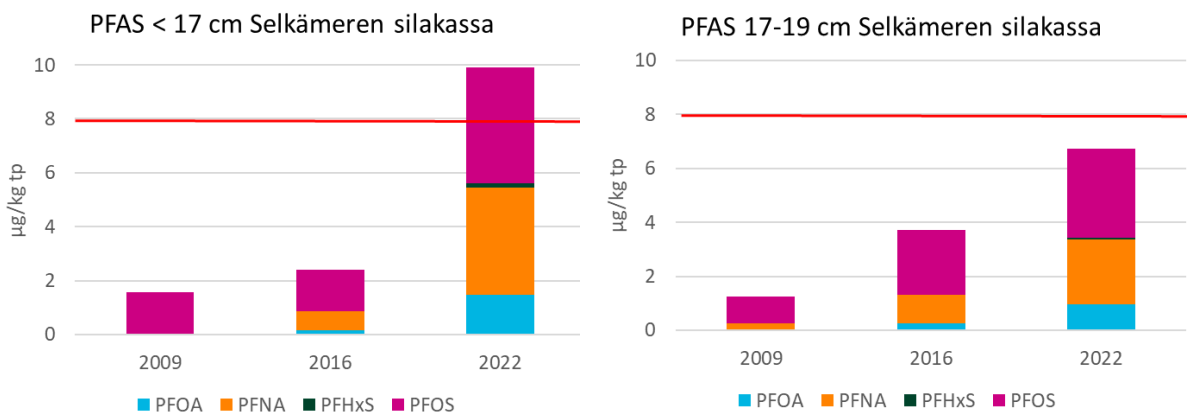
Toisin kuin dioksiini- ja PCB-yhdisteiden tapauksessa, silakan PFAS-yhdisteiden pitoisuudet eivät nouse yhtä johdonmukaisesti kalan pituuden kasvaessa. EU-kalat IV hankkeessa suurimmat ΣPFAS4 pitoisuudet 15–17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ havaittiin Saaristomeren ja Selkämeren keskipituudeltaan 17–18 cm kokoomanäytteistä. Yli 19 cm silakassa pitoisuudet olivat pienempiä (Kuva 1), vaikka toisaalta on huomattava, että otos oli melko pieni (Suomi ym. 2024).



Kuva 1. Silakan ΣPFAS4 pitoisuudet eri kokoluokissa ja merialueilla EU-kalat II – IV hankkeissa. PFAS-yhdisteiden pitoisuudet (µg/kg tuorepaino) silakassa eri merialueilla ja kokoluokissa vuosina 2009–2023. Tummat ympyrät edustavat kokoomanäytteiden keskipitoisuuksia, vaaleat ympyrät yksittäisten kokoomanäytteiden pitoisuuksia ja viivat keskihajonnan. Pystysuuntainen katkoviiva kuvaa EU:n enimmäismäärää PFAS-yhdisteille.

PFAS-pitoisuuksien nousu johtuu merkittävältä osin siitä, että vielä 2009 PFOA:n ja PFNA:n pitoisuudet olivat määritysrajan tuntumassa tai sen alle, mutta vuonna 2023 PFNA:n pitoisuudet olivat yleisesti samaa luokkaa kuin vielä 2009 täysin dominoineella PFOS:illa (Kuva 2).

Ruokaviraston mittausten perusteella suomalaisessa kalajauhossa ΣPFAS4-pitoisuudet ovat välillä 40–80 µg/kg.



Kuva 2. Kokoomanäytteiden ΣPFAS4:n ja eri PFAS-yhdisteiden keskipitoisuudet Selkämeren eri kokoisissa silakoissa EU-kalat II – IV hankkeissa. Punaisella viivalla on merkitty asetuksen (EU) 2023/915 mukainen ΣPFAS4-pitoisuuden enimmäisarvo.

1.4. PFAS-yhdisteiden siirtyminen rehusta kasvatettuun kalaan

Eri PFAS-yhdisteiden jakautuminen kalan kudoksiin vaihtelee jonkin verran kalalajeittain, mutta yleisesti PFAS-yhdisteiden pitoisuudet ovat suurimmat maksassa, veressä ja munuaisissa, mutta lihassa huomattavasti pienemmät (Shi ym. 2012, Cao ym. 2022). Saksalaisessa kirjolohen syöttökokeessa, missä käytettiin verraten korkeilla PFAS-pitoisuuksilla spiiikkattua rehua, PFAS-yhdisteiden pitoisuudet ylittivät selvästi asetuksen (EU) 2023/915 enimmäismäärät vielä pitkään sen jälkeen, kun oli siirrytty spiiikkaamattoman rehun käyttöön (Falk ym. 2015). Suomalaisessa kontekstissa olisi tärkeää tietää, miten Itämeren verraten runsaasti PFAS-yhdisteitä sisältävästä kalasta valmistetut kalajauhot vaikuttavat siitä valmistettavan rehun ja edelleen kirjolohen PFAS-pitoisuuksiin. Lisäksi kalan mädistä pitoisuuksia ei ole aiemmin tutkittu ja markkinoille tuodun kasvatetun kalan pitoisuuksista on toistaiseksi niukasti tietoa.

1.5. PFRAAKALA-hankkeen tavoitteet

PFRAAKALA-hankkeen tavoitteet olivat seuraavat:

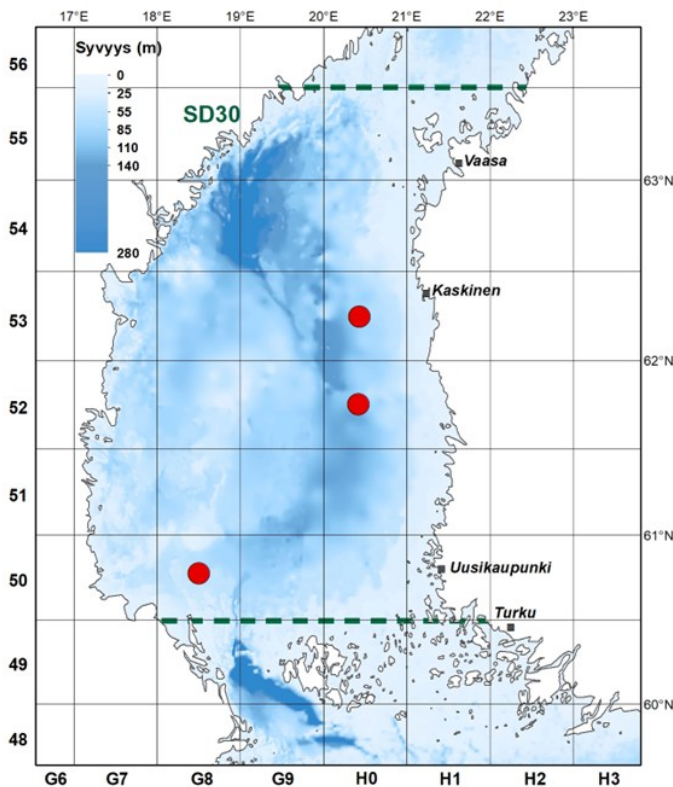
- 1) Mitataan PFAS-yhdisteet keväällä ja syksyllä Uuteenkaupunkiin ja Kaskisiin puretusta koneellisesti lajitellusta/käsitellystä silakasta, jota käytetään rehu- ja elintarviketeollisuuden raaka-aineena. Näytteet otetaan kolmesta "linjasta", joiden avulla selvitetään:
 - a) Kalajauhotehtaalalle tai rehukeskukselle menevän kokonaisen silakan PFAS-pitoisuudet.
 - b) Vientiin menevän kokonaisen silakan PFAS-pitoisuudet.
 - c) Suoraan kuluttajille tai elintarviketeollisuuden jatkojalostukseen menevän silakkafileen tai peratun silakan lihan PFAS-pitoisuudet.
- 2) Mitataan PFAS-yhdisteiden pitoisuus Suomessa kasvatetussa kirjolohen ja siian lihaksessa markkinoilta kerättävistä kalanäytteistä ja verrataan PFAS-pitoisuuksia asetuksen (EU) 2023/915 enimmäismääriin.
- 3) Tutkitaan kirjolohen lihaksen, mädin ja fileointijäännöksen PFAS-yhdisteiden pitoisuus kalalla, joka on kasvatettu viimeisen 2 kuukauden ajan kolmella tunnetulla rehun PFAS-pitoisuudella. Tarkoituksena on tuottaa tietoa kalajauhon ja siitä valmistetun rehun turvallisuudesta PFAS-pitoisuudesta tilanteessa, missä niiden raja-arvoja ei ole vielä asetettu. Tätä varten otetaan suurimman mahdollisen PFAS-kontaminaation kalajauhoerä, josta tehdään laimennuksia puhtaalla rehulla niin, että voidaan arvioida kasvavasti PFAS-yhdisteillä kontaminoituneesta rehusta kalaan siirtyvien PFAS-yhdisteiden pitoisuudet.

2. Näytteenotto, kasvatuskokeet ja analyysit

Näytteenotto ja analyysi suoritettiin asetuksen (EU) 2022/1428 (Euroopan komissio 2022) mukaisesti huomioiden hankkeen erityispiirteet.

2.1. Silakan näytteenotto

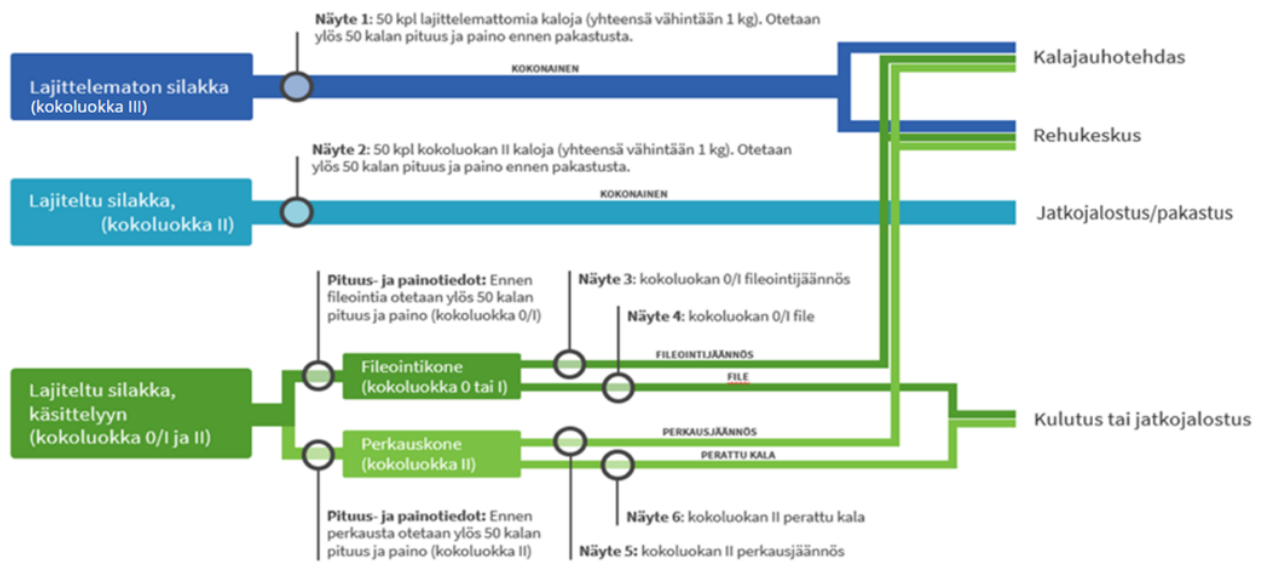
Silakanäytteet kerättiin kaupallisen troolikalastuksen saaliista keväällä ja syksyllä ICES SD30 alueen kolmelta eri pyyntiruudulta (53H0, 52H0 ja 50G8) (Kuva 3).



Kuva 3. Silakanäytteiden pyyntiruudut 53H0, 52H0 ja 50G8.

Silakan näytteenotto suoritettiin Kaskisten ja Uudenkaupungin kalasatamissa (SD 30) helmikuusta ja marraskuussa 2024. Tavoitteena oli näytteenotto, missä kalat otettiin loppukäytön suhteen kolmesta eri linjasta silakan lajittelulaitoksilla vallitsevan pituusluokkalajittelun perusteella (Kuva 4).

- 1) Kokoluokan III pienikokoinen lajittelematon kokonainen silakka (pituus noin 9–12 cm), joka menee suoraan kalajauhotehtaalle tai elintarvikekäyttöön (50 kpl tai vähintään 1 kg).
- 2) Kokoluokan II (lajiteltu kokonainen silakka (pituus noin 12–15 cm), joka menee vientiin (50 kpl tai vähintään 1 kg).
- 3) Kokoluokan 0/I fileointikoneelle (pituus noin 17–19 cm/15–17 cm) menevät ja kokoluokan II käsin perattava –silakka (50 kpl/kokoluokka). Molemmista kokoluokista analysoidaan erikseen:
 - a) Kulutukseen tai jatkojalostukseen menevien fileiden/peratun kalan kokoomanäyte.
 - b) Kalajauhotehtaalle tai rehukeskukseen menevä fileointi- ja perkausjäännöksen kokoomanäyte



Kuva 4. Silakan näytteenotto ja käsittely eri kokoluokissa helmi- ja marraskuussa 2024 Uuteenkaupunkiin ja Kaskisiin landatusta saaliista. Kokoomanäytteiden kokonaismäärä oli $4 \times 6 = 24$. Silakoiden kokoluokkien näytekohdaiset pituudet (min-max): 0/1 = 153–217 mm, II = 130–183 mm ja III = 87–176 mm.

2.2. Kasvatetun kalan näytteenotto kaupan olevasta kalasta

Näytteet Suomessa kasvatetusta kirjolohesta ja siiasta kerättiin kaupan eri kalaeristä joulukuussa 2023 ja syyskuun alussa 2024 täytäntönpäätöksen (EU) 2022/1428 mukaisin menetelmin (Euroopan komissio 2022). Kokoomanäytteet tehtiin ottamalla 4 kasvatuserästä 3 keskikokoista kalaa/erä. Lihasnäytteet otettiin koko kalan mittaisen fileen keskikohdasta selkävän kohdalta noin 100 g:n medaljonkina, joista koostetaan vähintään 1 kg painoinen syötävän osan kokoomanäyte. Yhteensä kasvatetun kalanlihan kokoomanäytteitä tuli 4 kpl (2 * kirjolohi + 2 * siika). Lisäksi otettiin 1 kpl kirjolohen mädin kokoomanäyte.

2.3. Kirjolohen kasvatuskokeet

Kalat kasvoivat ensimmäisen merikasvukauden 2023 kaupallisella rehulla verkkoaltaissa Rymättylässä normaalien kasvatuskäytäntöjen mukaisesti. Toisen kasvukauden 2024 alkaessa kalat nukutettiin ja rehukäsittelyihin valittiin kalat, joiden odotettiin ulkoiseen arviointiin perustuen tuottavan mätiä kasvukauden aikana. Kalat jaettiin kolmeen verkkoaltaaseen, joista kuhunkin laitettiin 56 satunnaisesti valittua kalaa, eri rehukäsittelyä varten. Kalojen keskipaino ruokinnan alkaessa oli 900 g. Yhteensä altaita oli siis kolme kappaletta.

Kokeelliset rehut formuloitiin kalajauhon PFAS-pitoisuuteen perustuen. Kaikissa rehuissa käytettiin tavanomaista korkeampaa kalajauhon kokonaispitoisuutta (30 %). Suurin mahdollinen PFAS-pitoisuus rehussa (H-PFAS) saavutettiin käyttämällä rehussa kalajauhoa, jonka PFAS-pitoisuus vastaa korkeimpia pitkäaikaisseurannoissa havaittuja itämerikalajauhon pitoisuuksia (korkea kalajauhopenitoisuus, jossa korkea PFAS-pitoisuus). Toisessa rehussa PFAS pitoisuus formuloitiin keskimääräiseksi puolittamalla laskennallinen PFAS-pitoisuus korvaamalla puolet edellä mainitusta kalajauhosta kalajauholla, jonka PFAS-pitoisuus oli hyvin alhainen (M-PFAS) ja kolmannessa matala PFAS-pitoisuus saavutettiin käyttämällä ainoastaan kalajauhoista

jälkimmäistä (L-PFAS). Yhteenvedona L-PFAS rehu sisälsi 30 m-% Low PFAS kalajauhoa, M-PFAS rehu sisälsi vastaavasti 15 m-% L-PFAS ja 15 m-% H-PFAS kalajauhoa ja H-PFAS rehu sisälsi 30 m-% High PFAS kalajauhoa.

Kaloja kasvatettiin kuuden kuukauden ajan eli koko toinen kasvukausi näillä rehuilla (8.5.–28.11.2024). Kaloja ruokittiin ruokahalun mukaan korkeimmissa lämpötiloissa rajoittaen. Kokeen päättyessä kalat lopetettiin ja niiden paino, perkuusaanto, mätiprosentti (GSI %), ja makrosaprosentti (HSI%) rekisteröitiin yksilöittäin. Näytteet koostettiin ottamalla kustakin verkkoaltaasta kaksi kolmen kalan kokoomanäytettä, joten kustakin käsittelystä syntyi kaksi rinnakkaista näytettä kustakin näytetyypistä (filee, fileointijäännös ja mäti). Yhteensä kasvatetun kalan kokoomanäytteitä tuli 18 kpl [2 rinnakkaista * 3 pitoisuutta * 3 kudosta (filee + fileointijäännös + mäti)]. Lisäksi PFAS-pitoisuudet määritettiin rehunäytteistä H-PFAS, M-PFAS ja L-PFAS (3 kpl) sekä rehujen valmistuksen käytetystä kalajauhusta (2 kpl).

Alkuperäisen tutkimussuunnitelman lisäksi syyskuussa neljän kuukauden kasvatuksen jälkeen 20 H-PFAS-rehulla kasvatettua kalaa siirrettiin uuteen altaaseen, jota ruokittiin kokeen loppuun saakka puhtaimmalla L-PFAS rehulla noin kahdeksan viikon ajan, eli suoritettiin ns. washout-jakso. Washout-jakson alussa otettiin 3 rinnakkaista kalaa, joista tehtiin fileen kokoomanäyte. Washout-jakson lopussa altaasta otettiin 2 x 3 kalaa vastaavasti kuin edellä ja näistä tehtiin 2 rinnakkaista kokoomanäytettä fileestä, fileointijäännöksestä ja mädistä.

2.4. Näytteiden esikäsittely

Näytteenottolomakkeille kirjattiin silakoiden kalakohtaiset pituus ja painot ja laskettiin kunto-kertoimet. Lisäksi laskettiin samojen suureiden keskiarvot kokoomanäytteille. Lopulliset kokoomanäytteet koostuvat joko koko kalasta, lihasta tai perkuu- ja fileointijäännöksestä, jotka THL homogenisoi. THL homogenisoi myös kirjolohen ja siikojen ”medaljongit/poikkileikkaukset” sekä fileointijäännökset. Kaikki fileointi- ja perkuujäännösten (silakka ja kasvatettu kala) kokoomanäytteet kylmäkuivattiin ja määritetään kuiva-aine-%, koska teollisessa käsittelyssä voi olla vaihtelevasti erilaisia huuhteluja, jotka muuttavat jäännösten kosteutta.

2.5. PFAS-analyysit ja tulosten käsittely

2.5.1. Kalan liha- ja mätinäytteiden PFAS-analyysit

PFAS-yhdisteet uutettiin kylmäkuivatuista kala- ja mätinäytteistä metanoliin, uute puhdistettiin saostamalla häiriötekijät ammoniumasetaatilla ja PFAS-yhdisteet määritettiin LC-MS/MS laitteella (Koponen ym. 2015). Menetelmä on akkreditoitu tutkittaville matriiseille (ISO/IEC 17025:2017). Määritettävät yhdisteet ovat asetuksen (EU) 915/2023 mukaiset PFAS-yhdisteet (PFOA, PFNA, PFHxA, PFOS) ja lisäksi 9 muuta kalanäytteissä yleisimmin esiintyvää PFAS-yhdistettä (PFHxA, PFHpA, PFDA, PFUnA, PFDoA, PFTrA, PFTeDA, PFHpS, PFDS), joiden täydelliset nimet on mainittu tämän raportin lopussa lyhenteissä. Menetelmä ja yhdisteet ovat samat kuin EU-kalat IV-hankkeessa.

2.5.2. Kalajauhon ja -rehun PFAS-analyysit

Kalajauho- ja rehunäytteet määritettiin aluksi muuten vastaavalla menetelmällä kuin kalan liha- ja mätinäytteet, mutta uuttoliuottimena käytettiin asetonitriiliin ja ammoniun asetaatin

seoksella. Tällä menetelmällä kuitenkin havaittiin, että kalanrehusta mitatut PFAS-pitoisuudet olivat liian pieniä suhteessa sen valmistukseen käytetystä kalajauhosta mitattuihin PFAS-pitoisuuksiin ja jauhun massaosuuteen rehussa. Todennäköisin syy oli kalanrehun valmistuksessa nappuloiden pintaa jäävä rasva, jonka sisälle jääviä PFAS-yhdisteitä asetonitrilipohjainen uuttoliuotin ei kyennyt vapauttamaan täydellisesti. Tästä syystä kalanrehun uutomenetelmää kehitettiin suorittamalla kalanrehulle ylimääräinen esikäsitteily ennen uuttoa. Samaa esikäsitteilyä päädyttiin käyttämään myös kalajauhojen uutossa. Tehdyt muutokset paransivat erityisesti kalanrehun uutotehokkuutta niin, että kalajauhon ja rehun pitoisuudet vastasivat paremmin laskennallisia massaosuuksia.

3. Tulokset

3.1. Silakan toteutunut näytteenotto ja kalojen ominaisuudet

Silakan näytteenotto toteutui varsin hyvin kuvan 4 suunnitelman mukaisesti. On kuitenkin huomioitava, että keskipituudet asettuivat paikoin kokoluokituksen ala- ja ylärajan molemmille puolille, mikä johtui lajittelukoneen asetuksista lajitella silakat ruumiin paksuuden, eikä pituuden perusteella, sekä saaliin keskimääräisen koon ollessa melko suurta. Taulukossa 2 on perustiedot kerätyistä näytteistä mukaan lukien kokoomanäytteiden kalojen pituuden, painon ja kuntokertoimien keskiarvot ja liitteessä 1 näytekohtaisien pituuksien keskihajonta. Lajittelemattoman silakan näytteenotossa oli muutamia poikkeamia, esim. Kaskisilta keväällä otettujen kalojen pituuksia ja painoja ei ollut kirjattu ja Kaskisen syksyn näytteet todennäköisesti eivät olleet lajittelemattomia. Liitteessä 1 on kooste silakkanäytteiden niiden 11 PFAS-yhdisteen tuloksista, joiden pitoisuus ylitti määritysrajan ainakin yhdessä näytteessä.

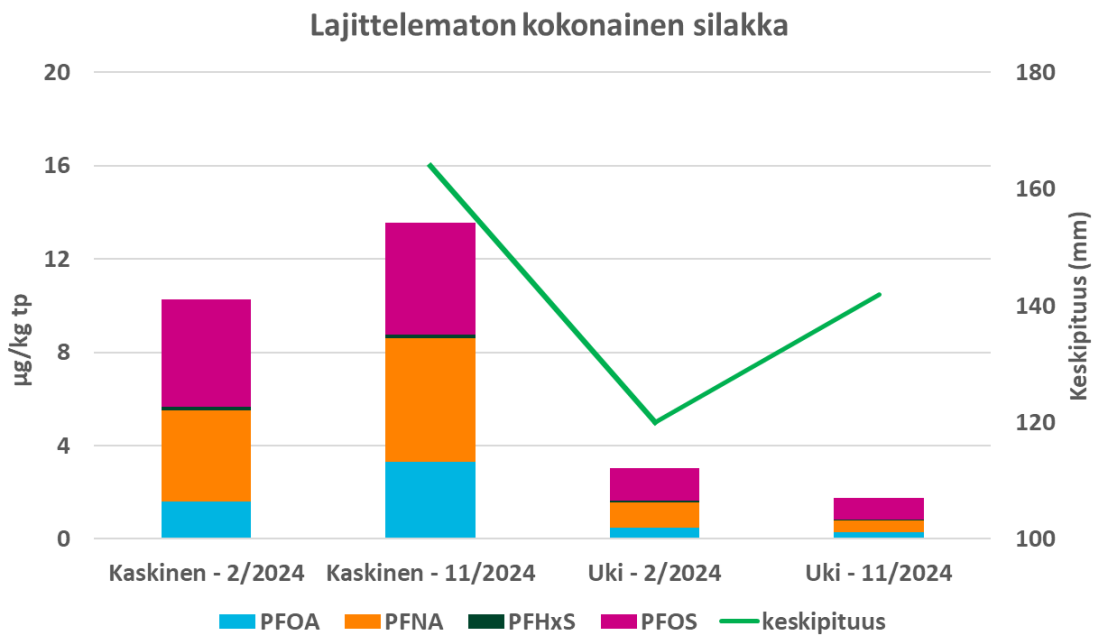
Taulukko 2. Kaskisista ja Uudestakaupungista keväällä ja syksyllä 2024 pyydettyjen näytteiden pyyntiaika, pyyntipaikka sekä pituuden, painon ja kuntokerroinmen keskiarvot kokoomanäytteissä.

Näyte	Landauspaikka	Pyyntipäivä	ICES pyyntiruutu	Pituus ka. (mm)	Paino (g)	Kuntokerroin ka.
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu (*)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	-	-	-
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu (#)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	164	29	0,65
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu (&)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	120	11	0,62
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu (£)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	145	19	0,63
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	165	35	0,78
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II) (\$)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	167	29	0,62
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	156	24	0,64
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	164	29	0,66
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (1)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	181	39	0,65
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (2)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	184	43	0,67
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (3)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	184	41	0,65
Silakkafile (kokolk. 0 file) (4)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	185	44	0,69
Perattu silakka (kokolk. II) (A)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	164	28	0,62
Perattu silakka (kokolk. II) (\$) (B)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	167	29	0,62
Perattu silakka (kokolk. II) (C)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	158	25	0,63
Perattu silakka (kokolk. II) (D)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	166	29	0,64
Fileointijäännös fileestä (1)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	181	39	0,65
Fileointijäännös fileestä (2)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	184	43	0,67
Fileointijäännös fileestä (3)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	184	41	0,65
Fileointijäännös fileestä (4)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	185	44	0,69
Perkausjäännös (A)	Kaskinen	15.2.2024	53H0	164	28	0,62
Perkausjäännös (\$) (B)	Kaskinen	25.11.2024	53H0	167	29	0,62
Perkausjäännös (C)	Uusikaupunki	15.2.2024	52H0	158	25	0,63
Perkausjäännös (D)	Uusikaupunki	27.11.2024	50G8	166	29	0,64

(*) Yksittäisistä kaloista ei kirjattu pituutta ja painoa; (#) Yksittäisten silakoiden lkm kokoomanäytteessä 36, keskipituuden perusteella näytteenotto ei todennäköisesti ollut lajittelematon; (&) Yksittäisten silakoiden lkm kokoomanäytteessä 86; (£) keskipituuden perusteella näytteenotto ei välttämättä ollut lajittelematon; (\$) Näitä kaloja käytettiin myös perattujen kalojen ja perkausjäännöksen näytteisiin.

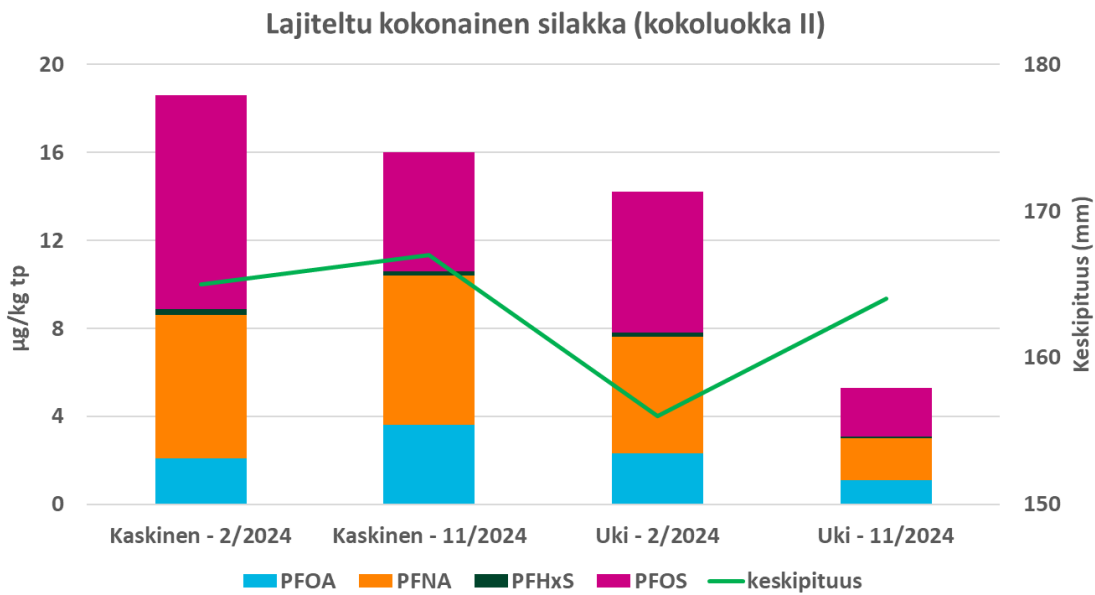
3.2. Silakan PFAS-pitoisuudet

Alla olevissa kuvissa on kokoomanäytteiden PFAS4-yhdisteiden pitoisuudet ja silakoiden keskipituus. Syksyn näytteenotossa oli jonkin verran kokoeroa lajittelemattomassa kokonaisessa silakassa alueiden välillä (Kaskinen 164 mm, Uusikaupunki 145 mm), mutta pitoisuuserot olivat tämänkin huomioiden suuria (Kuva 5). Kumpikin Kaskisten näyte on samasta pyyntiruudusta (53H0). Uudenkaupungin keväänäyte on viereisestä pyyntiruudusta (52H0), mutta syysnäyte on Ruotsin rannikon läheisestä pyyntiruudusta (50G8).



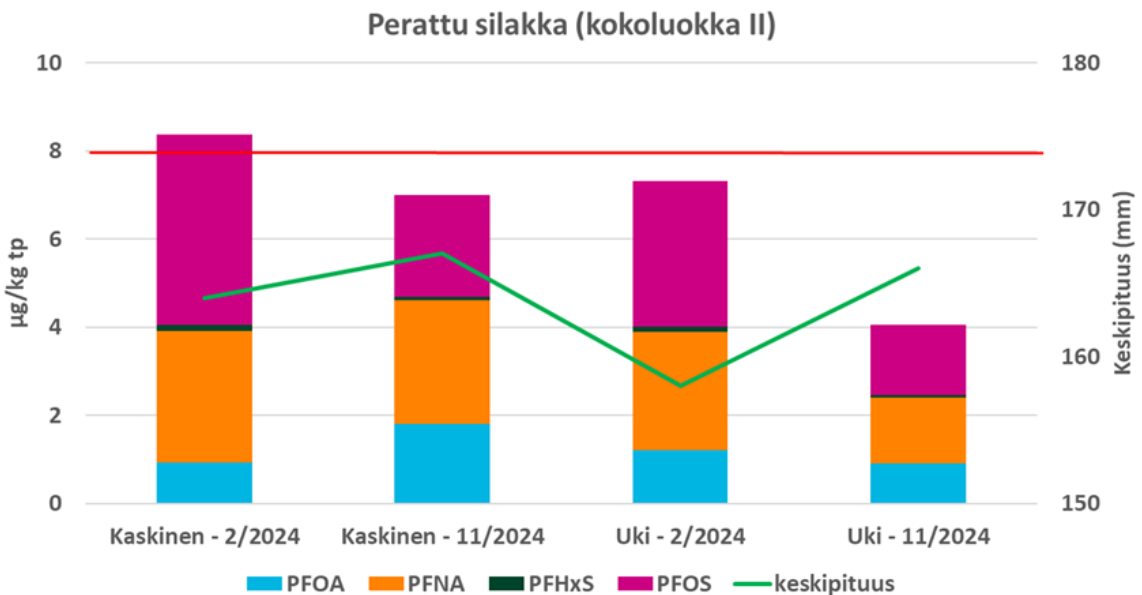
Kuva 5. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet lajittelemattomasta kalajauhoon tai lajitteelukeskukseen menevästä kalasta.

Kokoluokkaan II lajitellut kokonaiset silakat olivat verraten samankokoisia (156 mm – 167 mm), mutta siitä huolimatta pitoisuuserot olivat suuria (Kuva 6). Ruotsin läheltä ruudusta 50G8 pyydetyn syysilakan ΣPFAS4 (5,3 µg/kg tp) oli vain kolmasosa verrattuna Selkämeren pohjoisosan ruudusta 53H0 pyydetyn ΣPFAS4:ään (16,0 µg/kg tp).

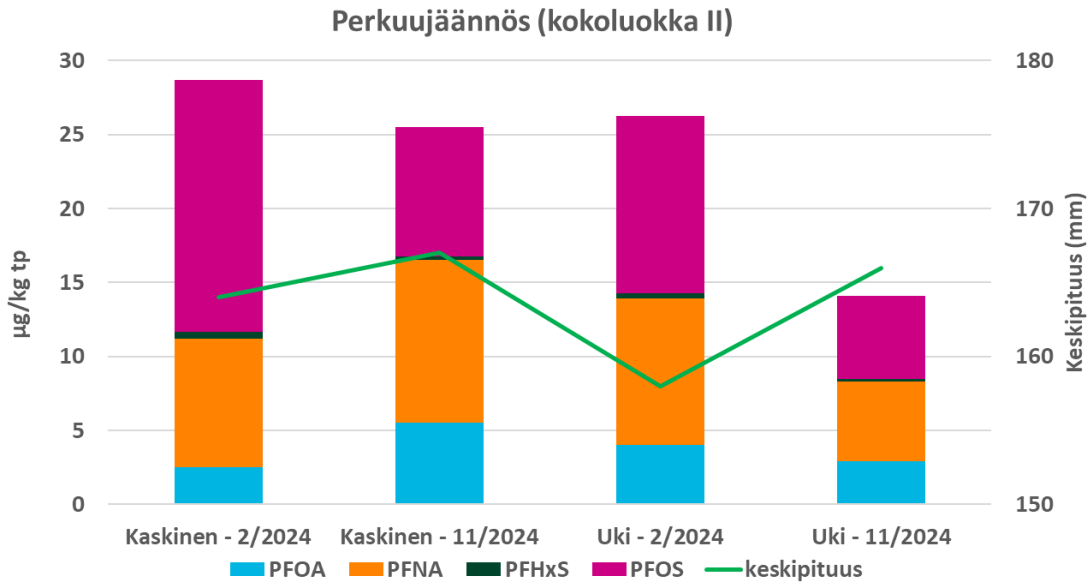


Kuva 6. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet lajitellussa kokoluokan II silakassa.

Peratun silakan pituus vaihteli 158 mm – 166 mm välillä ja pitoisuudet olivat melko lähellä enimmäismäärää Suomen merialueen pyyntiruutujen 53H0 ja 52H0 kaloissa. Ruotsin puolen ruudussa 50G8 pitoisuudet olivat noin puolet Suomenpuoleisen Selkämeren pitoisuuksista (Kuva 7). Perkuujäännöksissä oli sama trendi (Kuva 8).

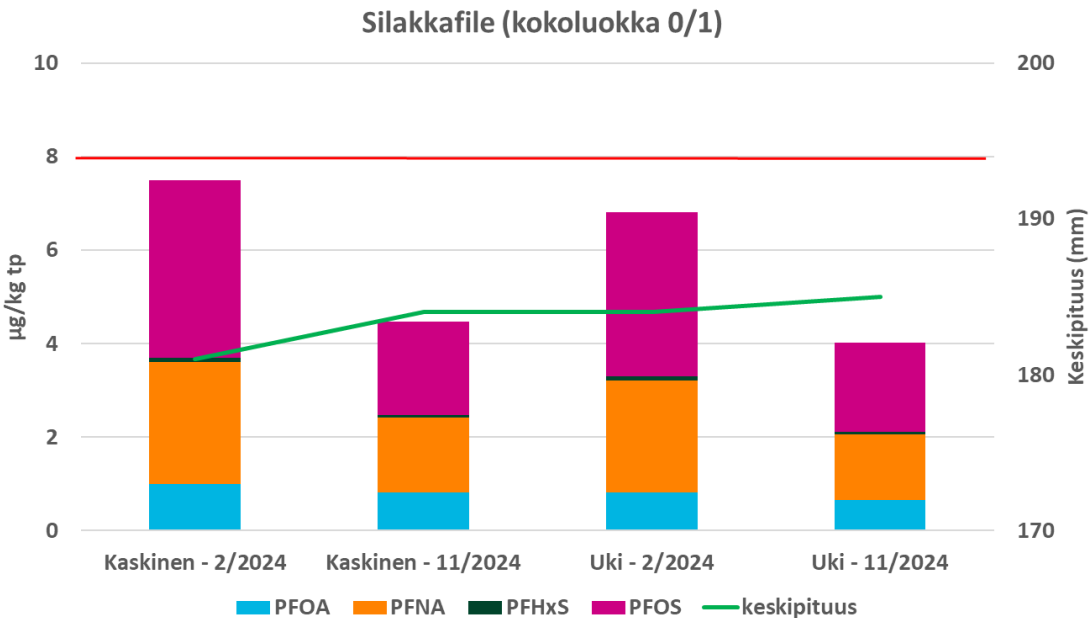


Kuva 7. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet kokoluokan II käsin peratussa silakassa. Punaisella viivalla on merkitty asetuksen (EU) 2023/915 mukainen ΣPFAS4-pitoisuuden enimmäisarvo.

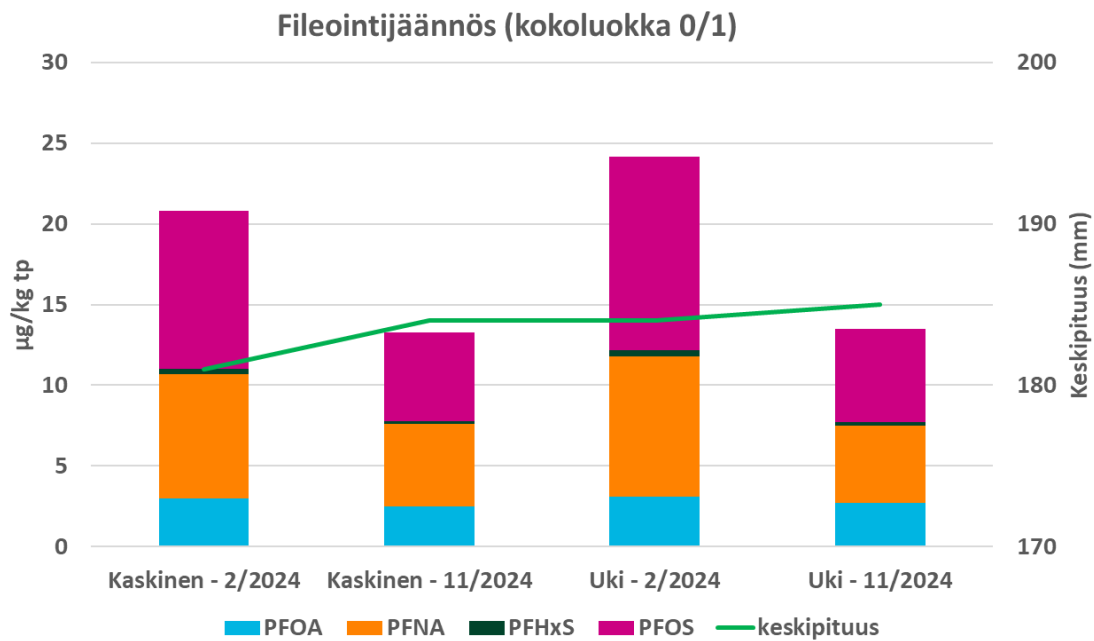


Kuva 8. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet perkuujäännöksessä.

Filekokoisen silakan keskipituuden (181–184 mm), -painon ja -kuntokertoimen vaihtelu kokoomanäytteiden pyyntiruutujen ja vuodenaikojen välillä oli hyvin pientä. Toisin kuin pienemmillä silakoilla, eri landauspaikoilla pitoisuudet olivat samat samoina vuodenaikoina, mutta samojen landauspaikkojen välillä oli eroa keväällä ja syksyllä. Kaikki pitoisuudet olivat alle enimmäismäärien (Kuva 9). Fileointijäännöksissä oli sama trendi (Kuva 10).



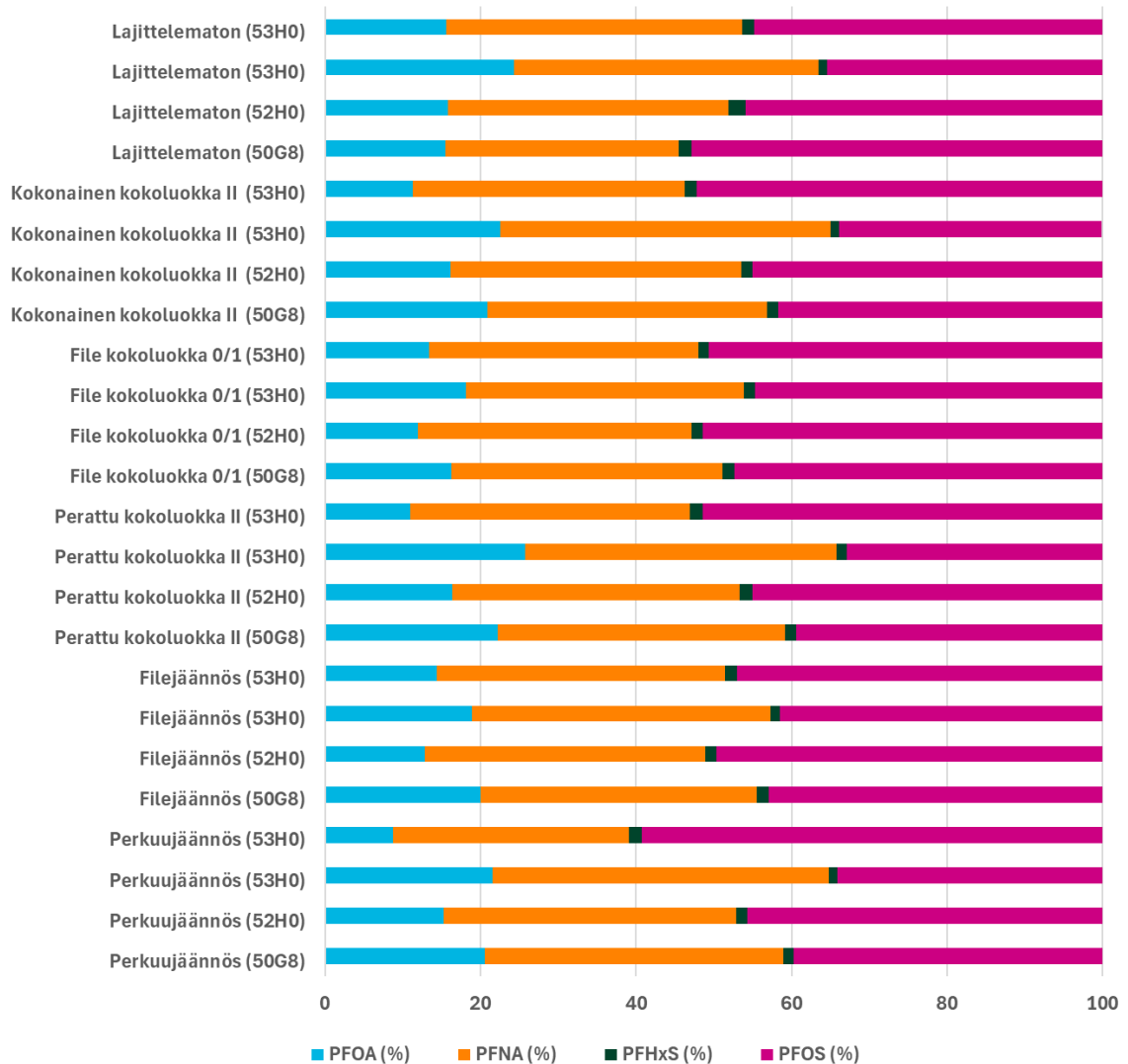
Kuva 9. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet kokoluokan 0/1 silakkafileissä. Punaisella viivalla on merkitty asetuksen (EU) 2023/915 mukainen ΣPFAS4-pitoisuuden enimmäisarvo.



Kuva 10. PFAS-pitoisuudet ja kokoomanäytteiden silakoiden keskipitoisuudet fileointijäännöksessä.

Useimmissa näytteissä PFOS:n %-osuus ΣPFAS4:stä oli suurin (keskimäärin 45 %), mutta sen %-osuus vaihteli (33–59 %) suhteellisesti hieman enemmän kuin toiseksi runsaimman PFNA:n %-osuus (keskimäärin 37 %, vaihteluväli 30–43 %). PFNA:n pitoisuus oli suurin 4/24 näytteessä. PFOA:n %-osuus oli keskimäärin 17 %, mutta sen suhteellinen vaihtelu oli suurempaa (9–26 %). PFHxS:n %-osuus oli pieni (1,1–2,2 %) kaikissa näytteissä (Kuva 11).

Eri PFAS-yhdisteiden %-osuus summapitoisuudesta



Kuva 11. Eri PFAS-yhdisteiden %-osuudet ΣPFAS4:stä lajiteltuna. Näytteiden järjestys on sama kuin Taulukossa 2.

3.3. Kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet

Taulukossa 3 on esitetty vähittäismyynnistä ostetun kirjolohen, siian ja kirjolohen mädin PFAS-pitoisuudet. Määrittämissä vaihtelivat jonkin verran näytteestä toiseen, mistä syystä pitoisuuksien suora vertailu näytteestä toiseen ei ole aina mahdollista. Pitoisuudet olivat pieniä ja tutkituista yhdisteistä näytteissä havaittiin vain PFNA ja PFOS enimmäismäärät selvästi alittavina pitoisuuksina. Siksi taulukossa 3 on vain PFAS4-yhdisteiden tulokset.

Taulukko 3. Vähittäismyynnistä ostetun kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp).

Näyte	Otettu	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	ΣPFAS4
Kirjolohifile	Joulukuu 2023	*	*	*	*	0,00
Siikafile	Joulukuu 2023	0,31	*	0,091	*	0,40
Kirjolohen mäti	Joulukuu 2023	0,49	*	*	*	0,49
Kirjolohifile	Kesäkuu 2024	0,07	*	*	*	0,07
Siikafile	Kesäkuu 2024	0,22	*	0,09	*	0,31

*Pitoisuus alle määrittäysrajan. Määrittäysrajan alittavat pitoisuudet laskettu PFAS-yhdisteiden summapitoisuuteen nollana.

3.4. Kalajauhon, -rehun ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet

Taulukossa 4 on esitetty kasvatuskokeissa käytettyjen kalajauhojen ja niistä valmistettujen rehujen PFAS-pitoisuudet. Pitoisuudet on esitetty vain 10 mitatusta 13 PFAS-yhdisteestä, koska PFHxA, PFTeA ja PFDS jäivät kaikilla rehunäytteillä alle määrittäysrajan ($0.04 \mu\text{g}/\text{kg}$ tp).

Low PFAS rehu sisälsi 30 m-% Low PFAS jauhoa, Medium PFAS rehu sisälsi 15 m-% sekä Low että High kalajauhoa ja High PFAS rehu sisälsi 30 m-% High PFAS jauhoa. Alimmalle 3 riville on laskettu se %-osuus, kuinka suuren osan rehusta mitattu PFAS-pitoisuus muodostaa rehuun jauhon mukana lisätyistä PFAS-yhdisteistä huomioiden jauhon PFAS-pitoisuudet ja jauhon massaosuus rehussa. Medium-jauhon laskuissa ei otettu huomioon low-jauhon pitoisuuksia, koska low-jauhosta tulevien PFAS-yhdisteiden osuus siinä oli mitättömän pieni.

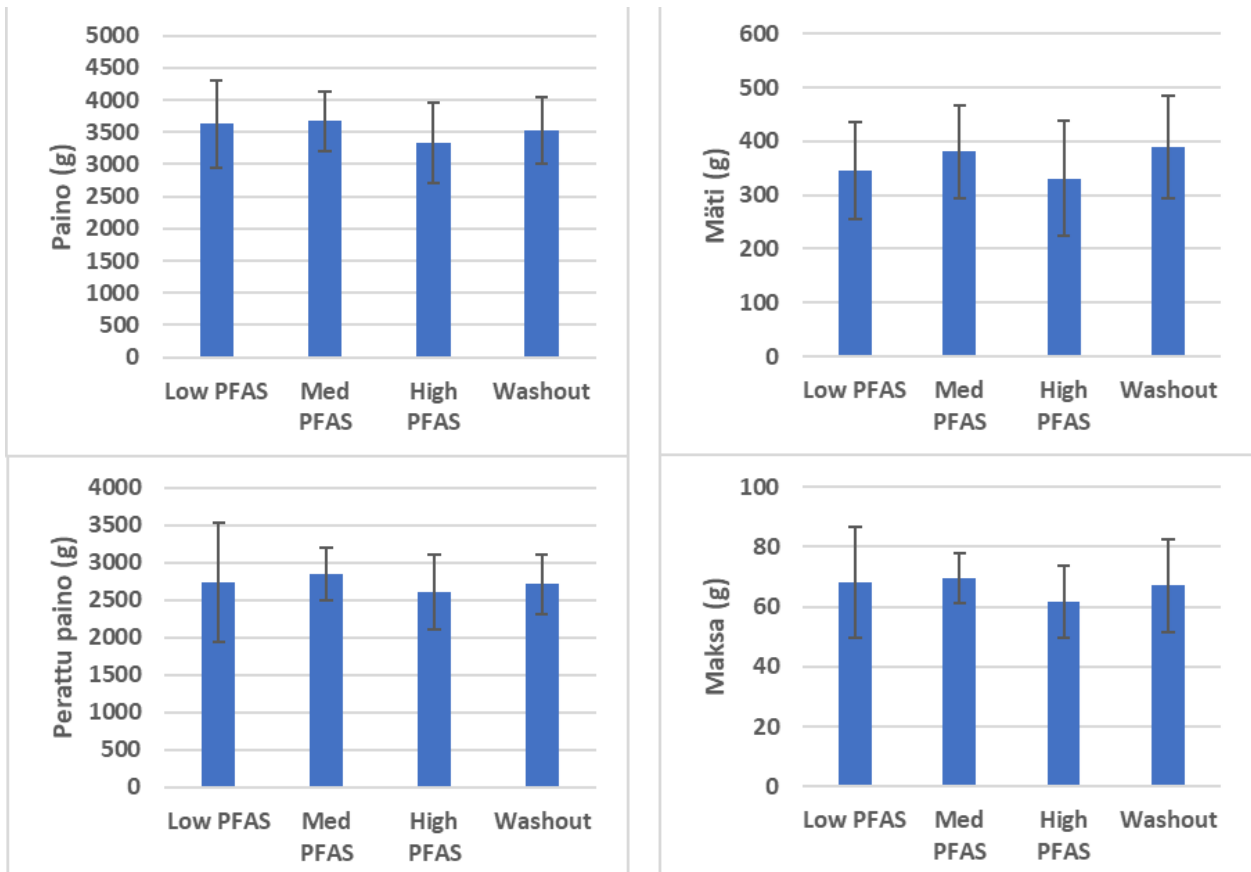
Taulukko 4. Kasvatuskokeissa käytetyn kalajauhon ja siitä valmistetun rehun PFAS-pitoisuudet.

Näyte	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFDoA	PFTra	PFHxS	PFHpS	PFOS	ΣPFAS4
Low PFAS jauho	<0,040	0,07	0,10	0,07	0,26	0,06	0,13	<0,050	<0,038	0,32	0,49
High PFAS jauho	0,79	9,5	24	3,6	3,0	0,45	0,96	1,1	0,35	33	67
Low PFAS rehu	<0,040	0,042	0,084	<0,040	0,069	<0,040	<0,040	<0,050	<0,038	0,23	0,36
Medium PFAS rehu	0,11	1,4	3,6	0,61	0,43	0,06	0,11	0,16	0,05	4,4	9,3
High PFAS rehu	0,18	2,2	5,8	0,96	0,64	0,09	0,15	0,25	0,07	7,4	15
Low-rehu/ low-jauho (%)	*	212	278	*	90	*	*	*	*	240	244
Medium-rehu/ high-jauho (%)	93	95	101	113	97	85	73	94	87	90	93
High-rehu/ high-jauho (%)	76	78	82	89	72	64	52	76	68	75	77

Yhdisteistä riippuen Low PFAS jauhon pitoisuudet olivat vain 1/7–1/235 (PFTra – PFNA) High PFAS jauhon pitoisuuksista. Low-rehussa pitoisuudet olivat kautta linjan varsin pieniä, vain PFOA, PFNA, PFUnA ja PFOS ylittivät niukasti määrittäysrajan. Low PFAS jauhosta tehty rehun PFAS-pitoisuudet olivat systemaattisesti noin 250 % (pl PFUnA) siitä, mitä niiden olisi jauhosta mitatun PFAS-pitoisuuden perusteella pitänyt olla. Syy tähän on epäselvä, mutta voi näin lähellä määrittäysrajaa olevilla pitoisuuksilla johtua jauhon PFAS-pitoisuuksien epähomogeenisuudesta tai vähäisestä PFAS-kontaminaation siirtymisestä rehun valmistusprosessin laitteista. Medium PFAS rehun pitoisuudet olivat keskimäärin 93 % suhteessa lisätyn jauhon pitoisuuksiin, mutta High PFAS rehun vain 74 %. High rehun saannot olivat matalia erityisesti hyvin pitkäketjuisilla PFDoA:lla (64 %) ja PFTra:lla (52 %). Tämä viittaa siihen, että näiden yhdisteiden

uutto rasvalla päällystetyistä rehuista ei ole yhtä tehokas kuin muilla PFAS-yhdisteillä. Toisaalta näiden kahden yhdisteen osuus rehujen PFAS-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta oli vain 1,3 %.

Kirjoloihen painossa tai elimissä ei havaittu suuria eroja eri PFAS-ruokintojen välillä (Kuva 12) Kussakin käsittelyssä kalat nelinkertaivat painonsa kokeen aikana ja vastasivat perkuumuuttujen osalta toisiaan kokeen päättyessä. Yhtä kalaa lukuun ottamatta (Low PFAS käsittely) kaikki kalat sukukypsyivät ja tuottivat mätiiä, kuten oli kokeen alussa tehdyn silmämääräisen lajittelun perusteella tavoitteena.



Kuva 12. Kirjoloihen (n = 18) paino ja elimien paino eri PFAS-käsittelyissä (Low, Med, High, Washout).

Taulukossa 5 on kasvatuskokeiden kirjolohien eri kudosten PFAS-pitoisuudet. Taulukoissa on mitatuista 13 PFAS-yhdisteestä ne 9, joiden pitoisuudet olivat yli määrittäjärajan ainakin yhdessä kasvatuskokeiden näytteessä, jotta voidaan vertailla kertymistä rehusta erityisesti PFCA-yhdisteiden hiilivetyketjun pidentyessä. Tästä syystä Taulukon 4 yhdisteistä PFHpA jäi pois.

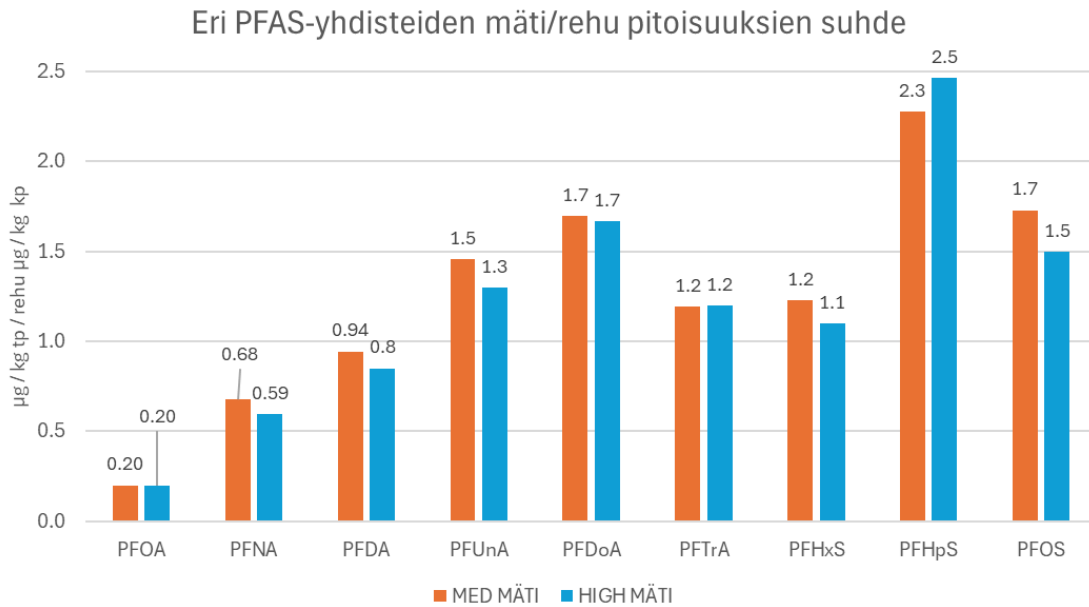
Taulukko 5. Kolmella eri PFAS-pitoisuudella saastuneella rehulla suoritettujen kasvatusjakson sekä High PFAS rehulla ruokittujen kalojen 8 viikon puhdistusjakson (WASHO) jälkeen mitatut kirjoloihen fileen, sivutuotteiden ja mädin PFAS-yhdisteiden pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp).

Näyte	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFDaA	PFTrA	PFHxS	PFHpS	PFOS	ΣPFAS4
LOW A FILE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,00
LOW B FILE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,00
MED A FILE	*	0,073	*	*	*	*	*	*	0,18	0,25
MED B FILE	*	0,091	*	*	*	*	*	*	0,22	0,31
HIGH A FILE	*	0,14	*	*	*	*	*	*	0,31	0,45
HIGH B FILE	*	0,10	*	*	*	*	*	*	0,25	0,35
LOW A BY-PROD	*	*	*	*	*	*	*	*	0,092	0,09
LOW B BY-PROD	*	*	*	*	*	*	*	*	0,085	0,09
MED A BY-PROD	*	0,18	*	*	*	*	*	*	0,36	0,54
MED B BY-PROD	*	0,15	*	*	*	*	*	*	0,38	0,53
HIGH A BY-PROD	*	0,41	0,067	0,058	*	*	*	*	0,93	1,34
HIGH B BY-PROD	*	0,34	*	*	*	*	*	*	0,71	1,05
LOW A MÄTI	*	0,10	0,056	0,16	*	*	*	*	1,1	1,20
LOW B MÄTI	*	0,08	*	0,11	*	*	*	*	0,87	0,95
MED A MÄTI	0,30	2,3	0,53	0,58	0,085	0,11	0,18	0,087	7,1	9,9
MED B MÄTI	0,24	2,5	0,62	0,67	0,11	0,14	0,2	0,12	8,1	11
HIGH A MÄTI	0,43	3,8	0,87	0,84	0,15	0,18	0,28	0,18	11	16
HIGH B MÄTI	0,45	3,1	0,76	0,81	0,14	0,18	0,27	0,17	11	15
WASHO-0	*	0,18	*	*	*	*	*	*	0,47	0,65
WASHO A FILE	*	0,037	*	*	*	*	*	*	0,16	0,20
WASHO B FILE	*	0,045	*	*	*	*	*	*	0,12	0,17
WASHO A BY-PROD	*	0,098	*	*	*	*	*	*	0,4	0,50
WASHO B BY-PROD	*	0,13	*	*	*	*	*	*	0,25	0,38
WASHO A MÄTI	0,053	1,6	0,46	0,58	0,098	0,14	0,13	0,097	7,2	9,0
WASHO B MÄTI	0,060	2,3	0,62	0,71	0,12	0,15	0,13	0,10	8,0	10

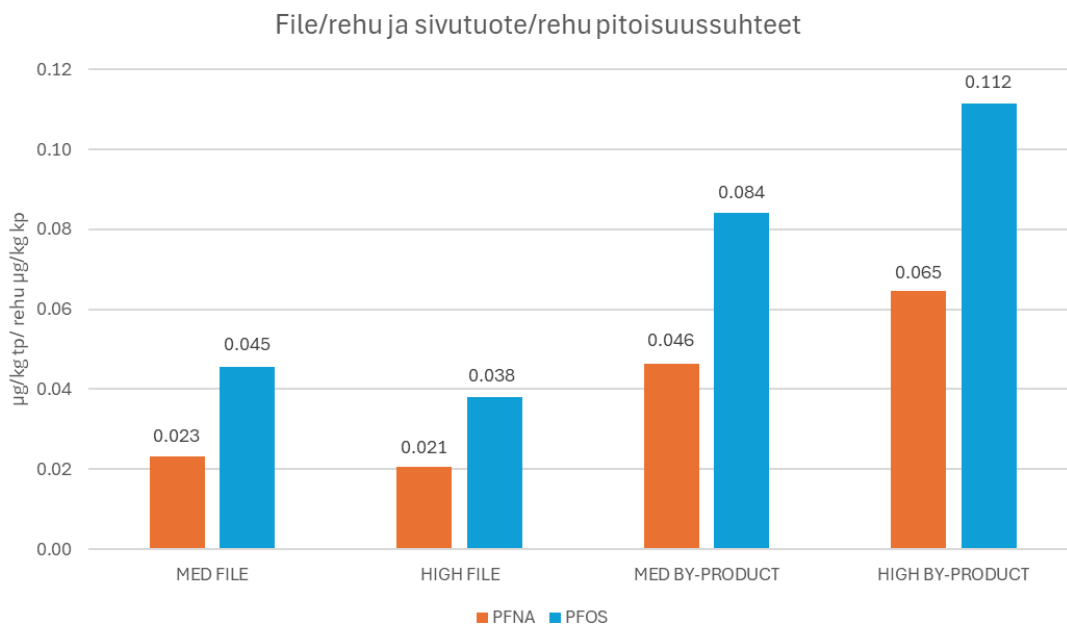
*Pitoisuus oli alle määrittäjärajan. Määrittäjärajan alittavat pitoisuudet laskettu PFAS-yhdisteiden summapitoisuuteen nollana.

Kaikilla rehun PFAS-pitoisuuksilla kirjoloihen lihaan kertyi enimmäismäärät selvästi alittava pitoisuus PFAS-yhdisteitä ja eri PFAS-yhdisteistä havaittiin vain PFOS ja PFNA. Myös sivutuotteissa pitoisuudet olivat alle enimmäismäärien. Kertyminen sivutuotteisiin oli sekä PFNA:lle että PFOS:ille 2 (Medium PFAS rehu) - 3 (High PFAS rehu) kertaa voimakkaampaa kuin fileeseen. Lisäksi PFDA ja PFUnA havaittiin toisessa sivutuote näytteistä hieman määrittäjärajan ylittävinä pitoisuuksina. Mädissä pitoisuudet sen sijaan olivat huomattavasti korkeammat, mutta kertymisen eroa fileen ja mädin välillä voitiin arvioida kvantitatiivisesti vain PFNA:n (noin 30*ero) ja PFOS:n (noin 40* ero) osalta fileen matalien pitoisuuksien takia. Muiden yhdisteiden pitoisuudet fileessä olivat alle määrittäjärajan, ja siitä syystä niiden osalta voidaan vain sanoa, että kertyminen oli vähintään 2 (PFDaA, PFTrA) – 22 (PFDA, PFUnA) kertaa voimakkaampaa mätiin kuin fileeseen. Puhdistusjakson alussa (näyte WASHO-0) mitatussa fileenäytteessä PFNA:n ja PFOS:n pitoisuudet olivat korkeampia kuin koko 6 kk ruokintajakson läpikäyneissä kaloissa (HIGH FILE). Puhdistusjakson aikana fileen ΣPFAS4 laskivat noin 45 %, sivutuotteissa noin 65 % ja mädissä noin 35 % verrattuna kaloihin, joita syötettiin täydet 6 kk High PFAS rehulla. Tämä viittaa siihen, että kun ruokinta lämpötilan laskiessa vähenee, kala pystyy aineenvaihdunnassaan kuitenkin poistamaan PFAS yhdisteitä lihaksesta nopeammin kuin niitä ravinnon kautta kerääntyy.

Taulukoiden 4 ja 5 tuloksista laskettiin yksittäisille PFAS-yhdisteille eri tuotteiden ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp) ja rehun ($\mu\text{g}/\text{kg}$ kp) pitoisuuksien keskimääräiset (A ja B näytteet) suhteet. Alle yhden oleva tuote/rehu -suhde kuvaa PFAS-yhdisteiden laimentumista tutkitun kudoksen tuorepainoon suhteessa rehun kuivapainoon ja yli yhden oleva suhde rikastumista. Low tuotteissa oli niin paljon tuloksia alle määritysrajan, että vain Med ja High tuotteet otettiin mukaan vertailuun. Mäti/rehu -suhde pystyttiin laskemaan taulukoissa 4 ja 5 esiintyville 9 PFAS-yhdisteelle (Kuva 13), mutta file/rehu - ja sivutuote/rehu -suhde pystyttiin laskemaan vain PFNA:lle ja PFOS:ille (Kuva 14).



Kuva 13. PFAS- yhdisteiden mäti ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp)/rehu ($\mu\text{g}/\text{kg}$ kp) pitoisuussuhteet rehun PFAS-pitoisuuksilla jaoteltuna.



Kuva 14. PFNA:n ja PFOS:n file ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp) / rehu ($\mu\text{g}/\text{kg}$ kp) pitoisuussuhteet rehun PFAS-pitoisuuksilla jaoteltuna.

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Silakan PFAS-pitoisuuksien vaihtelu ja trendit

Yhdessä Kaskisiin syksyllä 2024 landatusta silakasta tehdyssä fileen kokoomanäytteessä PFOA:n pitoisuus (1,8 µg/kg tp) ylitti enimmäismäärän 1,0 µg/kg tp mittausepävarmuuskin huomioiden, mutta tässä näytteessä ΣPFAS4 oli 7,0 µg/kg tp eli alle enimmäismäärän 8,0 µg/kg tp. Lisäksi silakkafileen ja peratun silakan PFNA-pitoisuudet ylittivät enimmäismäärään 2,5 µg/kg tp yhteensä 4/8 näytteessä (2,6–3,0 µg/kg tp), mutta ei mittausepävarmuus huomioiden. PFNA on kuitenkin sen myöhäisten rajoitusten takia tarkasti seurattava yhdiste. Kaikkiaan kokoluokkien II – 0/I silakoiden syötävien osien ΣPFAS4 pitoisuus vaihteli tutkimuksessa aineistossa välillä 4–8 µg/kg siten, että pitoisuudet olivat useammin korkeampia keväällä ja Suomen puoleisilla osilla Selkämerta. PFAS-yhdisteet kertyvät voimakkaasti fileointi- ja perkuujäännökseen, joissa ΣPFAS4 pitoisuus vaihteli välillä 13–29 µg/kg tp.

Yllättävää oli pitoisuuksissa havaitut suuret erot lajittelemattoman Kaskisiin (syksy – kevät ΣPFAS4 keskiarvo 11,9 µg/kg tp) ja Uuteenkaupunkiin (syksy – kevät ΣPFAS4 keskiarvo 2,4 µg/kg tp) landatun silakan välillä. Samoin havaittiin yllättävän samanlainen tulos marraskuussa 2024 ruudun 50G8 samasta troolista otetuista kokoluokan II kokonaisen silakan (5,3 µg/kg tp, keskipituus 164 mm) ja kokoluokan II peratun silakan (4,0 µg/kg tp, keskipituus 166 mm) erillisistä kokoomanäytteistä. Vaikuttaa siis siltä, että pitoisuudet voivat kasvaa varsin paljon noin 14–15 cm pituuden ympärillä, mutta tämä kasvu voi riippua paljon myös merialueesta. Toisaalta tulosten perusteella myös vaikuttaa, että kun kalojen pituus kasvaa, niin viimeistään 18 cm pituudessa alueelliset erot PFAS-pitoisuuksissa alkavat tasoittua. On mahdollista, että isommat silakat liikkuvat laajemmalla alueella Selkämerellä, joka vaikuttaisi pitoisuuksien tasaantumiseen. Näiden erojen tarkempi selvittäminen vaatisi jatkotutkimuksia.

Erot pitoisuuksissa kevään ja syksyn välillä saattavat johtua silakoiden oleskelu- ja syönnösalueista eri vuodenaikoina. Ainakin joinakin vuosina kalastajien kokemusten mukaan silakoita esimerkiksi kertyy suurina määrinä lähelle rannikoita jo varhain talvella, eli alueille, joilla myös kuoret oleskelevat suuren osan vuodesta. Isoimmat kokoluokat ehkä suosivat vuonna 2024 enemmän syvempiä alueita, joilla niille tärkeää ravintoa, massiaisia, oli vuonna 2024 runsaasti. Massiaisten runsaus Selkämerellä oli vuonna 2024 huomattavasti parantunut edellisiin vuosiin verrattuna (Pönni ym. 2025).

Positiivinen tulos kuitenkin oli, että niin suuria enimmäismäärien ylityksiä kuin EU-kalat IV hankkeessa ei tässä hankkeessa havaittu. Jatkuvan seurannan tarve on kuitenkin ilmeinen, jotta selviää, onko EU-kalat II – IV hankkeissa havaittu kasvavien pitoisuuksien trendin taittuminen tässä hankkeessa luonteeltaan pysyvämpää vai tilapäistä. Lähinnä Ruotsin puolella Selkämerta tehdyssä pitkässä trenditutkimuksessa silakan PFOS:n pitoisuudet lähtivät selvään laskuun noin vuoden 2010 paikkeilla, kun taas PFNA:n pitoisuudet alkoivat tuolloin vakiintua (Soerensen ym. 2024). Koska tässäkin hankkeessa nimenomaan Ruotsin puolelta saatiin matallimmat tulokset, Selkämeren silakan PFAS-pitoisuuksien erot itäisten ja läntisten alueiden välillä selvästi vaativat jatkotutkimuksia.

4.2. Kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet

Vähittäismyynnistä ostetun kasvatetun kirjolohen ja siian fileessä ja mädissä PFAS-pitoisuudet olivat hyvin matalia, mikä on linjassa aikaisempien Suomessa tehtyjen mittausten ja erittäin laajan ulkomailta kootun aineiston kanssa (Figuroa-Muñoz ym. 2025, Koponen ym. 2015). Nyt tehtyjen mittausten perusteella siikafileen PFAS-pitoisuudet olivat selvästi suurempia kuin kirjolohessa, mutta kaikissa tapauksessa pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi enimmäismäärien alapuolella.

4.3. Kalajauhon, kalarehun ja kasvatetun kalan PFAS-pitoisuudet kasvatuskokeissa

Kasvatuskokeissa havaittu PFAS-yhdisteiden varsin heikko kertyminen kirjolohen fileeseen on jopa hieman yllättävää. Low PFAS rehulla syötetyn kalan filepitoisuudet olivat kaikilla yhdisteillä alle määritysrajan, ja mädissäkin vain muutama yhdiste ylitti niukasti määritysrajan. Korkein High PFAS rehulla syötetyn kirjolohen Σ PFAS4 fileessä oli 0,45 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tp oli melko sama kuin markkinoiden siikafileessä. Low ja High PFAS rehuilla syötettyjen kalojen pitoisuuserot sivutuotteissa ja mädissä olivat noin 15 kertaisia, ja on mahdollista, että tilanne on sama myös kirjolohen fileessä, vaikka määritysrajan alittavien Low rehulla syötettyjen kalojen filepitoisuuksien takia vastaavaa arvioita ei voidakaan tehdä. Voidaan kuitenkin todeta, että kirjolohifileen ja sivutuotteiden PFAS-arvot markkinoilla eivät ylitä nykyisiä elintarvikkeelle asetettuja enimmäismääriä Itämerikalajauhoa sisältävää rehua käytettäessä, koska näin ei käynyt edes kokeellisesti korkealle PFAS-pitoisuudelle altistettaessa.

Kertyminen mätiin oli huomattavasti voimakkaampaa kuin fileeseen (PFNA 30* ja PFOS 40*) ja sivutuotteisiin se oli 2–3 kertaa voimakkaampaa kuin fileeseen. Mädille ei ole asetettu enimmäismääriä, mutta kalan lihalle asetetut enimmäismäärät voisivat ylittyä käytettäessä PFAS-yhdisteillä voimakkaasti saastunutta rehua. Mädin osuus kalatuotteiden kulutuksesta on kuitenkin häviävän pientä ja ajoittaista.

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Hankkeessa mitattiin tutkimuksessa ja lainsäädännössä sekä pitoisuuksiltaan että haittavaikutuksiltaan tärkeimmiksi arvioitujen PFAS-yhdisteiden pitoisuudet silakassa, kasvatetussa kalassa, kalajauhossa, siitä valmistetussa kalarehussa ja rehulla kasvatetun kirjolohen fileessä, sivutuotteissa ja mädissä.

Selkämeren silakan syötävien osien Σ PFAS4-pitoisuudet olivat 4–8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tp. Mittausepävarmuus huomioiden koko aineistossa havaittiin vain yksi asetuksen (EU) 2023/915 enimmäismäärien ylitys peratun silakan PFOA:lle. Tässä verraten suppeassa aineistossa käytännössä kaikki tutkitut näytteet olivat siis vaatimusten mukaisia, mutta yksittäisiä ylityksiä ihmisen käyttöön tarkoitetuissa silakkaerissä ei myöskään voida sulkea pois. Alueelliset (erityisesti itä-länsi) ja silakan kokoon liittyvät PFAS-pitoisuuksien vaihtelut olivat kuitenkin yllättävän suuria ja niiden syyt vaatisivat tarkempia selvityksiä. Täytyy kuitenkin huomata, että silakan enimmäismäärät ovat selvästi pienempiä kuin monen muun kalalajin (lahna, kuha, ahven, särki, kuore, siika, jne.), joita käytetään erilaisiin kalatuotteisiin.

Markkinoilta ostettavan kasvatetun kirjolohen ja siian fileessä PFAS-pitoisuudet ovat niin paljon alle enimmäismäärien, että niiden käyttöä ei ole tarve rajoittaa. Erittäin korkean PFAS-pitoisuuden rehulla kasvatetussa kirjolohessa fileen PFAS-pitoisuudet olivat edelleen selvästi alle enimmäismäärien. PFAS-pitoisuudet kaupallisissa kirjolohen kasvatusrehuissa liikkuvat matalan ja maksimissaan keskimääräisen rehukäsittelyn tasossa ja niiden välimaastossa, kun rehun valmistuksessa käytetään itämerikalajauhoa (Alltech Fennoaqua suull. tiedonanto). Kokeellisesti testattu korkea rehun PFAS-pitoisuus varmentaa, että kertymisellä kasvatetun kalan lihaan on laaja turvamarginaali mitattujen PFAS-yhdisteiden suhteen, mitä aiempien tutkimusten valossa myös odotettiin. Tästä syystä tiukkojen enimmäismäärien säätämistä rehulle ja rehuraaka-aineille on nykytilanteessa syytä välttää, koska se voisi tarpeettomasti rajoittaa kalaperäisten raaka-aineiden käyttöä. Itämerikalajauholla on jo lähtökohtaisesti valtamerialoista tehtyä jauhoa suuremmat PFAS-pitoisuudet, mutta sen käyttö on silti erittäin suositeltavaa eikä koeasetelman perusteella riskiä syötävän kalan liian korkeille PFAS-pitoisuuksille havaittu.

Kirjolohen sivutuotteissa PFAS-pitoisuudet olivat hieman filettä korkeammat, mutta edelleen kalan lihan enimmäismäärien alle. Kirjolohen mädin pitoisuudet voivat nousta kalan lihan enimmäismäärien tasolle jo verraten vähän PFAS-yhdisteillä saastuneella rehulla, mutta toisaalta mädin kulutus suhteessa fileeseen on hyvin vähäistä, mistä syystä kokonaissaanti mädistä jää hyvin pieneksi. Lisäksi viittaus enimmäismääriin on kuitenkin ohjeellinen, koska sivutuotteille ja mädille ei ole vielä asetettu enimmäismääriä. Mädituotantoon tarkoitettujen kasvatetun kalan rehun PFAS-pitoisuuteen tulee kuitenkin kiinnittää huomiota, vaikka altistus onkin pientä mädin kautta. Mädin PFAS-pitoisuuden merkitystä mädin ja siitä kehittyvän kalanpoikasen kehittymiselle tutkitaan tähän hankkeeseen kytkeytyneenä erillisessä opinnäytetyössä.

Kiitokset

Kiitämme lämpimästi silakkanäytteitä keränneitä troolareita ja Ab Salmonfarm Oy:tä kalajauhon toimittamisesta kasvatuskokeisiin. Lisäksi kiitämme Luken Jari Riihimäkeä rehukokeen toteutuksesta, Luken ja Turun yliopiston kokeen loppunäytteenotossa avustaneita henkilöitä sekä Michelle Schimpftiä kuvan 11 tuottamisesta raporttiin.

Hanke toteutettiin yhteistyössä Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) kanssa.

Viitteet

- Cao, H., Zhou, Z., Hu, Z., Wei, C., Li, J., Wang, L., Liu, G., Zhang, J., Wang, Y., Wang, T. & Liang, Y. 2022. Effect of enterohepatic circulation on the accumulation of per- and polyfluoroalkyl substances: evidence from experimental and computational studies. *Environmental Science & Technology* 56: 3214–3224.
- ECHA 2023. ECHA publishes PFAS restriction proposal. European Chemicals Agency (13.01.2023). <https://echa.europa.eu/fi/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>
- ECHA 2025. ECHA publishes updated PFAS restriction proposal. ECHA/NR/25/24. European Chemicals Agency (20.8.2025). <https://echa.europa.eu/fi/-/echa-publishes-updated-pfas-restriction-proposal>
- EFSA 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 18(9): 6223.
- Euroopan komissio 2022. Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2022/1428, annettu 24 päivänä elokuuta 2022, näytteenotto- ja analyysimenetelmistä perfluorattujen alkyylidisteiden valvontaan tietyissä elintarvikkeissa. Euroopan unionin virallinen lehti L 219, 25.8.2022, s. 60–74.
- Euroopan komissio 2023. Komission asetus (EU) 2023/915, annettu 25 päivänä huhtikuuta 2023, tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismääristä ja asetuksen (EY) N:o 1881/2006 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 119, 5.5.2023, s. 103–170.
- Falk, S., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H. & Stahl, T. 2015. Tissue specific uptake and elimination of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in adult rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after dietary exposure. *Chemosphere* 129: 150–156.
- Figuerola-Muñoz, G., Murphy, C.A., Whittum, K. & Zydlewski, J. 2025. Cleaner cuts: farmed fish and skin-off fillets are lower in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Science of the Total Environment* 959: 178266.
- Koponen, J., Airaksinen, R., Hallikainen, A., Vuorinen, P.J., Mannio, J. & Kiviranta, H. 2015. Perfluoroalkyl acids in various edible Baltic, freshwater, and farmed fish in Finland. *Chemosphere* 129: 186–191.
- OECD 2021. Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance. Series on Risk Management No. 61. Environment Directorate, Chemicals and Biotechnology Committee. ENV/CBC/MONO(2021)25.
- Pönni, J., Lehtiniemi, M., Raitaniemi, J. & Uusitalo, L. 2025. Massiiset mahdollistavat pulleat silakat. *Suomen Kalastuslehti* 2/2025: 32–34.
- PubChem 2025. Classification Browser: PFAS and fluorinated compounds in PubChem. [Verkkodokumentti.] Saatavilla: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/classification/#hid=120> (viitattu 13.11.2025).

- Shi, Y., Wang, J., Pan, Y. & Cai, Y. 2012. Tissue distribution of perfluorinated compounds in farmed freshwater fish and human exposure by consumption. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31: 717–723.
- Soerensen, A.L., Benskin, J.P. & Faxneld, S. 2024. Four decades of spatiotemporal variability of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology* 58: 10806–10816.
- Suomi, J., Rantakokko, P., Airaksinen, R., Raitaniemi, J., Junntila, V. & Mikkela, A. 2024. Kotimaista kalaa ravinnoksi monipuolisemmin ja turvallisemmin: EU-kalat IV. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:29.

Liite

Taulukko 1. Kaskisiin ja Uuteenkaupunkiin landattujen silakkanäytteiden PFAS-yhdisteiden pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tp) ja keskipituuksien keskihajonta (s). PFAS-pitoisuudet on raportoitu 11 yhdisteelle, joista ainakin yhdessä näytteessä oli määräysrajan ylittäviä pitoisuuksia*.

Näyte	Landauspaikka	ICES-pyyntiruutu	Pyyntipäivä	Pituus(cm) (Ka. \pm s)	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFDoA	PFTra	PFHxS	PFHpS	PFOS	Σ PFAS4
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu	Kaskinen	53H0	15.2.2024	-	<0,060	0,094	1,6	3,9	0,67	0,5	0,072	0,15	0,16	<0,13	4,6	10,3
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu	Kaskinen	53H0	25.11.2024	16,40 s 13,15	0,10	0,55	3,3	5,3	0,73	0,54	0,08	0,14	0,16	0,073	4,8	13,6
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	12,00 s 17,60	<0,059	<0,059	0,48	1,1	0,19	0,14	<0,059	<0,078	0,066	<0,13	1,4	3,0
Lajittelematon kok. silakka jauho/rehu	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	14,50 s 5,81	<0,056	0,037	0,27	0,52	0,067	0,06	<0,056	<0,056	0,029	<0,028	0,92	1,7
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Kaskinen	53H0	15.2.2024	16,50 s 7,65	<0,059	0,085	2,1	6,5	1	0,82	0,12	0,38	0,29	<0,13	9,7	18,6
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Kaskinen	53H0	25.11.2024	16,70 s 10,17	0,075	0,38	1,8	2,8	0,35	0,24	<0,053	0,062	0,097	0,044	2,3	7,0
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	15,60 s 10,4	<0,058	0,16	2,3	5,3	0,85	0,68	0,093	0,25	0,21	<0,12	6,4	14,2
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II)	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	16,40 s 7,22	<0,056	0,16	1,1	1,9	0,28	0,20	<0,056	0,077	0,076	0,04	2,2	5,3
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (1)	Kaskinen	53H0	15.2.2024	18,10 s 8,49	<0,056	0,094	1	2,6	0,49	0,4	<0,056	0,15	0,098	<0,12	3,8	7,5
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (2)	Kaskinen	53H0	25.11.2024	18,40 s 12,60	<0,054	0,16	0,81	1,6	0,25	0,22	<0,054	<0,054	0,06	0,028	2	4,5
Silakkafile (kokolk. 0/1file) (3)	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	18,40 s 10,50	<0,060	0,085	0,81	2,4	0,42	0,35	<0,060	0,16	0,092	<0,13	3,5	6,8
Silakkafile (kokolk. 0 file) (4)	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	18,50 s 9,36	<0,057	0,12	0,65	1,4	0,21	0,18	<0,057	0,063	0,059	<0,028	1,9	4,0
Perattu silakka (kokolk. II) (A)	Kaskinen	53H0	15.2.2024	16,40 s 7,10	<0,058	<0,058	0,92	3	0,44	0,34	<0,058	0,16	0,14	<0,12	4,3	8,4
Lajiteltu kok. silakka (kokolk. II) (B)	Kaskinen	53H0	25.11.2024	16,70 s 10,17	0,13	0,60	3,6	6,8	0,91	0,61	0,09	0,07	0,19	0,09	5,42	16,0
Perattu silakka (kokolk. II) (C)	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	15,80 s 6,80	<0,058	0,086	1,2	2,7	0,46	0,35	<0,058	0,12	0,12	<0,12	3,3	7,3
Perattu silakka (kokolk. II) (D)	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	16,60 s 7,11	<0,054	0,18	0,9	1,5	0,16	0,14	<0,054	<0,054	0,055	<0,027	1,6	4,1
Fileointijäännös (1)	Kaskinen	53H0	15.2.2024	18,10 s 8,49	<0,049	0,2	3	7,7	1,3	0,96	0,12	0,26	0,32	<0,10	9,8	20,8
Fileointijäännös (2)	Kaskinen	53H0	25.11.2024	18,40 s 12,60	0,058	0,39	2,5	5,1	0,78	0,57	0,067	0,062	0,16	0,078	5,5	13,3
Fileointijäännös (3)	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	18,40 s 10,50	<0,056	0,25	3,1	8,7	1,5	1,2	0,15	0,48	0,35	<0,12	12	24,2
Fileointijäännös (4)	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	18,50 s 9,36	0,071	0,47	2,7	4,8	0,6	0,47	0,084	0,14	0,2	0,095	5,8	13,5
Perkausjäännös (A)	Kaskinen	53H0	15.2.2024	16,40 s 7,10	<0,060	0,099	2,5	8,7	1,3	1,3	0,19	0,41	0,47	<0,13	17	28,7
Perkausjäännös (\$) (B)	Kaskinen	53H0	25.11.2024	16,70 s 10,17	0,18	0,84	5,5	11	1,5	1,0	0,15	0,08	0,28	0,13	8,7	25,5
Perkausjäännös (C)	Uusikaupunki	52H0	7.2.2024	15,80 s 6,80	<0,058	0,28	4	9,9	1,8	1,3	0,18	0,42	0,37	<0,12	12	26,3
Perkausjäännös (D)	Uusikaupunki	50G8	27.11.2024	16,60 s 7,11	0,075	0,38	2,9	5,4	0,67	0,55	0,086	0,19	0,18	0,074	5,6	14,1



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki